



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**METODOLOGIA GEOFÍSICA APLICADA À PESQUISA DE  
SALVAMENTO ARQUEOLÓGICO NOS SÍTIOS BITTENCOURT,  
JAMBUAÇU E JABURU, ESTADO DO PARÁ.**

**RIGLER DA COSTA ARAGÃO**

**BELÉM - PARÁ  
2006**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

---

Aragão, Rigler da Costa

**Metodologia geofísica aplicada à pesquisa de salvamento arqueológico nos sítios Bittencourt, jambuaçu e jaburu, Estado do Pará /**  
Rigler da Costa Aragão; Orientador, José Gouvêa Luiz. – 2006

60f. : il

Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, CG,  
Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2006.

1.Magnetometria 2.Cintilometria 3.GPR 4.Arqueologia 5. Pará I.Luiz,  
José Gouvêa, Orient. II. Título.

**CDD 20. ed.: 538.788115**

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**METODOLOGIA GEOFÍSICA APLICADA À PESQUISA DE  
SALVAMENTO ARQUEOLÓGICO NOS SÍTIOS BITTENCOURT,  
JAMBUAÇU E JABURU, ESTADO DO PARÁ**

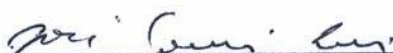
DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

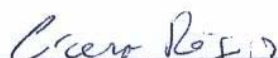
**RIGLER DA COSTA ARAGÃO**

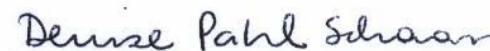
COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOFÍSICA

**Data da aprovação: 02/05/2006**

**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Gouvêa Luiz (Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Cícero Roberto Teixeira Régis

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Denise Pahl Schaan

**BELÉM**

**2006**

**A meus pais Silvanira e Aragão  
A Naide, Beatriz e Pedro, minha família.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. José Gouvêa Luiz, pela orientação deste trabalho.

Ao Arqueólogo Paulo Roberto do Canto Lopes do Museu Paraense Emilio Goeldi, que aceitou o desenvolvimento deste trabalho em sítios arqueológicos de sua responsabilidade e pelas suas valorosas sugestões e incentivo. E a todos de sua equipe de trabalho.

À Rita Denise pela suas sugestões em relação à Terra Preta Arqueológica.

Aos amigos de curso Charles, Valdelírio, Marcio e Benildes pelo companheirismo.

A toda minha família que sempre me incentivou a continuar meus estudos e pela compreensão nos momentos de ausência.

Aos professores do Curso de Pós-graduação em Geofísica.

Aos professores Cícero Régis e Denise Pahl Schaan, que fizeram parte do comitê de Avaliação e da Banca Examinadora, pelas sugestões apresentadas.

A Capes, pela concessão da bolsa de mestrado.

A Mineração Bauxita Paragominas (MBP).

A Fundação Instituto para o Desenvolvimento da Amazônia (FIDESA).

Ao Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG).

## SUMÁRIO

**DEDICATÓRIA**

**AGRADECIMENTO**

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

<b>RESUMO</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	3
<b>2 CONCEITOS BÁSICOS</b> .....	5
2.1 MAGNETOMETRIA.....	5
2.1.1 Susceptibilidade magnética dos minerais e rochas.....	7
2.1.2 Medidas de susceptibilidade magnética.....	8
2.1.3 A Susceptibilidade magnética do solo.....	8
2.1.4 Magnetização das cerâmicas.....	9
2.1.5 Medidas do campo magnético.....	10
2.1.6 Causas de interferências.....	11
2.2 CINTILOMETRIA.....	11
2.2.1 Radioatividade do solo.....	12
2.2.2 Terra Preta Arqueológica (TPA) na Amazônia.....	13
2.3 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR).....	14
2.3.1 Propriedades dielétricas dos materiais da Terra.....	18
2.3.2 Interpretação.....	20
2.3.3 Utilização na Arqueologia.....	20
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	22
3.1 MEDIDAS DO CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA.....	22
3.2 MEDIDAS CINTILOMÉTRICAS.....	23
3.3 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR).....	24
<b>4 RESULTADOS NO SÍTIO BITTENCOURT</b> .....	26
4.1 LEVANTAMENTO MAGNÉTICO.....	26
4.2 LEVANTAMENTO CINTILOMÉTRICO.....	29
4.3 MEDIDAS COM GPR.....	31
<b>5 RESULTADOS NO SÍTIO JAMBUAÇU</b> .....	33

5.1 LEVANTAMENTO MAGNÉTICO.....	33
5.2 LEVANTAMENTO CINTILOMÉTRICO.....	36
5.3 MEDIDAS COM GPR.....	38
<b>6 RESULTADOS NO SÍTIO JABURU.....</b>	<b>39</b>
6.1 LEVANTAMENTO MAGNÉTICO.....	39
6.2 LEVANTAMENTO CINTILOMÉTRICO.....	42
6.3 MEDIDAS COM GPR.....	45
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO A: FOTOS DAS ESCAVAÇÕES E SONDAJENS DO SÍTIO BITTENCOURT.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO B: FOTOS DAS ESCAVAÇÕES MOSTRANDO FRAGMENTOS CERÂMICOS ENCONTRADOS NO SÍTIO JAMBUAÇU.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO C: FOTOS DO SÍTIO JABURU.....</b>	<b>59</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.1</b> – Mapa de localização dos sítios pesquisados.....	4
<b>Figura 2.1</b> – Diagrama simplificado dos constituintes do sistema de Radar e do processo de reflexão e refração (transmissão) da onda. Adaptado de Reynolds (1997).....	15
<b>Figura 2.2</b> – Processos que resultam na perda de energia. Absorção, espalhamento geométrico e atenuação são os mais importantes. Adaptado de Reynolds (1997).....	17
<b>Figura 3.1</b> – Magnetômetro de Prótons Geometrics modelo G 826.....	22
<b>Figura 3.2</b> – Medida do Campo Magnético da Terra.....	23
<b>Figura 3.3</b> – Cintilômetro modelo SPP2.....	24
<b>Figura 3.4</b> – Medidas de cintilometria.....	24
<b>Figura 3.5</b> – Aquisição de dados com GPR.....	25
<b>Figura 4.1</b> – Mapa magnético do Sítio Bittencourt mostrando as anomalias magnéticas indicadas para escavação.....	27
<b>Figura 4.2</b> – Escavação 06 do Sítio Bittencourt, sobre anomalia magnética B, mostrando os fragmentos cerâmicos.....	28
<b>Figura 4.3</b> – Escavação 06 totalmente explorada.....	28
<b>Figura 4.4</b> – Mapa cintilométrico do Sítio Bittencourt.....	30
<b>Figura 4.5</b> – Correlação entre a espessura da camada de TPA e os valores cintilométricos.....	31
<b>Figura 4.6</b> – Perfil de GPR, sobre parte da metade leste da linha 30, do Sítio Bittencourt, aonde foi detectada a anomalia magnética A.....	32
<b>Figura 5.1</b> – Mapa magnético do Sítio Jambuaçu.....	34
<b>Figura 5.2</b> – Foto da escavação 01, sobre anomalia magnética A, mostrando fragmentos cerâmicos.....	35
<b>Figura 5.3</b> – Foto da escavação 03, sobre anomalia magnética E, mostrando uma estrutura de pedra.....	35
<b>Figura 5.4</b> – Mapa cintilométrico do Sítio Jambuaçu.....	37
<b>Figura 5.5</b> – Perfil de GPR, sobre parte da linha 60 do Sítio Jambuaçu, onde encontraram muitos fragmentos cerâmicos na escavação 01.....	38



<b>Figura 6.1</b> – Mapa magnético do Sítio Jaburu mostrando as anomalias magnéticas indicadas para escavação.....	40
<b>Figura 6.2</b> – Esqueleto humano, encontrado na escavação 05, sobre anomalia magnética G.....	41
<b>Figura 6.3</b> – Fragmentos cerâmicos, encontrados na escavação 06, sobre anomalia magnética A .....	41
<b>Figura 6.4</b> – Mapa cintilométrico do Sítio Jaburu.....	43
<b>Figura 6.5</b> – Mapa mostrando a distribuição da espessura da camada de TPA.....	44
<b>Figura 6.6</b> – Perfil da linha 350, entre as estações 50 e 70, mostrando a feição da anomalia magnética E na estação 59.....	46
<b>Figura 6.7</b> – Perfil da linha 360, entre as estações 50 e 64, mostrando a forma da anomalia magnética F na estação 60.....	46
<b>Figura 6.8</b> – Perfil da linha 375, entre as estações 30 e 50, mostrando a forma da anomalia magnética G na estação 37.....	47
<b>Figura A1</b> – Foto de uma sondagem para descrição dos horizontes.....	52
<b>Figura A2</b> – Escavação mostrando os diferentes horizontes do solo.....	52
<b>Figura A3</b> – Foto mostrando o trabalho de tradagem .....	53
<b>Figura A4</b> – Trado Holandês.....	53
<b>Figura A5</b> – Escavação 06, realizada sobre anomalia magnética B, mostrando fragmentos cerâmicos.....	54
<b>Figura A6</b> – Foto da escavação 07, realizada sobre anomalia magnética F, mostrando fragmentos cerâmicos.....	54
<b>Figura A7</b> – Equipamento GSSI modelo SIR.3000, mostrando o radargrama.....	55
<b>Figura B1</b> – Foto da escavação 01, realizada sobre anomalia magnética A, mostrando fragmento cerâmico.....	56
<b>Figura B2</b> – Cachimbo indígena encontrado na escavação 01.....	56
<b>Figura B3</b> – Foto da Escavação 03, realizada sobre anomalia magnética E, mostrando fragmentos cerâmicos.....	57
<b>Figura B4</b> – A Foto mostra uma estrutura de Pedra encontrada na Escavação 03...	57
<b>Figura B5</b> – Foto da Escavação 06, realizada na estação 30, conforme indicação A, mostrando os fragmentos cerâmicos.....	58

<b>Figura C1</b> – Fotos do Sítio Jaburu.....	59
<b>Figura C2</b> – Fotos da escavação 05 mostrando fragmentos cerâmicos, vasilhas e esqueleto humano.....	60

## RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados da aplicação de métodos geofísicos no salvamento arqueológico em três sítios no estado do Pará: Bittencourt, localizado em Abaetetuba; Jambuaçu, localizado em Moju; e Jaburu, localizado em Almeirim. Os métodos utilizados foram Magnetometria, Cintilometria e Radar de Penetração no Solo (GPR). As medidas magnéticas foram utilizadas para indicar os locais para escavação. O GPR foi usado para confirmar as anomalias detectadas pelas medidas magnéticas e proporcionou a diminuição de erros cometidos quando se identificam anomalias magnéticas que não são causadas por feições arqueológicas. As medidas de cintilometria foram usadas para tentar mapear os solos de Terra Preta Arqueológica (TPA) através da radiação gama natural do solo. Os locais indicados para escavação pela magnetometria e GPR possibilitaram a descoberta de materiais arqueológicos como cerâmica, louça, lítico e ferro. Os resultados obtidos com a cintilometria foram satisfatórios, mostrando haver relação entre as medidas mais baixas de cintilometria e as áreas com maior espessura de TPA. A metodologia geofísica utilizada demonstrou eficiência e rapidez sem causar impactos destrutivos nos sítios.

## **ABSTRACT**

We present the results obtained in the application of geophysical methods to help the archaeological rescue of remains in the three following sites in Pará, northern of Brazil: Bittencourt, located in Abaetetuba; Jambuaçu, located in Moju; and Jaburu, located in Almeirim. Magnetometry, scintillometry and ground penetrating radar (GPR) were used in the study. Magnetic measurements were taken as the main tool to indicate places for excavation. GPR was used to confirm the anomalies detected with the magnetic method and provided a restriction to the magnetic anomalies caused by non-archaeological artifacts. Scintillometry was used as an attempt to map the archaeological black earth (ABE) or Terra Preta Arqueológica (TPA) soil through the detection of natural gamma ray emitted by the ground. The excavations carried out on the indications of magnetometry and GPR yielded the recovery of ceramics, faience, lithics, and iron artifacts. The scintillometric data showed that exist a good correlation between low radiation and large thickness of ABE (TPA). The used geophysical methodology proved to be efficient and quick with no destructive impact to the sites.

## 1 – INTRODUÇÃO

A existência de leis de prevenção a impactos ambientais – previstas na legislação brasileira de proteção ao patrimônio arqueológico (Lei 3.924/61, Resolução CONAMA<sup>1</sup> nº 01/86, Portaria IPHAN<sup>2</sup> nº 07/88) – faz com que projetos de exploração e de utilização de determinadas áreas da União incluam em seu planejamento estudos de impactos ambientais (EIA). Por esse motivo, é comum a solicitação de levantamentos arqueológicos com o objetivo de salvar e resgatar a história e a identidade cultural do local de desenvolvimento desses projetos. Por isso, as pesquisas arqueológicas estão mais voltadas para o que se convencionou chamar de Arqueologia de Contrato, por meio da qual se busca investigar como o salvamento arqueológico das áreas atingidas por projetos exploratórios, que causam um significativo impacto ambiental e patrimonial, podem prevenir a perda da identidade histórico-cultural das mesmas.

O levantamento arqueológico dos sítios começa pelo reconhecimento, em superfície, de remanescentes arqueológicos aflorantes e do tipo de solo. Com estes dados, o arqueólogo pode delimitar o sítio e demarcar o lugar das escavações de acordo com o material recolhido na superfície. Porém, às vezes não há relação entre o que está na superfície e o que está abaixo dela, o que pode levar a erros e, principalmente, a perda de tempo e gastos elevados.

Os métodos geofísicos no estudo de sítios arqueológicos satisfazem a necessidade de se ter maior exatidão dos locais para escavação. Sendo assim, neste trabalho foram empregados os seguintes métodos geofísicos: Magnético, Radar de Penetração no Solo (GPR) e Cintilométrico. As medidas magnéticas foram usadas para localizar anomalias magnéticas causadas por artefatos cerâmicos ou de ferro e para indicar esses locais para escavações; o GPR foi usado para confirmar as anomalias de feições arqueológicas fornecidas pelas medidas magnéticas; as medidas de cintilometria foram usadas para tentar, através da radioatividade natural, mapear o solo de Terra Preta Arqueológica (TPA), que abriga as feições arqueológicas.

---

<sup>1</sup> Conselho Nacional do Meio Ambiente.

<sup>2</sup> Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

Neste trabalho são relatados os resultados obtidos em três sítios (Figura 1.1): Sítio PA-BA-83: Bittencourt, localizado em Abaetetuba/PA nas coordenadas  $1^{\circ} 44,15' S - 48^{\circ} 43,32' W$ ; Sítio PA-BA-85: Jambuaçu, localizado em Mojú/PA nas coordenadas  $1^{\circ} 53,06' S - 48^{\circ} 36,18' W$ ; Sítio PA-AM-06: Jaburu do Rio Paru, localizado em Almeirim/PA nas coordenadas  $1^{\circ} 31,93' S - 52^{\circ} 37,40' W$ .

Os sítios de Abaetetuba e Mojú foram investigados por localizarem-se no local onde será instalado, pela empresa Mineração Bauxita Paragominas (MBP), pertencente à Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), o mineroduto que liga a mina de bauxita, localizada em Paragominas/PA, à indústria Alumina do Norte do Brasil S/A (ALUNORTE) localizada em Barcarena/PA.

O sítio de Almeirim foi investigado por localizar-se em uma área a ser utilizada para exploração de madeira, onde se encontra instalada a empresa Almeirim Industrial Ltda. Este trabalho foi desenvolvido com apoio da equipe de Arqueologia, do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), coordenada pelo arqueólogo Paulo do Canto.



Figura 1.1 – Mapa de localização dos sítios pesquisados.

## 2 – CONCEITOS BÁSICOS

### 2.1 – MAGNETOMETRIA

O Método Magnético usa medidas do campo magnético da Terra e foi um dos primeiros métodos geofísicos empregado em prospecção. As primeiras medidas sistemáticas datam de 1640, foram realizadas na Suécia com o fim de detectar depósitos de Ferro (Fe) e consistiam na observação da variação da declinação magnética com bússolas náuticas. Mais tarde, em 1870, este método foi aperfeiçoado com a construção de instrumentos capazes de medir variações dos componentes horizontal e vertical do campo magnético e da sua inclinação. Atualmente, medidas muito precisas da intensidade do campo e de seus componentes são realizadas com instrumentos conhecidos como magnetômetros.

Medidas do campo magnético da Terra são bastante aplicadas na prospecção arqueológica, tanto por fornecerem ótimos resultados, quanto por serem rápidas e envolverem custo baixo. Em trabalhos realizados na Amazônia, este método tem produzido resultados excelentes, principalmente na Ilha de Marajó/PA, conforme os estudos de Alves (1979), Alves & Lourenço (1981), Roosevelt (1991), Barradas *et al.* (1999) e Bevan & Roosevelt (2003).

A prospecção magnética, em Arqueologia, foi desenvolvida na Inglaterra pelo Laboratório de Pesquisa para Arqueologia e História da Arte, da Universidade de Oxford, para detecção de estruturas como fornos para produzir potes de cerâmica de argila com forte magnetização termo-remanente e sua utilização logo se estendeu à detecção de outras feições arqueológicas, devido à susceptibilidade magnética de compostos de Ferro presentes no solo (Clark, 1986). Essa primeira experiência ocorreu por volta de 1958.

O primeiro trabalho utilizando magnetometria em prospecção arqueológica no Brasil foi feito por Alves (1979) em sítio localizado na ilha de Marajó/PA e apresentou ótima adequação às características de sítios da região amazônica, permitindo a detecção de fragmentos cerâmicos, urnas funerárias e o conhecimento das camadas de ocupação.

Os minerais magnéticos responsáveis pela magnetização da cerâmica e a conseqüente distorção do campo magnético terrestre, observada nos trabalhos de prospecção magnética, são basicamente magnetita e maghemita, encontradas em estruturas de argila queimada como: fornos, vasos cerâmicos e urnas funerárias. Essas estruturas estão submetidas ao efeito do campo magnético terrestre, adquirindo uma intensidade de magnetização  $M$ , proporcional ao campo, dada por:

$$M = \kappa H_{Terra} \quad (2.1)$$

sendo  $\kappa$  a susceptibilidade magnética (propriedade fundamental no Método Magnético) e  $H_{Terra}$  a intensidade do campo magnético terrestre.

A magnetização de um material por um campo externo se faz através do alinhamento dos momentos dos dipolos internos ao material. Esse alinhamento provoca o aparecimento de um campo adicional que, somado ao campo externo  $H$ , produz um campo chamado de indução magnética que se relaciona com o campo magnético da seguinte forma:

$$B = \mu H \quad (2.2)$$

sendo  $\mu$  a permeabilidade magnética do material relacionada à susceptibilidade deste no sistema cgs por:

$$\mu = 1 + 4\kappa\pi \quad (2.3)$$

Na magnetização da argila ocorre o mesmo princípio: após o aquecimento para preparação de artefatos cerâmicos, os momentos magnéticos dos minerais presentes na argila tendem a se alinhar com o campo magnético da Terra, criando magnetização termo-remanente no artefato. Essa magnetização é responsável pelas anomalias observadas nos levantamentos magnéticos.

Nos sítios arqueológicos, as anomalias magnéticas podem ser causadas pelo aquecimento do solo produzido por fogo, que destrói ou modifica as características magnéticas dos minerais presentes, criando no local uma zona com magnetização diferente da encontrada nos seus arredores.

Durante o levantamento magnético ocorre interferência causada por campos magnéticos externos. Uma delas é a variação diurna que produz flutuações magnéticas no espaço de 24 horas, apresentando amplitudes máximas em torno de 50 a 80 nT (nano Tesla). Com a variação diurna, os valores do campo magnético aumentam



suavemente durante as primeiras horas da manhã, atingem seu valor máximo por volta do meio-dia e tornam a decrescer suavemente durante a tarde. Durante um levantamento, é necessário registrar essa variação do campo, para posterior correção dos valores medidos, pois as anomalias magnéticas causadas pela cerâmica são de ordem de grandeza da variação diurna (Luiz & Silva, 1995).

Outra interferência é a causada por 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. Quando isso acontece, o levantamento magnético deve ser suspenso (Luiz & Silva, 1995).

### 2.1.1 – Susceptibilidade magnética dos minerais e rochas

A susceptibilidade magnética das rochas depende, principalmente, da quantidade e do tamanho dos grãos e do modo de distribuição dos minerais ferromagnéticos nelas contidos. Os minerais ferromagnéticos ocorrem nas rochas, comumente, na forma de grãos finos dispersos em uma matriz de minerais paramagnéticos e diamagnéticos formada pelos silicatos (Grant & West, 1965).

Em prospecção magnética, somente os minerais ferromagnéticos têm importância, já que eles apresentam maior susceptibilidade magnética e são os únicos capazes de produzir magnetismo na ausência de um campo externo. Dentre esses, apenas alguns têm susceptibilidade magnética suficientemente elevada para produzir anomalias detectáveis nos trabalhos de prospecção: magnetita, pirrotita, ilmenita, franklinita e maghemita. Devido a sua abundância, os três primeiros contribuem significativamente para a magnetização das rochas (Grant & West, 1965).

O tamanho das partículas é um fator muito importante tanto na susceptibilidade do material, quanto na sua magnetização remanescente (magnetização adquirida na sua formação). Assim, a magnetização induzida por um campo externo em um material contendo finos grãos ferromagnéticos é menor do que a induzida em um material de grão grosso tendo a concentração equivalente. Além disso, quando o campo é

removido, uma magnetização residual mais forte permanece. Ou seja, quanto menor o tamanho do grão, menor a susceptibilidade. Desse modo, duas rochas com a mesma quantidade de magnetita podem apresentar susceptibilidades diferentes (Grant & West, 1965).

### **2.1.2 – Medidas de susceptibilidade magnética**

As medidas de susceptibilidade magnética podem ser realizadas no campo sobre afloramentos, ou em laboratório, em amostras de afloramentos e testemunhos de sondagem. Os medidores de susceptibilidade, denominados Susceptibilímetros, quase sempre empregam um sistema indutivo. O sensor desses instrumentos é composto por núcleo, em forma de U, de material com elevada permeabilidade magnética, enrolado por uma bobina. Passando uma corrente alternada pela bobina, desenvolve-se o fluxo de campo magnético oscilante através de um sensor-ar. Quando uma amostra contendo minerais magnéticos é trazida para as proximidades do sensor, há uma diminuição no valor da relutância magnética no sistema sensor-amostra, pois a presença da amostra facilita o fluxo magnético. A diminuição da relutância provoca um aumento da indutância do sistema, que pode ser detectada e medida como uma variação de voltagem, em escala numérica do instrumento. Os valores numéricos fornecidos pelo instrumento devem ser posteriormente transformados em valores de susceptibilidade, por meio de uma curva padrão, construída pelo fabricante do equipamento a partir de medidas em amostras de susceptibilidades conhecidas (Luiz & Silva, 1995).

### **2.1.3 – A susceptibilidade magnética do solo**

A maioria dos tipos de solos possuem uma quantidade entre 1 a 10% de óxidos de ferro (magnetita, maghemita e hematita). Solos cultivados têm em sua camada superior, com cerca de 0,30 m de espessura, um aumento na susceptibilidade magnética em comparação à camadas mais profundas. Foi proposto dois mecanismos responsáveis por este efeito.

O primeiro ocorre em temperaturas normais, sendo favorecido por períodos alternados úmidos (redução) e secos (oxidação). Período de elevada umidade pode, por isso, causar remoção de ferro por migração (no estado ferroso). Se a drenagem é suficiente, então o solo permanecerá fracamente magnético. O segundo é o efeito acumulativo das queimadas no solo (sua limpeza pela queima como método de cultivo empregado por civilizações antigas); altas temperaturas também interfeririam neste caso (Aitken, 1974).

#### 2.1.4 – Magnetização das cerâmicas

O material básico de composição das cerâmicas é a argila, material bastante utilizado por várias civilizações para a produção de tijolos, vasos, urnas funerárias e fornos. A argila contém finos grãos de minerais ferrimagnéticos como magnetita ( $Fe_3O_4$ ), maghemita ( $\gamma - Fe_2O_3$ ) e hematita ( $\alpha - Fe_2O_3$ ). Na produção das cerâmicas, a argila é aquecida (queimada), fazendo com que a sua magnetização original seja alterada. O processo de queima não altera o total de ferro contido nela, mas o redistribui nos óxidos de ferro, presentes no alinhamento dos seus domínios, de forma que a magnetização resultante tenha a direção do campo magnético da Terra. Esses novos alinhamentos produzem anomalias, permitindo que se detectem fornos, muros de alvenaria e artefatos cerâmicos, conforme Leute (1987) e Klinken (2001).

A intensidade da magnetização no material cerâmico depende do tipo e da quantidade de óxidos de ferro disseminados. Os dados abaixo são valores de saturação da magnetização específica (Susceptibilidade de massa) dos óxidos de ferro:

Magnetita ( $Fe_3O_4$ ) -----  $1,16 \text{ m}^3 / \text{Kg}$

Maghemita ( $\gamma - Fe_2O_3$ ) -----  $1,03 \text{ m}^3 / \text{Kg}$

Hematita ( $\alpha - Fe_2O_3$ ) -----  $0,0063 \text{ m}^3 / \text{Kg}$

Os valores acima indicam que a magnetita e a maghemita são os principais responsáveis pela magnetização da cerâmica (Alves, 1979).

### 2.1.5 – Medidas do campo magnético

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. O sensor é submetido a um campo magnético artificial,  $H_{art}$ , 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:

$$\omega = \gamma_p F_0 \quad (2.4)$$

em que  $\gamma_p = 0,267513 \text{ rad/s.nT}$  é a razão giromagnética do próton e  $F_0$ , 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 1 nT, dentro de uma faixa de medidas de 20.000 a 100.000 nT (Luiz & Silva, 1995).

As medidas magnéticas podem também ser realizadas com os Gradiômetros, instrumentos que possuem dois sensores idênticos de magnetômetros, espaçados de uma pequena distância fixa em relação às fontes de anomalia sob investigação. A diferença na intensidade do campo, medida nos dois sensores, é dividida pela distância entre eles para fornecer o gradiente (em nT/m) do ponto médio entre sensores (Luiz & Silva, 1995).

Nos levantamentos terrestres, a distância entre os sensores é comumente de 1 a 2 m. Na maioria dos levantamentos, o gradiente medido é o vertical.

### 2.1.6 – Causas de interferências.

As causas de interferência ocorridas nos trabalhos de campo são oriundas dos seguintes fatores:

- i) A prospecção magnética não pode ser feita próxima à construções modernas, por causa do ferro presente em suas estruturas;
- ii) Manter distância superior a 10 m das cercas de arame ou de outras estruturas que contenham ferro;
- iii) Pequenos objetos metálicos isolados provocam interferências no raio de 1 ou 2 m;
- iv) As linhas elétrica e telefônica são causas de interferências; centrais elétricas, transformadores e outras instalações similares, podem causar distúrbios nas medidas do campo magnético da Terra;
- v) Efeitos devido a formações geológicas não impedem o trabalho de campo, mas a presença de rochas vulcânicas ou depósitos metamórficos ocultam qualquer anomalia no campo magnético da Terra relacionada às estruturas arqueológicas.

## 2.2 – CINTILOMETRIA

Medidas radiométricas são utilizadas no Brasil desde 1950 como instrumento de prospecção mineral. Em meados da década de 1970, este tipo de informação começou também a ser utilizado como auxílio ao mapeamento geológico. Isto é possível porque a radioatividade das rochas pode ser correlacionada com a sua idade, com o seu tipo e com a sua forma de ocorrência.

Um dos mais eficientes tipos de detecção da radioatividade no ambiente natural é a cintilação em um cristal provocada pela radiação gama emitida durante a desintegração radioativa. Os raios gama são uma forma de radiação eletromagnética com comprimento de onda entre  $10^{-8}$  e  $10^{-14}$  m. Os instrumentos que empregam esse tipo de detecção são chamados de Cintilômetros. Esses instrumentos utilizam

geralmente um cristal de iodeto de sódio ativado por tálio. As cintilações são detectadas por um fotocátodo e transformadas em pulso elétrico que é amplificado em um tubo fotomultiplicador. As medidas de cintilometria são usadas na detecção de radiação gama proveniente da desintegração natural dos isótopos de Urânio (U), Tório (Th) e Potássio (K) presentes no subsolo. A radiação detectada durante as medidas provém, geralmente, de profundidades muito pequenas, que não ultrapassam 0,50 m (Parasnis, 1977).

Um outro processo de detecção é a espectrometria de raios gama baseada na cintilação de raios gama sobre determinado cristal. A espectrometria aproveita que a intensidade do pulso de luz emitido é proporcional à energia do raio gama original para determinar o elemento que emite a radiação, a partir da identificação dos fotopicos presentes (Telford *et al.*, 1990).

As rochas ígneas félsicas abrigam a maior quantidade de minerais ricos em U, Th e K e, por isso, geralmente são as que produzem os maiores valores cintilométricos. Dentre as rochas sedimentares e sedimentos, aqueles espécimes ricos em argilas são os que mostram os valores cintilométricos mais elevados, basicamente por seu teor em K.

A aplicação de cintilometria, na Arqueologia, é discutida por Moussa (2001) e a aplicação no mapeamento de solo é apresentada por Nascimento *et al.* (2004). Neste trabalho, o objetivo é aplicar a cintilometria para mapear a camada de solo conhecida como TPA.

### 2.2.1 – Radioatividade do solo

A concentração de elementos radioativos no solo é determinada pelas rochas fontes e pelo subsequente processo de formação do solo. A máxima concentração de U, Th e K é associada com solos desenvolvidos das rochas magmáticas ácidas e daquelas ricas em argila. O aumento do conteúdo de elementos radioativos é proporcional ao aumento da fração de argila. Esta regra geral está relacionada com a alta sorção de partículas de argila (Kogan *et al.*, 1969).

A distribuição de U, Th e K em solos é de considerável importância para soluções de problemas teóricos e práticos das ciências do solo, da geoquímica e da prospecção geológica e geofísica. Um dos problemas no estudo do processo de formação do solo é a relação entre a fertilidade dele e a concentração de elementos radioativos – essa relação é muito importante no estudo da TPA. Nesse estudo, o elemento radioativo que contribui nas contagens cintilométricas é o K, pela sua abundância, no ambiente, em relação ao Th e U, o que leva a centralizar as atenções em suas características. Para os solos tropicais da Amazônia Brasileira, o teor de K varia de 0,09 a 1,38 mE/100g, sendo considerado alto no solo quando apresenta valores acima que 0,2 mE/100g, médios para valores entre 0,1 e 0,2 mE/100g e baixo quando o teor é menor que 0,1 mE/100g (Vieira, 1987).

### **2.2.2 – Terra Preta Arqueológica (TPA) na Amazônia.**

Na Amazônia, existem áreas de solos que foram afetadas significativamente pelas sociedades pré-coloniais. Estes solos apresentam cor escura, restos de material arqueológico (fragmentos cerâmicos e artefatos líticos) e alto teor de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Fósforo (P) e Carbono (C), sendo conhecidos como TPA. As áreas de TPA são encontradas sobre os mais diversos tipos de solo, como, por exemplo, o Latossolo, o Podzol, o Podzólico, a Terra Roxa Estruturada e os Plintossolos Pétricos. As TPA localizam-se em terra firme, são bem drenados, próximos à água corrente e quase sempre em posição topográfica que permite uma boa visibilidade da área (Kern, 1996).

A formação deste tipo de solo inicia pelo processo de descarte de resíduos orgânicos, como, por exemplo, restos de alimentos, folhas, sementes e casca de vegetais, depositados desordenadamente pelas antigas comunidades nos arredores e, em alguns casos, dentro das habitações. Esse descarte de lixos provocou a fertilização, a modificação na cor e a composição orgânica do solo.

Alguns estudos geoquímicos já possibilitaram a descoberta de certas características dos solos de TPA. Pabst (1991), estudando terras pretas da região de Belterra/PA, verificou que o húmus na TPA é da ordem de seis vezes mais estável à

decomposição que o húmus do Latossolo. Segundo o autor, na TPA, o Ca, Mg e K trocável apresentam uma correlação significativa e positiva com a matéria orgânica, indicando a presença de complexos organo-metálicos no húmus. No Latossolo não existe esta correlação. Esse fator comprova a estruturação química diferenciada entre a matéria orgânica da TPA e o Latossolo. Outra característica distintiva entre a TPA e o solo da região é a fertilidade, pois os solos da Amazônia apresentam baixa fertilidade enquanto a TPA apresenta alta fertilidade (Kern, 1996).

Kern (1996), estudando a TPA da reserva de Caxiuanã/PA, identificou que o horizonte A da TPA correspondente à camada de ocupação humana varia de 0,23 a 0,31 m. Em comparação com áreas adjacentes, as TPA apresentaram textura mais arenosa e se mostraram solos mais estruturados. Os horizontes A das TPA apresentam ainda alta densidade de fragmentos cerâmicos que diminuem com a profundidade, apresentando também altos teores de K nos horizontes A, que chegam a atingir 0,66 mE/100g no horizonte A1, variando de médio a baixo nos demais. Nas áreas adjacentes aos sítios pesquisados, apresentaram altos teores de K apenas no horizonte superficial. Essas diferenças entre solos de TPA e solos da área adjacente ocorrem apenas no horizonte A, não apresentando diferenças significativas para o horizonte B, o que confirma ser uma mesma unidade de solos antes da ocupação.

### 2.3 – RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

O GPR é um método eletromagnético que emprega ondas de rádio em altas frequências, normalmente entre 10 - 2500 MHz, para localizar estruturas e feições geológicas rasas da subsuperfície ou encontrar objetos enterrados pelo homem. O método GPR consiste em obter uma imagem de alta resolução da subsuperfície a partir de pulsos de alta frequência gerados por uma antena transmissora colocada na superfície. A imagem de alta resolução, denominada de radargrama, é construída a partir do registro do tempo de propagação da onda. A propagação do sinal eletromagnético depende da frequência do pulso transmitido e das propriedades elétricas dos materiais (resistividade, constante dielétrica, permeabilidade ou susceptibilidade magnética). As mudanças nas propriedades elétricas da subsuperfície



definem interfaces que fazem com que parte do sinal seja refletido e outra parte refratado (transmitido). As ondas de radar refletidas em diferentes interfaces são captadas em uma antena receptora na superfície do terreno. A energia refletida é registrada em função do tempo de percurso, sendo amplificada, digitalizada e gravada, geralmente, no disco rígido de um computador, deixando os dados prontos para o processamento (Figura 2.1).

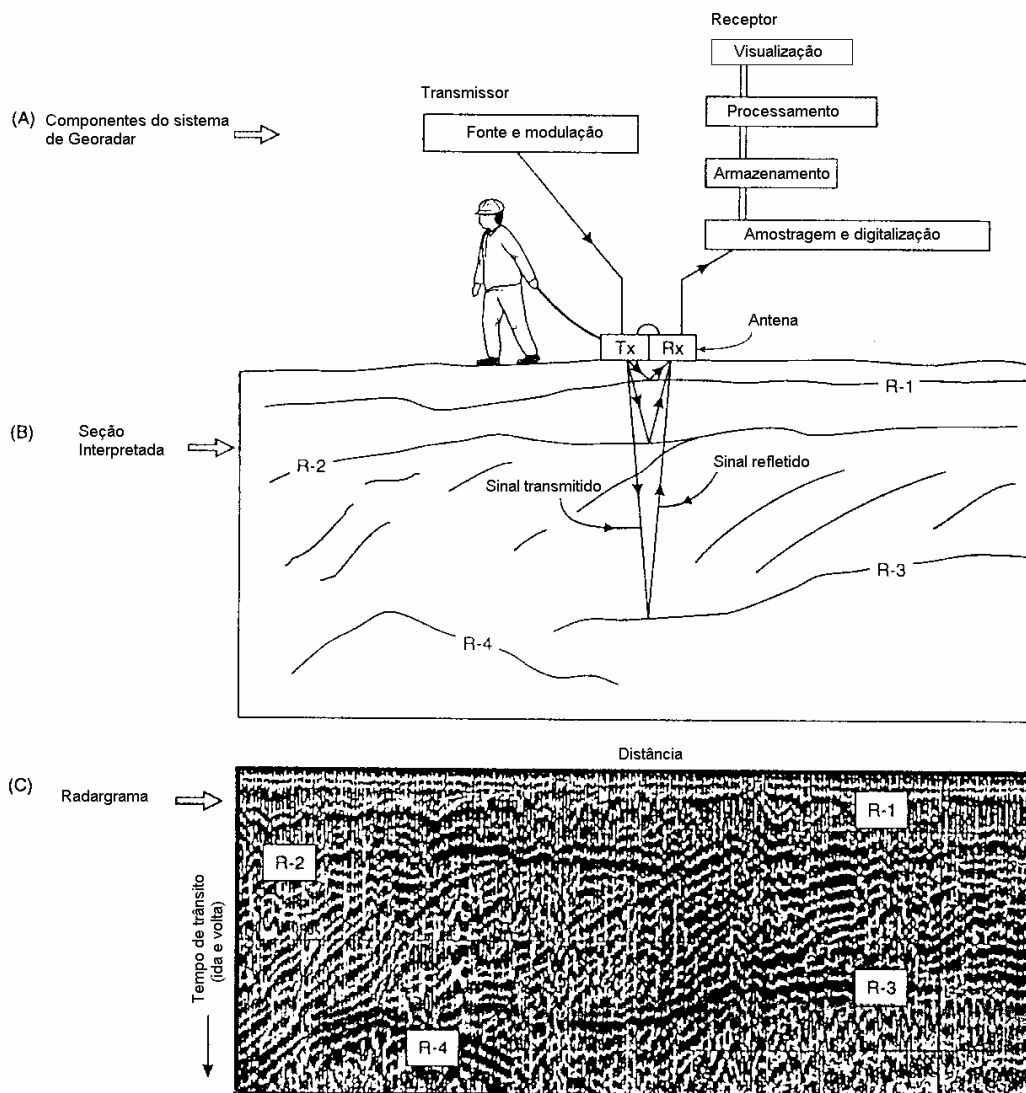


Figura 2.1 – Diagrama simplificado dos constituintes do sistema de Radar e do processo de reflexão e refração (transmissão) da onda. Adaptado de Reynolds (1997).

As propriedades eletromagnéticas dos materiais estão relacionadas à composição e ao conteúdo de água, que exercem algum controle sobre a velocidade de propagação e atenuação da onda eletromagnética nos materiais.

A velocidade da onda em meios não magnéticos é dependente da velocidade da luz no vácuo,  $c = 300 \text{ m} / \mu\text{s}$ , e da constante dielétrica ou permissividade elétrica relativa ( $\epsilon_r$ ), como segue na equação:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.5)$$

O contraste da permissividade elétrica relativa entre as camadas é responsável pela reflexão da radiação eletromagnética incidente. Quanto maior o contraste, maior a energia refletida. A proporção de energia refletida é dada pelo coeficiente de reflexão (R) determinado pelo contraste de velocidade da onda ou pelo contraste da permissividade elétrica relativa dos meios adjacentes, de acordo com estas equações:

$$R = \frac{(v_1 - v_2)}{(v_1 + v_2)} ; \quad (2.6)$$

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r2}} - \sqrt{\epsilon_{r1}}}{\sqrt{\epsilon_{r2}} + \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad (2.7)$$

Em que  $v_1$  e  $v_2$  são as velocidades nas camadas 1 e 2 e  $\epsilon_{r1}$  e  $\epsilon_{r2}$  são as respectivas permissividades elétricas relativas das camadas 1 e 2 (tipicamente  $\epsilon_r$  e  $v$  aumentam com a profundidade). A magnitude de R varia entre  $\pm 1$ , enquanto a proporção de energia transmitida é igual a  $1 - R$ .

O pulso gerado no transmissor sofre perdas de energia pela interação com os materiais da subsuperfície terrestre, que resulta no decréscimo do sinal propagado (Figura 2.2).

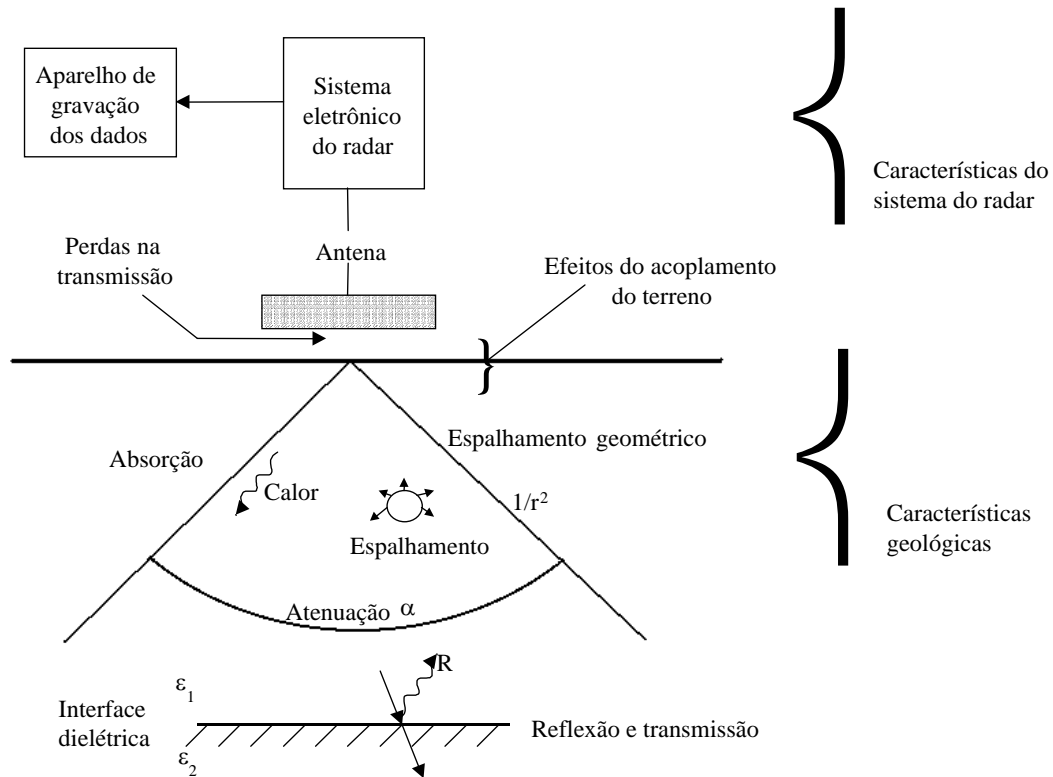


Figura 2.2 – Processos que resultam na perda de energia. Absorção, espalhamento geométrico e atenuação são os mais importantes. Adaptado de Reynolds (1997).

A perda de energia ocorre devido à reflexão e à transmissão através das interfaces dos materiais. Se existirem objetos com dimensões de mesma ordem do comprimento de onda do sinal, isto provocará espalhamento de forma aleatória do sinal, ocasionando ruído no radargrama; e há ainda absorção de energia pela matéria constituinte da subsuperfície. Outra forma de perda de energia é causada pela geometria de propagação do sinal transmitido em um feixe de raio como um cone de  $90^\circ$ .

Uma causa fundamental da perda de energia é a atenuação representada por uma função complexa das propriedades elétricas e dielétricas do meio onde o sinal está se propagando. O fator de atenuação ( $\alpha$ ) é dependente das propriedades elétricas ( $\sigma$ ), magnéticas ( $\mu$ ) e dielétricas do meio ( $\epsilon$ ), assim como da frequência do sinal.

Se a intensidade do campo elétrico na transmissão é  $E_0$ , a uma distância  $z$ , ela reduz para  $E_z$ , dada por :

$$E_z = E_0 e^{-\alpha z} \quad (2.8)$$

em que  $\alpha$  é o coeficiente de atenuação:

$$\alpha = \omega \left\{ \left( \frac{\mu \varepsilon}{2} \right) \left[ \left( 1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \varepsilon^2} \right)^{1/2} - 1 \right] \right\}^{1/2} \quad (2.9)$$

sendo  $\omega = 2\pi f$  ( $f$  é a frequência em Hz);  $\mu$  a permeabilidade magnética (normalmente  $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ),  $\sigma$  a condutividade ( $S/m$ ), e  $\varepsilon$  a permissividade elétrica ( $\varepsilon = \varepsilon_r \times 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$  e  $\varepsilon_r$  é a permissividade elétrica relativa). A formula é válida para materiais não magnéticos (Reynolds, 1997).

### 2.3.1 – Propriedades dielétricas dos materiais da Terra

A permissividade elétrica dos materiais da subsuperfície é comumente desprezada quando se estudam as ondas eletromagnéticas usadas na aplicação dos métodos geofísicos eletromagnéticos de baixa frequência (menores que 30.000 Hz), pois sua contribuição é muito pequena quando comparada com a contribuição da condutividade elétrica. No caso do GPR, entretanto, em que as frequências estão na faixa de milhões de Hz, a permissividade passa a ter contribuição tão importante quanto a condutividade.

A velocidade de propagação da onda do GPR, importante para a conversão do tempo registrado nos radargramas em profundidade, depende basicamente da permissividade elétrica relativa, conforme mostra a expressão 2.5. A permissividade elétrica relativa ( $\varepsilon_r$ ) varia de 1 no ar até 81 na água. Para a maioria dos materiais geológicos,  $\varepsilon_r$  está entre 3 e 30; conseqüentemente, a velocidade da onda do GPR varia de 50 a 173 m/ $\mu\text{s}$  (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Valores da permissividade elétrica relativa e velocidade da onda do GPR de alguns materiais geológicos.

MATERIAL	$\epsilon_R$	V(m/ $\mu$ s)
Ar	1	300
Água (fresca)	81	33
Água (salgada)	81	33
Areia (seca)	3 – 6	120 – 170
Areia (úmida)	25 – 30	55 – 60
Argila (úmida)	8 – 15	86 – 110
Solo Argiloso (seco)	3	173
Silte (úmido)	10	95
Solo Fertilizado	15	77

Fonte: Reynolds (1997)

O conteúdo em água presente nos poros de uma camada geológica afeta a sua permissividade elétrica relativa. Quando o campo eletromagnético é aplicado paralelo ao acamamento, a permissividade elétrica relativa de uma camada pode ser estimada por meio da relação (Reynolds, 1997).

$$\epsilon_r = (1 - \phi)\epsilon_m + \phi\epsilon_w \quad (2.10)$$

em que  $\phi$  é a porosidade,  $\epsilon_m$  e  $\epsilon_w$  são as permissividades relativas da matriz da camada e da água nos poros.

Quando o campo é aplicado perpendicular ao acamamento, o que é normalmente feito nos levantamentos com GPR, então (Reynolds, 1997):

$$\epsilon_r = \epsilon_m \epsilon_w / [(1 - \phi)\epsilon_m + \phi\epsilon_w] \quad (2.11)$$

Substituindo (2.11) na expressão (2.5) obtém-se:

$$V = c / [(1 - \phi)\epsilon_m + \phi\epsilon_w]^{1/2} . \quad (2.12)$$

### 2.3.2 – Interpretação

Antes de proceder a interpretação dos dados de GPR é normal que se processe uma série de operações sobre os dados coletados. Esse processamento é realizado de maneira sistemática, dependendo do objetivo a que se destina a interpretação, podendo-se remover certas feições indesejáveis ou realçar as feições de interesse. A interpretação é baseada na configuração da amplitude e da continuidade das reflexões dos dados. Um aspecto fundamental da interpretação de dados de GPR, similar ao de uma seção sísmica, é distinguir eventos primários de secundários, como reverberação, múltiplas reflexões, ruído instrumental, interferências, entre outros.

A análise é feita: (i) identificando os refletores, difratores e medidas do tempo duplo de percurso da onda; (ii) medindo ou atribuindo valores aproximados para constantes dielétricas, a fim de se obter um valor para a velocidade da onda, visando converter o tempo duplo de percurso em profundidade. A velocidade pode ainda ser estimada usando técnicas especiais de coleta de dados tais como a técnica CMP – *Common Mid Point* – (Reynolds, 1997) ou pelo método de superposição de hipérbolas executado pelo programa computacional GRADIX (1997).

Além do mapeamento das interfaces de reflexão, é possível usar as variações das características mostradas no radargrama como indicação das características da subsuperfície, por exemplo, áreas com alta atenuação do sinal podem ser devidas a zonas com elevada condutividade, as quais podem ser interpretadas como zonas poluídas ou pacotes argilosos; enquanto zonas de falhas nas camadas podem estar evidentes pela perda de coerência ou continuidade dos primeiros eventos de reflexão.

### 2.3.3 – Utilização na Arqueologia

O GPR possui algumas aplicações na investigação arqueológica especialmente por se tratar de um método de alta resolução espacial, não destrutivo e com profundidade de penetração inferior a 3 m, importante no caso de sítios cerâmicos da região amazônica, que, em geral, a partir desta profundidade demonstram ser estéreis de feições arqueológicas.

O GPR pode ser usado como técnica principal (Cezar *et al.*, 2001) ou como técnica complementar em um levantamento (Barradas *et al.*, 1999). Ele é complementar quando auxilia outros métodos, principalmente o método magnético, contribuindo na confirmação das anomalias magnéticas, dando segurança na demarcação das escavações do sítio, reduzindo, assim, os erros causados por falsas anomalias. Uma outra vantagem é a redução do tempo de exploração.

O uso do GPR para estudos de sítios arqueológicos, visando a identificação de construções e artefato arqueológico, necessita do uso de altas frequências (maiores de 200 MHz). Quanto maior a frequência melhor a resolução (capacidade de discriminação) da subsuperfície, propiciando a descoberta de materiais de pequena dimensão, como fragmentos cerâmicos, por exemplo, de feições arqueológicas, tais como solos de ocupação, urnas, dutos enterrados, alicerces de construções e túneis, que produzem padrões nos registros do GPR bem característicos e que podem ser distinguidos dos padrões associados ao material naturalmente depositado durante os processos geológicos. A dificuldade de uso destas frequências consiste na forte atenuação do sinal quando a profundidade de interesse é extensa; outra dificuldade ocorre quando o contraste da propriedade elétrica entre o objeto enterrado e o meio adjacente é desprezível, como no caso de artefatos cerâmicos em solo argiloso.

### 3 – METODOLOGIA

#### 3.1 – MEDIDAS DO CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA

As medidas do campo magnético foram realizadas com o Magnetômetro de Precessão de Prótons Geometrics, modelo G-826 (Figura 3.1), que permite identificar perturbações no campo magnético da Terra (Figura 3.2) de até 1 nT. O Sensor do magnetômetro foi mantido a 0,5 m de altura do solo.

As estruturas de interesse arqueológico encontradas na Amazônia são de dimensões pequenas, necessitando que as medidas do campo magnético sejam tomadas em pontos próximos, o que levou tais medidas a serem tomadas em intervalos de 1 m sobre linhas espaçadas de 5 m. As linhas foram orientadas na direção oeste-leste, cobrindo partes das áreas internas dos sítios selecionados pela prospecção arqueológica preliminar.

A variação diurna do campo magnético foi controlada pela re-ocupação de uma estação base, escolhida aleatoriamente. Após a correção da variação diurna, os dados foram representados em mapa de contornos de isovalores, relativos aos valores medidos na estação base.



Figura 3.1 – Magnetômetro de Prótons Geometrics modelo G826.





Figura 3.2 – Medida do campo magnético da Terra.

### 3.2 – MEDIDAS CINTILOMÉTRICAS

Nos sítios pesquisados, as medidas foram realizadas com o Cintilômetro modelo SPP2 (Figura 3.3) que conta a radiação gama total (sem discriminação do isótopo fonte) incidente em um cristal detector de iodeto de sódio. As medidas foram obtidas a intervalos de 2 m em todas as linhas utilizadas no levantamento magnético, o sensor do instrumento foi mantido a uma altura aproximada de 0,20 m da superfície do terreno (Figura 3.4) e as áreas levantadas são consideradas áreas internas dos sítios.

As medidas de cintilometria foram comparadas com os dados obtidos através de tradagem e de informações provenientes de sondagens e escavações. A tradagem é o método utilizado para mapeamento da extensão do solo de TPA, com o objetivo de delimitar a área externa, de transição e a área interna de um sítio arqueológico, informando a espessura da camada de TPA. As sondagens são realizadas com objetivo de identificar e comparar as camadas estratigráficas dessas áreas, enquanto as escavações são usadas na procura de artefatos arqueológicos e, também, contribuem informando a espessura da camada de TPA. Assim, buscou-se correlacionar as informações obtidas com estes métodos, utilizados na arqueologia, para chegar a uma relação das medidas cintilométricas e a espessura da camada de TPA.



Figura 3.3 – Cintilômetro modelo SPP2.



Figura 3.4 – Medidas de cintilometria.

### 3.3 – RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

Neste trabalho, os perfis de GPR foram registrados com equipamento GSSI modelo SIR-3000 e antena de 400 MHz. As medidas foram realizadas, no modo do tempo, com o controle da distância feito com o auxílio de trena e a inserção de marcas nos registros a cada 5 m (Figura 3.5). O levantamento foi realizado nas mesmas linhas do levantamento magnético.

Os registros obtidos com o GPR foram processados com auxílio do programa computacional GRADIX (1997). Foi empregado apenas um processamento básico visando melhorar as imagens. Os seguintes procedimentos foram usados: (i) redistribuição espacial da amostragem para obtenção de espaçamento uniforme entre as medidas; (ii) aplicação de filtro passa alta para eliminar saturação do sinal durante o registro, causada pela grande amplitude das ondas direta e do ar; (iii) estabelecimento de tempo zero no registro, para obtenção do nível zero de profundidade (posição da superfície do terreno); (iv) determinação da velocidade de propagação da onda eletromagnética usando o método de superposição de hipérboles; e (v) conversão da escala vertical de tempo em profundidade.



Figura 3.5 – Aquisição de dados com GPR.

## 4 – RESULTADOS NO SÍTIO BITTENCOURT

### 4.1 – LEVANTAMENTO MAGNÉTICO

No sítio arqueológico PA-BA-83: Bittencourt, as medidas magnéticas foram realizadas sobre 12 linhas espaçadas à 5 m com comprimento de 100 m, cobrindo 5.500  $m^2$  na área interna do sítio. A estação base foi reocupada a cada 40 minutos para controle da variação diurna.

Esse sítio localiza-se próximo a um mineroduto metálico que causou interferência nas medidas magnéticas e o surgimento de uma forte região anômala na parte leste do mapa, a partir da estação 30. Por isso, as medidas a leste dela foram descartadas, pois poderiam encobrir qualquer anomalia magnética proveniente de material cerâmico.

As medidas magnéticas relativas à estação base (Figura 4.1) mostram variações do campo magnético entre - 60 a 70 nT, que incluem anomalias que podem estar relacionadas com o material cerâmico procurado. As seguintes anomalias foram detectadas e recomendadas para escavação arqueológica: (A) Anomalia negativa limitada pelas linhas 25 e 30 e as estações 4 e 30 (dois picos são observados nessa anomalia: na estação 27 na linha 25 e na estação 5 na linha 30); (B) anomalia positiva centrada na estação 24 entre as linhas 30 e 35; (C) anomalia com picos positivos e negativo entre as estações -18 e -21 na linha 35; (D) anomalia negativa com picos nas estações - 6 e -11 na linha 40; (E) anomalia positiva alongada com picos estendendo-se da estação -19 na linha 40 à estação -19 na linha 45; (F) anomalia negativa entre as linhas 40 e 45 estendo-se da estação 20 a 30; (G) forte anomalia positiva com centro na estação 1 na linha 45.

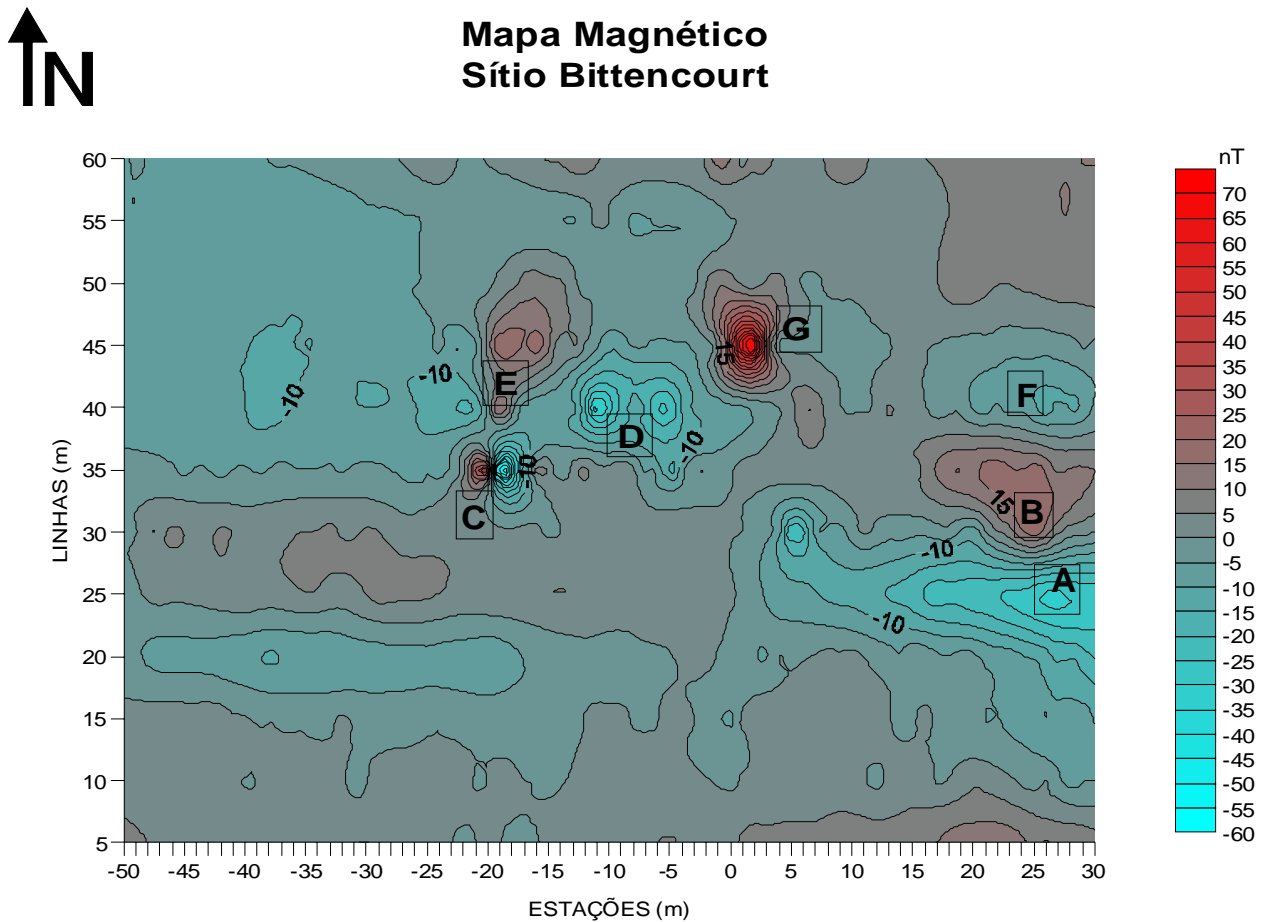


Figura 4.1 – Mapa magnético do Sítio Bittencourt mostrando as anomalias magnéticas indicadas para escavação.

No Sítio Bittencourt, todas as anomalias magnéticas indicadas foram investigadas através de escavações que revelaram fragmentos de cerâmica, louça, argila queimada, carvão e artefatos de ferro. Na escavação 06 (Figura 4.2), realizada sobre a anomalia magnética (B), ocorreu a maior concentração de material arqueológico com a camada de terra preta chegando aproximadamente a 0,30 m de espessura. Nesta escavação foram encontrados sete cachimbos de cerâmica indígena, muitos fragmentos cerâmicos (bordas, base, alças, louças) e fragmento de ferro. Devido a este grande número de objetos, a escavação estendeu-se da estação 20 à estação 30 na linha 30, estendendo-se também para a linha 35 (Figura 4.3). Outras escavações foram abertas, conforme as recomendações citadas anteriormente, onde foi encontrado mais material cerâmico, porém em menor concentração em comparação ao encontrado na escavação 06, conforme Lopes *et al.* (2005a).





Figura 4.2 – Escavação 06 do Sítio Bittencourt, sobre anomalia magnética B, mostrando os fragmentos cerâmicos.



Figura 4.3 – Escavação 06 totalmente explorada.

## 4.2 – LEVANTAMENTO CINTILOMÉTRICO

As medidas cintilométricas estão representadas na forma de contornos de isovalores (Figura 4.4). Os valores de contagem total de radiação medidos na área variaram de 10 a 23 cps (contagem por segundo). De acordo com as tradagens, realizadas entre as linhas 0 e 5 e as sondagens localizadas na estação 0 das linhas 5 e 55, esses valores refletem basicamente a argilosidade do solo: os valores mais elevados relacionados com o solo essencialmente argiloso e, os valores menores, ao solo mais arenoso.

Observa-se, no mapa cintilométrico, uma distribuição de altos valores no extremo leste da área investigada, entre as estações 47 e 50. Nesse local existe um mineroduto enterrado com altos valores cintilométricos observados, provavelmente, devido ao material argiloso usado para cobri-lo e protegê-lo. Essa é, portanto, uma distribuição que reflete um solo não natural. Nos outros locais da área com valores elevados, eles refletem um solo argiloso.

As análises de solo realizadas em amostras dos sítios em estudo revelaram a associação da camada de ocupação arqueológica com um solo escuro, pouco argiloso. Por esse motivo, a distribuição dos valores cintilométricos mais baixos é importante para o seu mapeamento.

Comparando o mapa magnético (Figura 4.1) com o mapa cintilométrico (Figura 4.4), observa-se que as anomalias magnéticas ocorrem, aproximadamente, na zona de ocorrência dos valores entre 15 e 16 cps. Entretanto, nem todos os intervalos entre 15 e 16 cps têm anomalias magnéticas associadas.

Os valores das medidas cintilométricas foram relacionados com a espessura da camada de TPA (Figura 4.5) obtida através de tradagens espaçadas de 10 m feitas na linha 0. Observa-se que espessuras que variam de 0,11 a 0,29 m estão relacionados com valores cintilométricos de 12 a 16 cps, nos quais a menor espessura localizada na estação -20 corresponde a 16 cps, enquanto que a maior espessura localizada na estação 30 corresponde a 14 cps.

As informações provenientes de sondagens localizadas na estação 0 nas linhas 5 e 50 e da escavação 05, situada na estação 20 na linha 40 e, ainda, da escavação 06, citada acima, mostram que no sítio há um predomínio de solos de textura arenosa,

chegando a areno-argiloso com o aumento da profundidade. Esse tipo de textura justifica a distribuição das medidas cintilométricas que variaram de 10 a 20 cps. A camada de TPA chegou em média a 0,36 m de espessura, enquanto a tomada de valores nestas áreas ficou em torno de 13 a 15 cps, comprovando mais uma vez a relação do solo de TPA com as baixas contagens de radioatividade do solo.

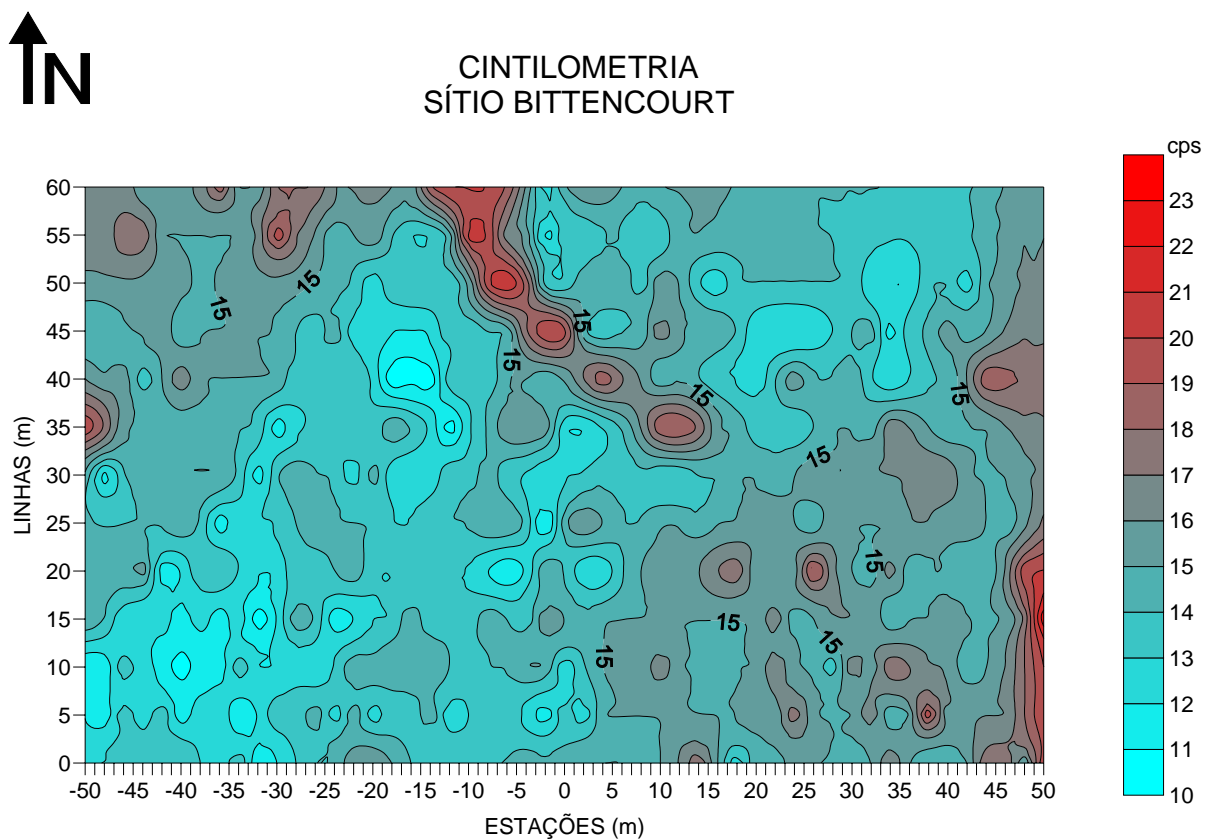


Figura 4.4 – Mapa cintilométrico do Sítio Bittencourt.



### Sítio Bittencourt

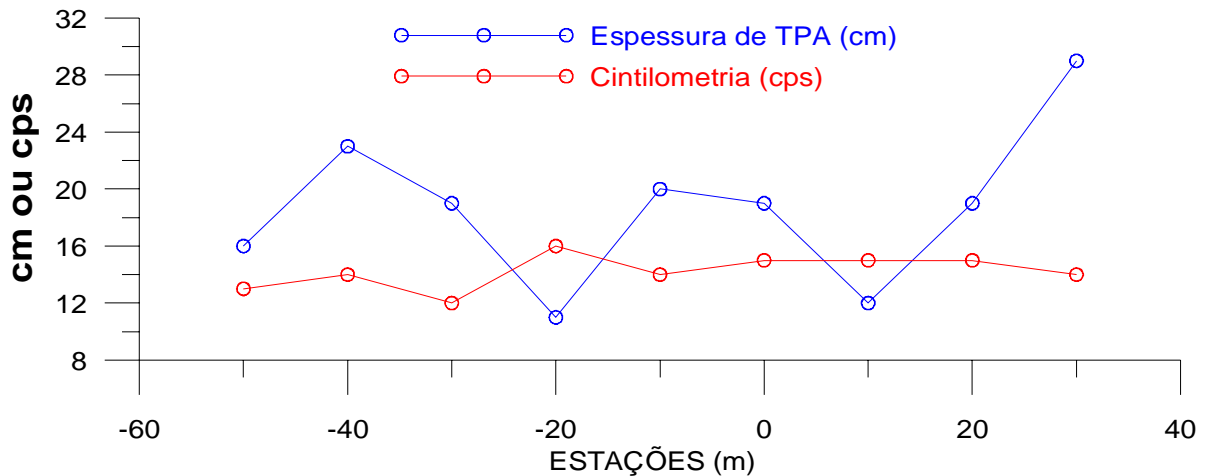


Figura 4.5 – Correlação entre a espessura da camada de TPA e os valores cintilométricos.

#### 4.3 – MEDIDAS COM GPR

As medidas com GPR na área do sítio Bittencourt foram realizadas sobre as mesmas linhas do levantamento magnético (linhas 5 a 60) cobrindo toda a sua extensão.

Em todos os perfis, a escala vertical de tempo foi convertida em profundidade usando a velocidade de  $75 \text{ m} / \mu\text{s}$  para propagação da onda.

A imagem – radargrama – obtida (Figura 4.6) sobre parte da metade leste na linha 30 corresponde ao local onde foi detectada a anomalia magnética B cuja escavação (Figuras 4.2 e 4.3) evidenciou a maior quantidade de fragmentos de cerâmica na área.

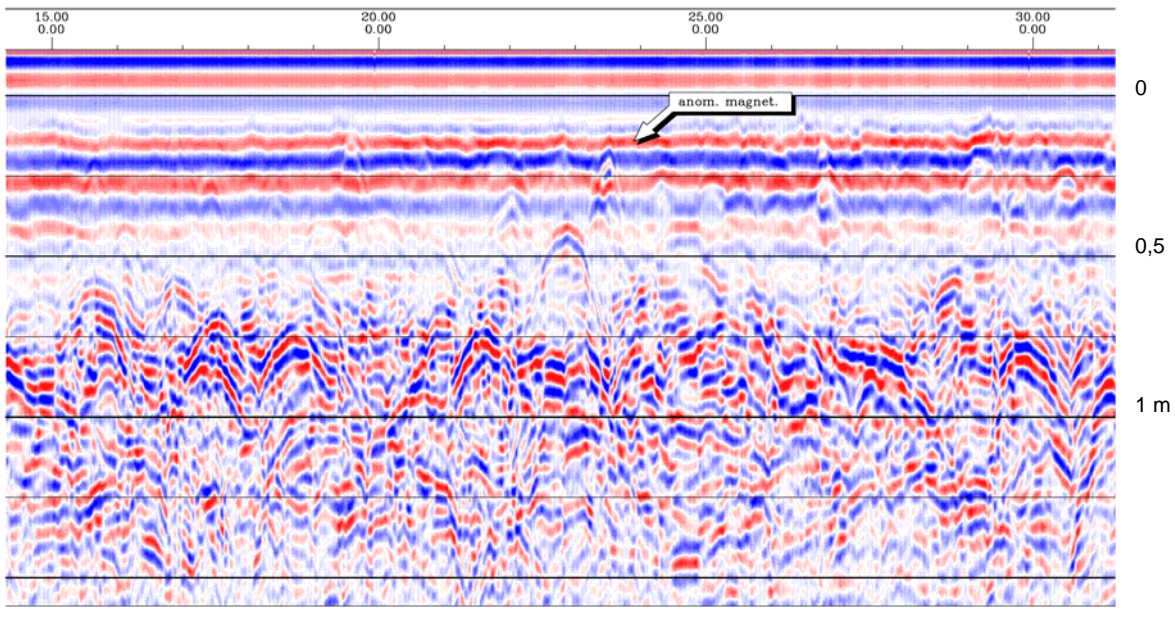


Figura 4.6 – Perfil de GPR, sobre parte da metade leste da linha 30 do Sítio Bittencourt, onde foi detectada a anomalia magnética B.

Observa-se no radargrama que entre as estações 20 e 30, onde se desenvolve a anomalia magnética, ocorrem ondulações e pequenas formas hiperbólicas entre as profundidades de 0,10 a 0,25 m. Essas feições anômalas estão relacionadas, possivelmente, aos artefatos encontrados na escavação 06. Outras feições anômalas, de forma hiperbólica, também podem ser observadas no radargrama abaixo da profundidade 0,5 m. Essas feições são de cunho puramente geológico, provavelmente, causadas por ondulações na interface de reflexões.

## 5 – RESULTADOS NO SÍTIO JAMBUAÇU

### 5.1 – LEVANTAMENTO MAGNÉTICO

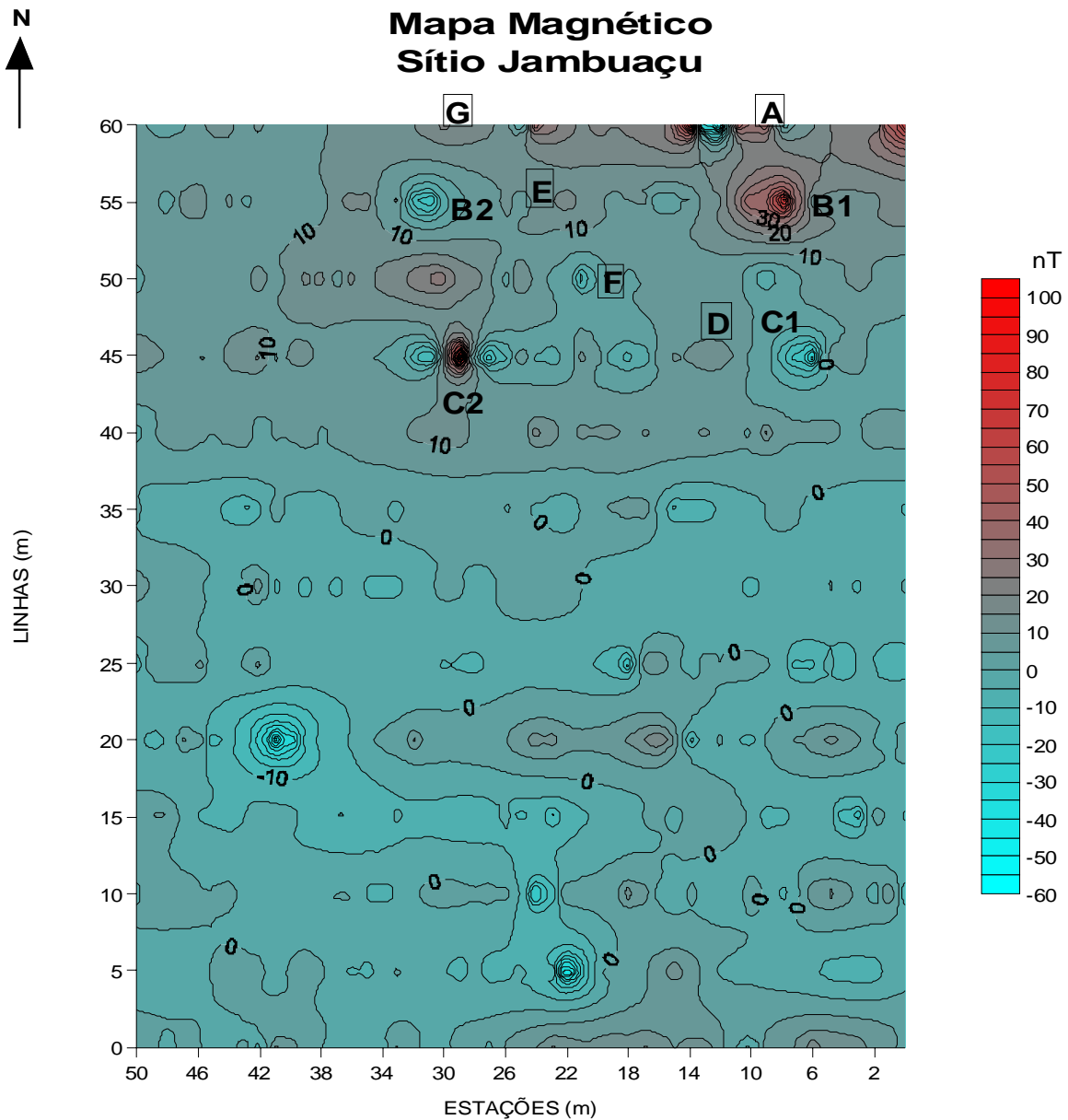
As medidas foram tomadas em intervalos de 1 m sobre 13 linhas espaçadas de 5 m, de direção oeste-leste, numeradas de 0 a 60, que cobriram uma área  $3000 \text{ m}^2$ . Essas medidas foram tomadas apenas na porção da área a oeste em relação à linha base norte-sul estabelecida na prospecção arqueológica, que passa na estação zero das linhas de medida. Esse procedimento foi adotado porque a leste da referida linha base encontra-se um mineroduto metálico que interferiria nas medidas. No mapa, as linhas 0 a 35 foram destacadas porque, após o levantamento geofísico, estas linhas foram consideradas pertencentes à área externa pela prospecção arqueológica do sítio, não interessando, desse modo, para escavação arqueológica.

Para controle da variação diurna do campo, a estação 50 na linha 30 foi tomada como estação base e re-ocupada a intervalos de tempo inferiores há 30 minutos. Os valores medidos, corrigidos da variação diurna, estão representados no mapa de contornos de isovalores (Figura 5.1). Os valores representados são relativos ao valor medido na estação base.

Observa-se, no mapa, que na região compreendida entre as linhas 40 e 60 ocorrem uma série de anomalias com amplitudes variando entre - 25 e 75 nT, que estão relacionadas, possivelmente, ao material cerâmico. Os centros dessas anomalias encontram-se localizados nas estações: (A) 0, 4, 12 e 14 na linha 60; (B) 8 e 32 na linha 55; (C) 6 a 8 e 26 a 32 na linha 45; (D) 12 na linha 45; (E) 22 na linha 55; (F) 21 na linha 50 e (G) 30 na linha 60. Esses locais foram sugeridos para escavação.

Desses pontos sugeridos para escavações, somente as sugestões (A), (D), (E), (F) e (G), propiciaram a descoberta de material cerâmico. Na escavação 01 (Figura 5.2), realizada sobre as anomalias (A), foram encontrados muitos fragmentos cerâmicos. Na escavação 03 (Figura 5.3), realizada sobre a anomalia (E), além dos fragmentos cerâmicos, foi encontrada também uma estrutura de pedra que pode ser o alicerce de uma antiga construção. A escavação 04, foi realizada sobre anomalia (D), a escavação 06, foi realizada sobre anomalia (G), e a escavação 07 foi realizada sobre a anomalia (F). Essas escavações apresentaram vestígios de argila queimada e muitos

fragmentos cerâmicos. As anomalias, indicadas pelo mapa magnético, onde não foram encontrados fragmentos cerâmicos, foram causadas por materiais descartados pelos habitantes locais como lixo doméstico (materiais de ferro e material de construção), conforme Lopes *et. al.* (2005b).



**A D E F G** Anomalias magnéticas provenientes de material cerâmico.

**B1 B2 C1 C2** Anomalias magnéticas não provenientes de material cerâmico.

Figura 5.1 – Mapa magnético do Sítio Jambuaçu.



Figura 5.2 – Foto da escavação 01, sobre anomalia magnética A, mostrando fragmentos cerâmicos.



Figura 5.3 – Foto da escavação 03, sobre anomalia magnética E, mostrando uma estrutura de pedra.

## 5.2 – LEVANTAMENTO CINTILOMÉTRICO

No Sítio Jambuaçu, a amostragem cintilométrica foi feita a intervalos de 2 m ao longo das mesmas 13 linhas usadas nas medidas magnéticas. Ao contrário do que se fizera no método magnético, de descartar as linhas de 0 a 35, interpretou-se esta área externa do sítio comparando-a com a área interna. Os valores medidos estão representados no mapa de contornos de isovalores (Figura 5.4).

Os valores medidos, neste sítio, variaram de 16 a 43 cps, apresentando, portanto, valores mais elevados do que no Sítio Bittencourt, tratado anteriormente. Esses valores mais elevados sugerem uma maior argilosidade no solo do Sítio Jambuaçu. O mapa seguinte sugere que o solo da área externa é predominantemente argiloso e com maior argilosidade distribuída na porção leste da área, onde foi possível observar a presença de solo laterítico durante a tomada das medidas.

Comparando o mapa cintilométrico com o mapa magnético da área investigada, observa-se uma boa correlação entre as anomalias magnéticas que foram escavadas e as regiões que apresentaram valores abaixo de 28 cps.

Utilizaram-se também os dados provenientes das tradagens para comparar a espessura da camada de solo de TPA com os valores cintilométricos. Foi utilizada a linha 60 por ser a única linha que permitiu a comparação entre o levantamento da espessura do solo e o levantamento cintilométrico. Nesta linha, a espessura da camada de TPA variou de 0,32 a 0,38 m, relacionando-se com valores da cintilometria que variaram de 23 a 30 cps.

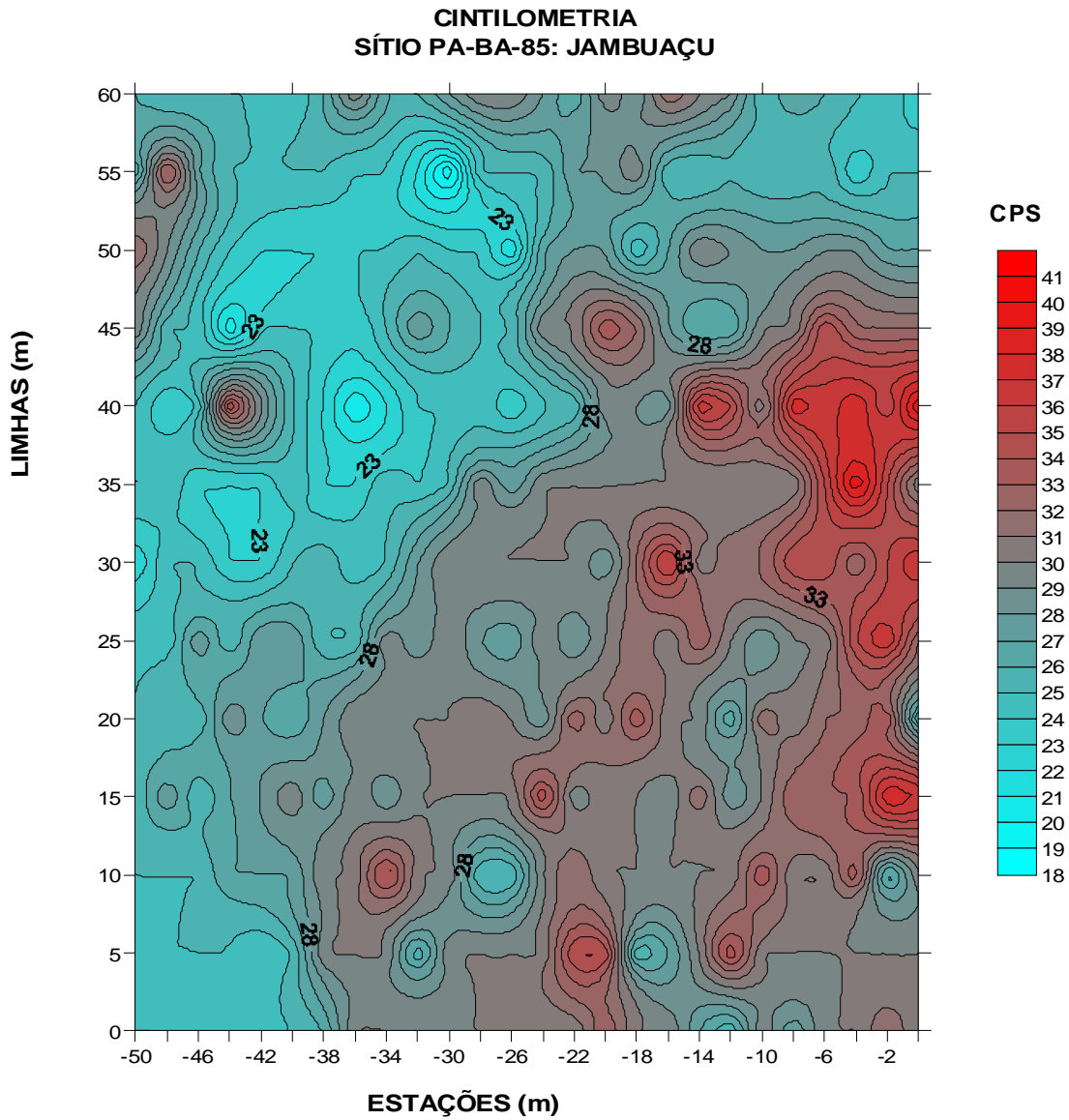


Figura 5.4 – Mapa cintilométrico do Sítio Jambuaçu.



### 5.3 – MEDIDAS COM GPR

As medidas com GPR na área do Sítio Jambuaçu foram realizadas sobre as linhas do levantamento magnético, cobrindo apenas as partes das linhas que apresentaram feições magnéticas anômalas.

Em todos os perfis, a escala vertical de tempo foi convertida em profundidade usando a velocidade de  $50 \text{ m}/\mu\text{s}$  para a propagação da onda.

A imagem obtida sobre parte da linha 60 (Figura 5.5) – corresponde ao local onde foi detectada a anomalia magnética A – cuja escavação 01 (Figura 5.2) evidenciou muitos fragmentos cerâmicos até a profundidade de 0,40 m. A forma hiperbólica que pode ser observada no radargrama, entre as estações 12 e 13 à profundidade de 0,20 m, indica as feições arqueológicas.

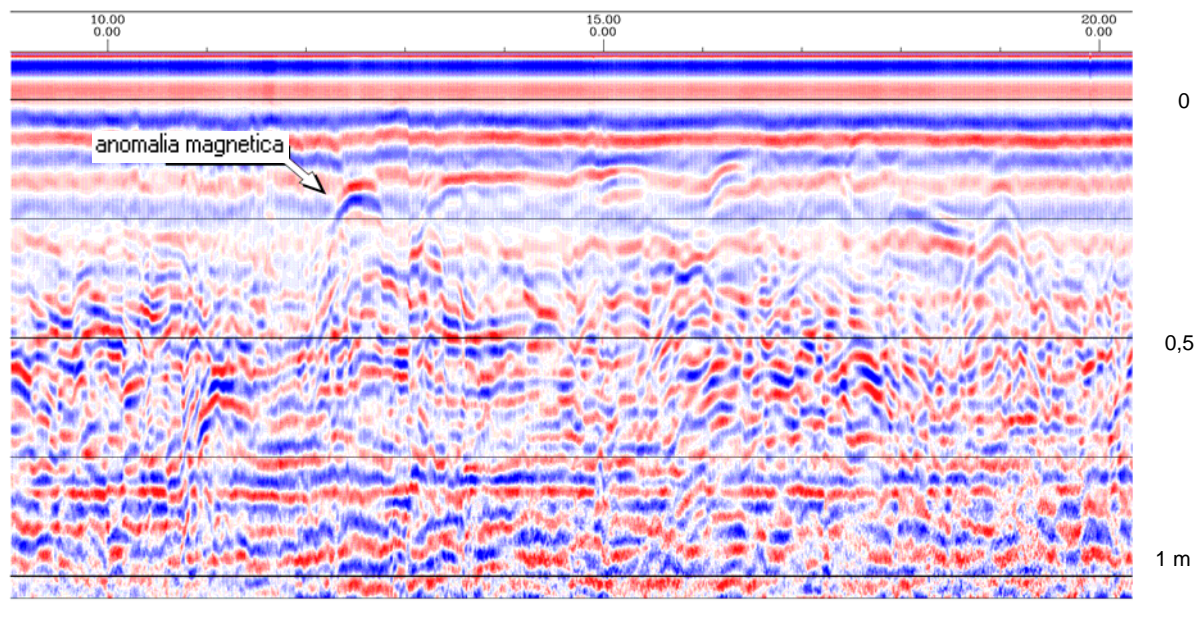


Figura 5.5 – Perfil de GPR, sobre parte da linha 60 do Sítio Jambuaçu, onde encontraram muitos fragmentos cerâmicos na escavação 01.



## 6 – RESULTADOS NO SÍTIO JABURU

### 6.1 – LEVANTAMENTO MAGNÉTICO

As medidas magnéticas foram tomadas a intervalos de 1 m sobre 19 linhas orientadas na direção oeste-leste espaçadas de 10 m com algumas linhas intermediárias com espaçamento de 5 m. Somente a parte oeste, referente à linha base sul-norte estabelecida na prospecção arqueológica foi utilizada no levantamento, já que na parte leste, há um campo de futebol da comunidade. A variação diurna foi controlada pela re-ocupação da estação base localizada na estação 22 na linha 310.

As medidas magnéticas (Figura 6.1) já corrigidas da variação diurna mostram anomalias observadas no mapa como interferências causadas por cercas de arame como as que estão localizadas próximas à estação 10 nas linhas 310 a 380. Outras anomalias, causadas por interferência devido a materiais de construção jogados na superfície, localizam-se entre as estações 0 a 10 entre as linhas 380 e 390 e, nas estações de 10 a 30 na linha 390. No mapa, as demais anomalias foram indicadas no sítio para escavação, dessas a maioria apresenta amplitude superior a 50 nT e não deve ter sido provocada por artefatos cerâmicos, embora eles estejam enterrados, possivelmente, junto à fonte responsável. Entre os objetos que podem causar as fortes anomalias estão os blocos de rochas e materiais metálicos.

As anomalias magnéticas cujas fontes podem estar relacionadas ao material arqueológico e que foram recomendadas para escavação estão localizadas: (A) anomalia entre as estações 16 e 22 na linha 270; (B) anomalia entre as estações 24 e 38 na linha 280; (C) anomalia entre as estações 35 a 42 na linha 310; (D) anomalia centrada na estação 46 na linha 340; (E) anomalia centrada na estação 58 na linha 350; (F) anomalia centrada na estação 60 na linha 360; (G) anomalia na estação 35 na linha 375.

As escavações foram realizadas em todas as anomalias recomendadas. Entre elas, pode-se citar a escavação 05, realizada sobre a anomalia (G), onde foi encontrado um enterramento antigo com esqueleto próximo de vasos cerâmicos (Figura 6.2). Na escavação 06, localizada na anomalia (A), também foram encontrados artefatos arqueológicos (Figura 6.3). Outras escavações, como a 02 e a 03, realizadas sobre as

anomalias magnéticas (E) e (F) possibilitaram a retirada de muitos fragmentos cerâmicos, louças, ferro e líticos importantíssimos para estudos arqueológicos conforme Lopes *et al.* (2005c).

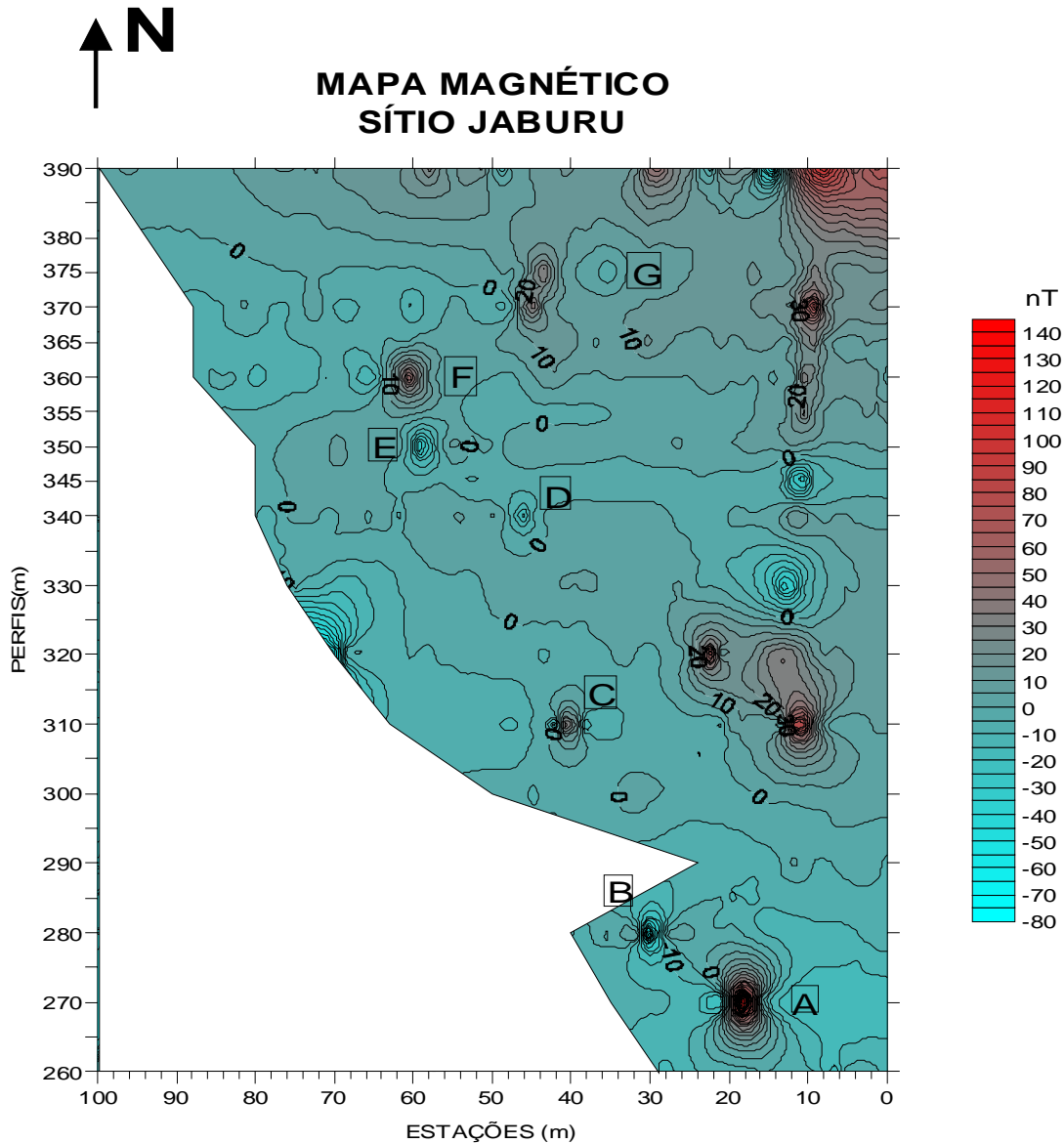


Figura 6.1- Mapa magnético do Sítio Jaburu mostrando as anomalias magnéticas indicadas para escavação.



Figura 6.2 – Esqueleto humano, encontrado na escavação 05, sobre anomalia magnética G.



Figura 6.3 – Fragmentos cerâmicos, encontrados na escavação 06, sobre anomalia magnética A.

## 6.2 – LEVANTAMENTO CINTILOMÉTRICO

As medidas cintilométricas foram tomadas a intervalos de 2 m sobre 20 linhas na parte oeste do sítio referente à linha base norte/sul. As medidas variaram de 16 a 32 cps, valores justificados pelas informações fornecidas pelas sondagens e pelas escavações, mostrando que a textura do solo é areno-argilosa. Para este sítio, pode comparar o mapa de contornos de isovalores das medidas cintilométricas (Figura 6.4) com o mapa de contornos de isovalores da espessura de TPA obtido das tradagens (Figura 6.5).

As tradagens foram feitas a intervalos de 4 m em todas as linhas utilizadas para cintilometria. Todos os dados coletados são oriundos da área interna do sítio o que possibilitou a comparação dos mapas de cada método. O objetivo da comparação dos mapas é relacionar áreas com maior profundidade de TPA com os valores de cintilometria para se verificar as correlações.

Pode-se observar, no mapa, que a espessura da camada de TPA varia de 0 a 0,55 m, sendo que na área há um predomínio que varia de 0,30 a 0,55 m entre as linhas 200 e 360. Dentro dessa área, os valores cintilométricos variaram de 16 a 26 cps. Os menores valores cintilométricos estão localizados entre as linhas 200 e 260 onde os valores predominantes estão entre 16 e 22 cps e a espessura de TPA foi acima de 0,35 m. Entre as linhas 260 e 360, os valores cintilométricos que predominaram estão entre 20 e 26 cps para uma mesma variação de espessura acima de 0,35 m. Desse modo, pode-se afirmar que os valores cintilométricos abaixo de 26 cps estão relacionados com a maior espessura de TPA.

Comparando o mapa cintilométrico com o magnético, as anomalias indicadas para escavação encontram-se na área em que os valores cintilométricos variam entre 20 e 25 cps, onde a camada de TPA é mais espessa.

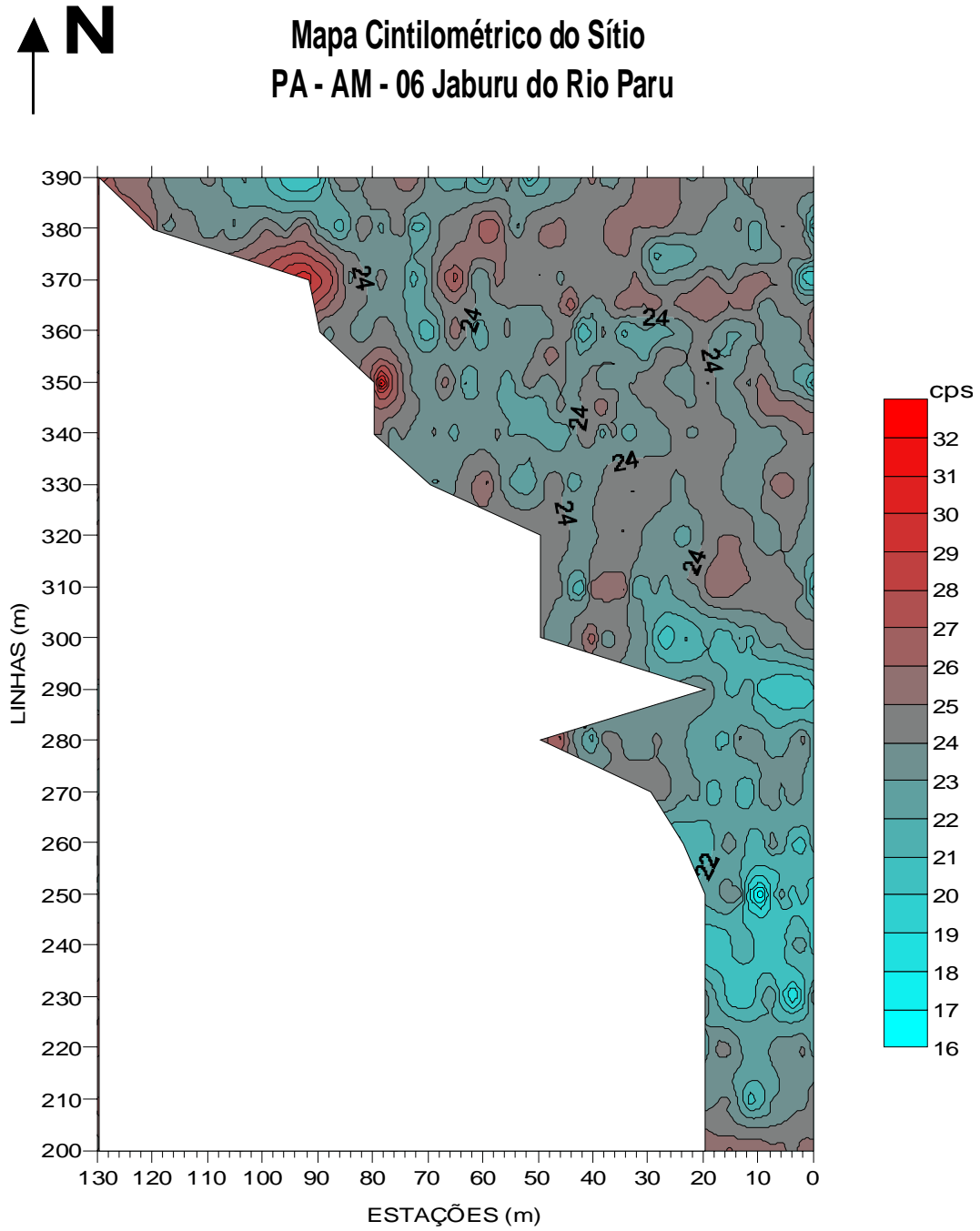


Figura 6.4 – Mapa cintilométrico do Sítio Jaburu.

## Espessura da camada de TPA

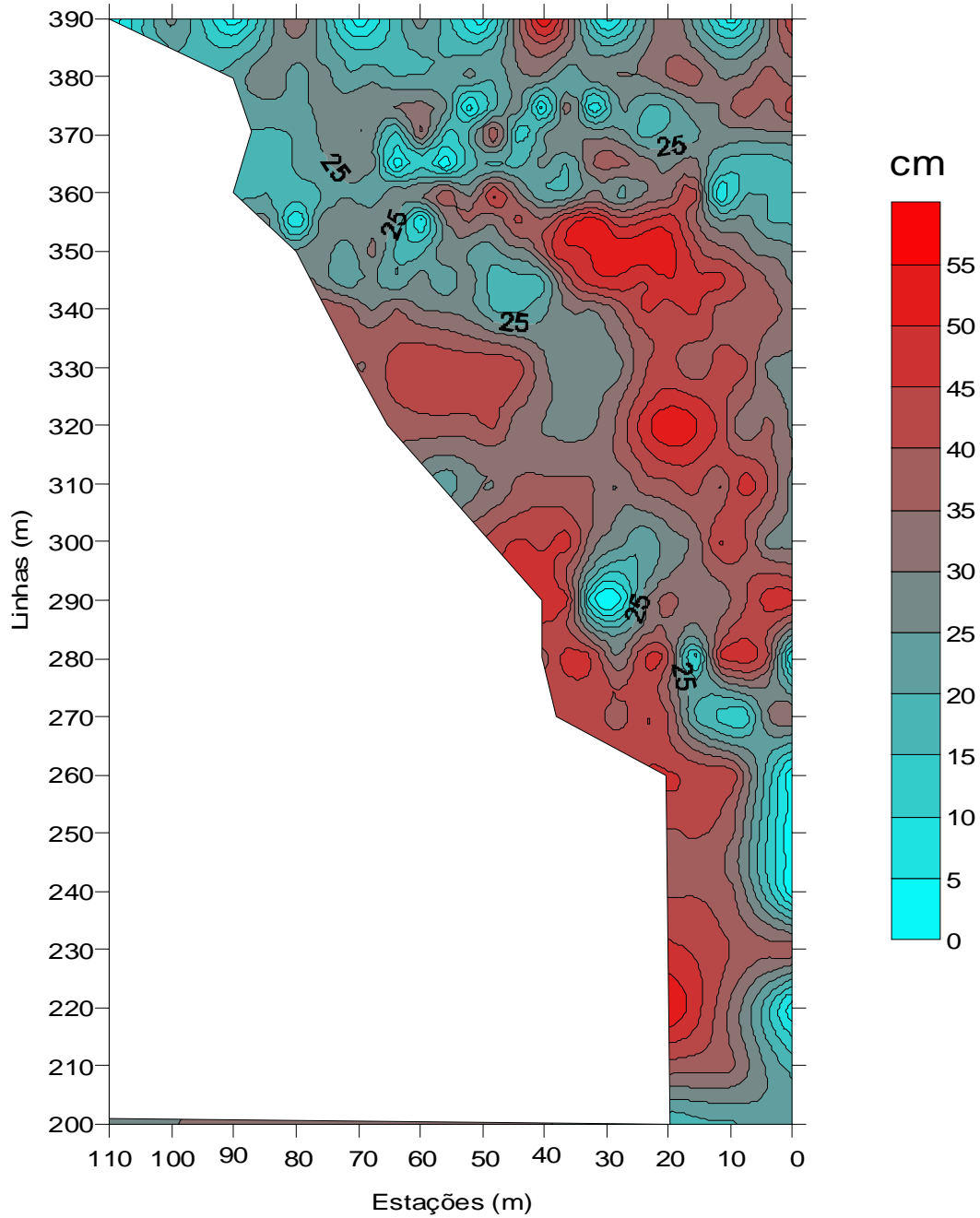


Figura 6.5 – Mapa mostrando a distribuição da espessura da camada TPA.

### 6.3 – MEDIDAS COM GPR

As medidas com GPR foram realizadas nas mesmas linhas utilizadas no levantamento magnético, passando o GPR somente onde foram detectadas anomalias magnéticas como mostram as figuras abaixo.

Os perfis de GPR mostraram as seguintes feições anômalas sobre as anomalias evidenciadas com as medidas magnéticas: ondulações, descontinuidades e hipérboles. As ondulações e as descontinuidades podem refletir o revolvimento do solo durante os enterramentos ou podem refletir apenas a deposição dos sedimentos. Já as formas hiperbólicas são causadas pela presença de corpos tridimensionais (artefatos cerâmicos), por estruturas bidimensionais (muros, alicerces, raízes de árvores) ou por blocos de rochas e concreções.

A Figura 6.6 mostra o perfil sobre a linha 350 entre as estações 50 e 70, onde se detectou uma anomalia magnética próxima à estação 58 (anomalia E). Neste ponto, o perfil evidencia a descontinuidade das camadas próxima dos 0,25 m de profundidade, coincidindo com a mesma profundidade em que se encontraram fragmentos cerâmicos, vidros, ossos, louças e ferro na escavação 02 realizada na estação 58. O perfil evidencia que outra anomalia magnética, localizada em volta da estação 69, está correlacionando com fortes ondulações nos registros do GPR, mas essa anomalia não foi indicada para escavação arqueológica por ser considerada muito fraca.

A Figura 6.7 mostra o perfil sobre a linha 360 entre as estações 50 e 64. Este perfil evidencia que a anomalia magnética detectada próxima da estação 60 (anomalia F) está correlacionada com fortes ondulações e hipérboles, que podem ser observadas até a profundidade de 0,75 m. Neste local foi realizada a escavação 03, onde os materiais arqueológicos encontrados foram cerâmicas, louças, ferro e um machado de pedra, entre a profundidade de 0 a 0,75 m.

A figura 6.8 mostra o perfil sobre a linha 375 entre as estações 30 e 50 onde se localizam anomalias magnéticas: uma próxima à estação 36 (anomalia G) e a outra próxima à estação 44. As anomalias magnéticas estão correlacionadas com descontinuidades e hipérboles no radargrama. Na estação 36, foi realizada a escavação 05 onde os materiais arqueológicos encontrados foram vasilhas e



fragmentos cerâmicos, líticos e esqueleto humano (Figura 6.2) entre a profundidade de 0 a 0,60 m. Na anomalia localizada na estação 44 não houve escavação.

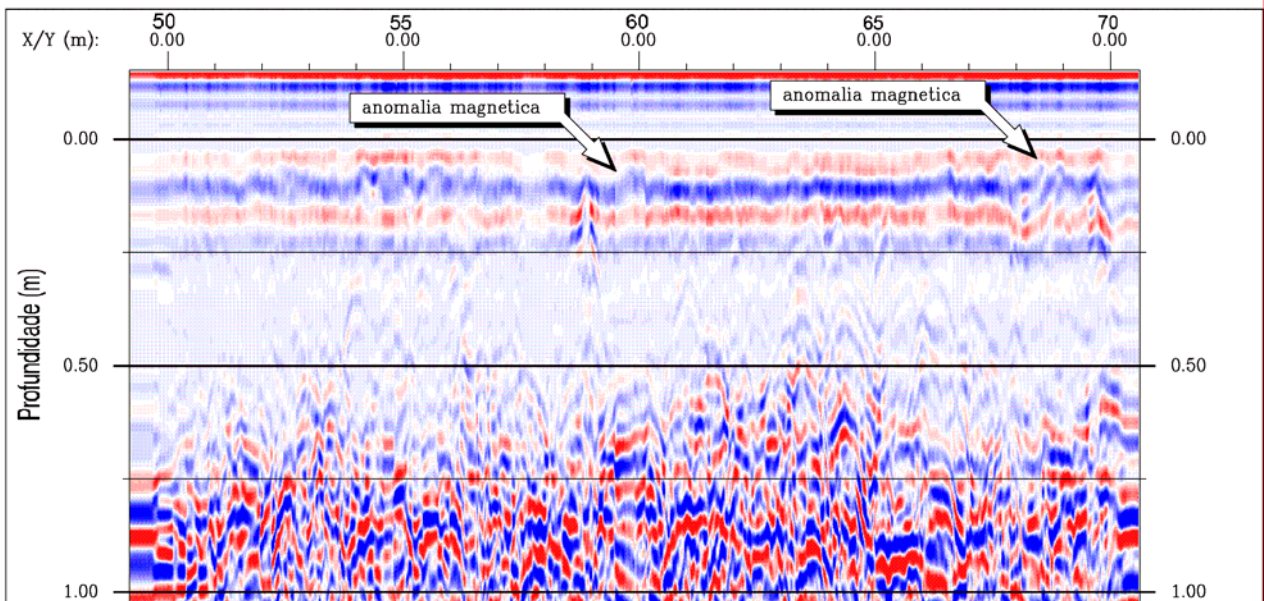


Figura 6.6 – Perfil da linha 350, entre as estações 50 e 70, mostrando a feição da anomalia magnética E na estação 59.

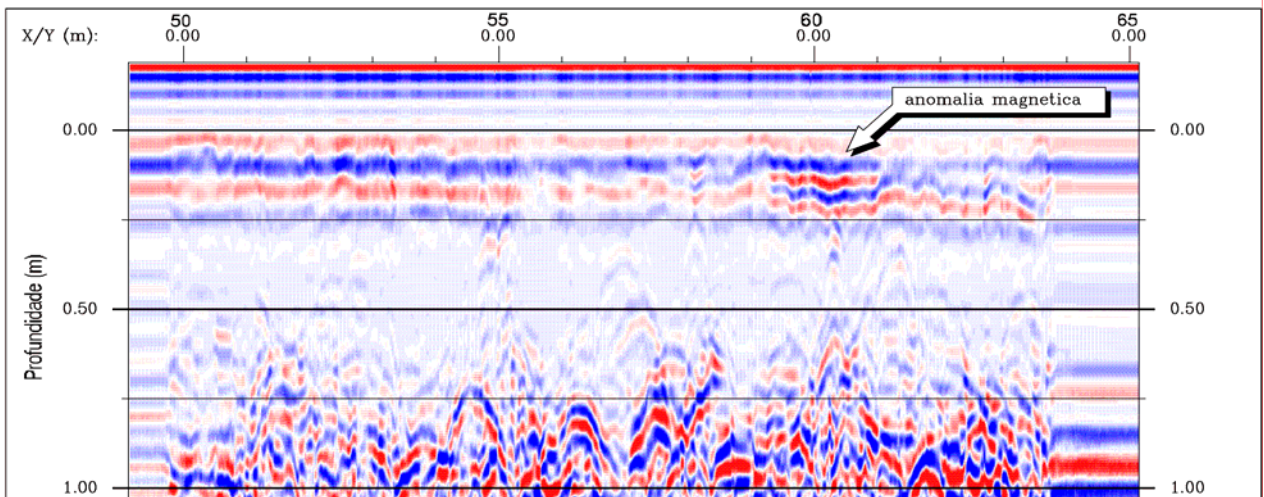


Figura 6.7 – Perfil da linha 360, entre as estações 50 e 64, mostrando a forma da anomalia magnética F na estação 60.



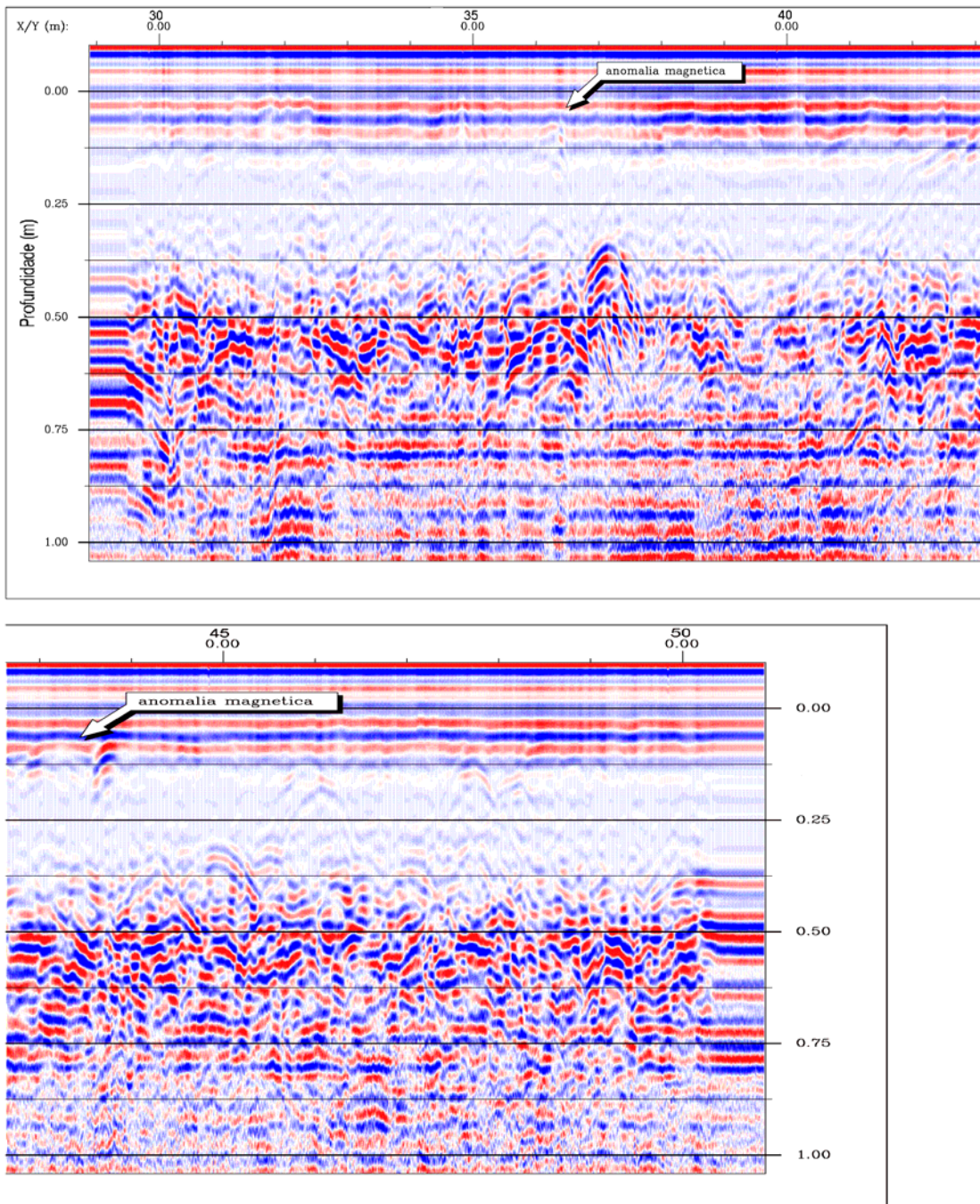


Figura 6.8 – Perfil da linha 375, entre as estações 30 e 50, mostrando a forma da anomalia magnética G na estação 37.

## 7 – CONCLUSÕES

O avanço das novas leis de prevenção ambiental, do patrimônio histórico e artístico tem intensificado os trabalhos de Arqueologia na região amazônica. Muitos projetos, que estão sendo implantados, prevêm a devastação de grandes áreas e, por isso, são obrigados a realizar levantamentos arqueológicos para prevenir a perda da identidade histórico-cultural das áreas onde se desenvolvem tais projetos. Assim, acredita-se que essa prevenção aumenta os trabalhos de salvamento arqueológico, na Amazônia, e também os de Geofísica, que agilizam o salvamento de sítios.

A utilização dos métodos geofísicos, mediante as atuais exigências, incentiva o aperfeiçoamento das metodologias já utilizadas e o incremento de outras para o estudo dos sítios arqueológicos, como foi realizado neste trabalho, usando o Método Magnético, o Radar de Penetração no Solo e a Cintilometria.

O Método Magnético proporcionou bons resultados, pois conseguiu, através das anomalias magnéticas detectadas, indicar bons lugares para escavações. A magnetometria demonstrou ser de grande importância, principalmente, devido às características dos sítios que se apresentavam destruídos pela intervenção humana, dificultando os trabalhos arqueológicos, pois parte das feições arqueológicas encontrava-se descontextualizada e, também, boa parte dos artefatos fragmentados no ambiente, dificultando, desse modo, o trabalho de pesquisa no sítio. Assim as indicações da magnetometria permitiram que fossem encontrados, durante as escavações, artefatos arqueológicos, que servirão para estudos posteriores na Arqueologia.

O GPR foi utilizado como método de auxílio ao Método Magnético. Proporcionou a diminuição de erro cometido quando se identifica anomalia magnética que não é causada por feição arqueológica. Em sítios como os que foram investigados, que sofreram forte processo destrutivo com a construção de estradas, mineroduto, casas e plantações, os muitos detritos deixados provocam o surgimento de anomalias magnéticas, causando confusão com as anomalias provenientes dos materiais arqueológicos. As medidas de GPR mostraram diversos padrões anômalos como hipérboles, ondulações, descontinuidades e arqueamentos, muitos deles nos mesmos locais onde foram detectadas anomalias magnéticas. A utilização do Método Magnético

junto ao GPR aumenta o potencial de exploração para estudos arqueológicos, conforme se observou ao relacionar os lugares que apresentaram anomalias magnéticas com os perfis de GPR destas anomalias.

Os resultados obtidos com a cintilometria foram satisfatórios levando em consideração que foi a primeira tentativa de mapeamento do solo de TPA com auxílio desse método. Os dados cintilométricos relacionados com as tradagens mostraram haver uma relação entre as medidas mais baixas de cintilometria e as áreas com maior espessura de TPA. As diferenças dos valores cintilométricos entre as camadas de TPA mais espessas e as de menor espessura ou sem nenhuma presença de TPA são, entretanto, pequenas, em torno de 2 a 5 cps. As medidas cintilométricas precisam, portanto, ser aprofundadas. Por isso, sugerir-se-á, para trabalhos posteriores, a investigação de áreas adjacentes aos sítios investigados, na tentativa de delimitar as áreas externa e interna do sítio, sempre comparando com as amostras das tradagens. Além disso, recomenda-se o uso de medidas com Espectrômetro, que permite a discriminação da fonte emissora de radiação, o que poderá fornecer mais informações sobre as características radiométricas da TPA.

As comparações feitas entre o mapa magnético e o cintilométrico mostraram uma relação entre valores cintilométricos mais baixos nos locais das anomalias indicadas para escavação. Conforme se mencionou, o material arqueológico encontra-se associado ao solo de TPA, associado a baixos valores cintilométricos.

Os Métodos Geofísicos utilizados demonstraram rapidez e eficiência quando aplicados à Arqueologia sem causar impacto destrutivo nos sítios pesquisados. Esses métodos evidenciaram anomalias que, ao serem testadas através de escavações arqueológicas, levaram à descoberta de material importante para que seja estabelecida a história de antigas comunidades que habitaram estas áreas. Os materiais encontrados, constituídos basicamente de cerâmica, serão futuramente analisados para que seja estabelecida a sua datação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITKEN, M.J. 1974. *Physics and Archaeology*. 2ª ed. Oxford, Clarendon Press: 181p.
- ALVES, J.J.A. 1979. *Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará*. Belém. Universidade Federal do Pará:55p. (Dissertação de Mestrado)
- ALVES & LOURENÇO, J.S. 1981. Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Geologia*, 26: 1-52.
- BARRADAS, J.A *et al.* 1999. Magnetic and GPR Survey to Identify Archaeological Features on Cacoal Site, Anajás River, Marajó Island, Pará, Brazil. In: CONG. INT.SBGf,6.,1999, Rio de Janeiro.
- BEVAN, B.W. & ROOSEVELT, A.C. 2003. Geophysical Exploration of Guajará, a Prehistoric Earth Mound in Brazil. *Geoarchaeology*, 18 (3): 287-331.
- CEZAR, G. da S. *et al.* 2001. Two Brazilian Archaeological sites Investigated by GPR: Serrano and Morro Grande. *Journal of Applied Geophysics*, 47: 227-240.
- CLARK, A. J. 1986. Archaeological Geophysics in Britain. *Geophysics*, 51 (3):1404 – 1413.
- GRADIX. 1997. *Ground Penetrating Radar Processing and Interpretation*. Golden: Interpex: 224p.
- GRANT, F.S. & WEST, G.F. 1965. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. New York: McGraw-Hill: 584p.
- KERN, D.C. 1996. *Geoquímica e Pedogeoquímica em Sítios Arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel - PA)*. Belém, Universidade Federal do Pará: 119p. (Tese de Doutorado).
- KLINKEN, J.V. 2001. Magnetization of Ancient Ceramics. *Archaeometry*, 43: 49 – 57.
- KOGAN, R.M, *et al.* 1969. *Gamma Spectrometry of natural Environments and Formations*. Jerusalém: Keter: 337p.

- LEUTE, U.1987. *Archaeometry: an introduction to Physical methods in Archaeology and History of Art*, Weinheim; New York, NY: VCH.
- LOPES, P.R.C *et al.* 2005a. *Escavação do Sítio Arqueológico PA-BA-83: Bittencourt – Abaetetuba (PA): Relatório de Campo*. Belém. Museu Paraense Emilio Goeldi. Área de Arqueologia: 70p.
- \_\_\_\_\_. 2005b. *Escavação do Sítio Arqueológico PA-BA-85: Jambuaçu – Moju (PA)*. Relatório de Campo. Belém. Museu Paraense Emilio Goeldi. Área Arqueologia:70p.
- \_\_\_\_\_. 2005c. *Escavação do Sítio Arqueológico PA-AM-06: Jaburu do Rio Paru – Almeirim (PA)*. Relatório de Campo. Belém. Museu Paraense Emilio Goeldi. Área Arqueologia: 70p.
- LUIZ, J.G. & SILVA, L.M.C. 1995. *Geofísica de Prospecção*. Belém. Universidade Federal do Pará, V 1; 311p.
- MOUSSA, M. 2001. Gamma – Ray Spectrometry: a New Tool for Exploring Archaeological Sites; a Case Study from East Sinais, Egypt. *Journal of Applied Geophysics*, 48:137 – 142
- NASCIMENTO, C.T.C *et al.* 2004. Reconhecimento de Solo por meio de Resistividade Elétrica e Radiação Gama. *Revista Brasileira de Geociências*, 34: 383 – 392.
- PABST, E. 1991. Critérios de Distinção entre Terra Preta e Latossolo na Região de Belterra e os Seus Significados para Discussão Pedogenética. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Série Antropologia*. 7(1): 5 – 19.
- PARASNIS, C.J. 1977. *Principles of Applied Geophysisc*. London. Chapman & Hall.
- REYNOLDS, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York. Chichester: p.682 – 749.
- ROOSEVELT, A.C. 1991. *Moundbuilders of the Amazon: Geophysical Archaeology on Marajo Island, Brazil*. San Diego: Academic Press: 495.
- TELFORD, W.M *et al.* 1990. *Applied Geophysics*. England. Cambridge Univ. Press:
- VIEIRA, L.S. 1987. *Amazônia: Seus Solos e outros Recursos Naturais*. São Paulo, agronômica Ceres:416p.

**ANEXO**

**ANEXO A**  
**FOTOS DAS ESCAVAÇÕES E SONDAGENS DO SÍTIO BITTENCOURT**



Figura A1 – Foto de uma sondagem para descrição dos horizontes.



Figura A2 – Escavação mostrando os diferentes horizontes do solo.





Figura A3 – Foto mostrando o trabalho de tradagem.



Figura A4 – Trado Holandês





Figura A5 – Escavação 06, realizada sobre anomalia magnética B, mostrando fragmentos cerâmicos



Figura A6 – Foto da escavação 07, realizada sobre anomalia magnética F, mostrando fragmentos cerâmicos.

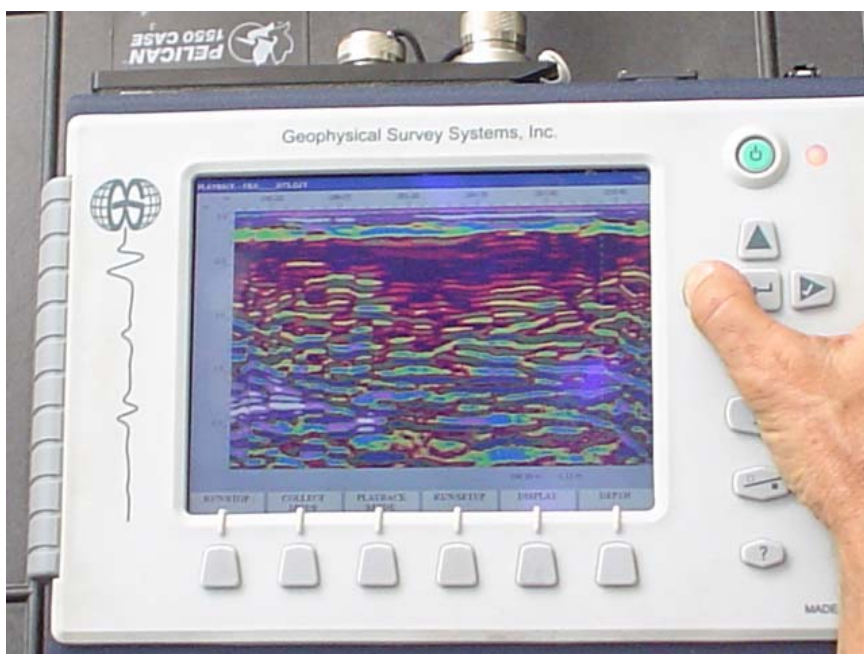


Figura A7 – Equipamento GSSI modelo SIR.3000, mostrando o radargrama .

**ANEXO B**  
**FOTOS DAS ESCAVAÇÕES MOSTRANDO FRAGMENTOS CERÂMICOS**  
**ENCONTRADOS NO SÍTIO JAMBUAÇU**



Figura B1 – Foto da escavação 01, realizada sobre anomalia magnética A, mostrando fragmento cerâmico



Figura B2 – Cachimbo indígena encontrado na escavação 01.



Figura B3 – Foto da escavação 03, realizada sobre anomalia magnética E, mostrando fragmentos cerâmicos.



Figura B4 – A foto mostra uma estrutura de pedra encontrada na escavação 03.



Figura B5 – Foto da escavação 06, realizada na estação 30, conforme indicação A, mostrando os fragmentos cerâmicos.



## ANEXO C FOTOS DO SÍTIO JABURU



Figura C1 – Fotos do Sítio Jaburu.

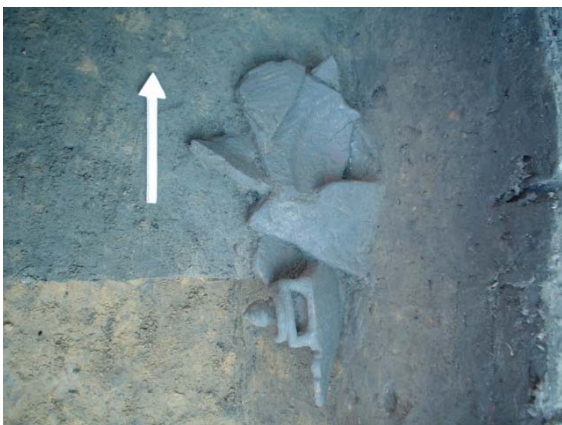


Figura C2 – Fotos da escavação 05 mostrando fragmentos cerâmicos, vasilhas e o esqueleto humano encontrados na escavação 05.