



## Metodologia geofísica aplicada ao salvamento arqueológico de área adjacente a mineroduto no nordeste do Pará

Rigler da Costa Aragão\*, CPGF/UFPA; José Gouvêa Luiz, CPGF/UFPA e Paulo Roberto do Canto Lopes, Museu Paraense Emílio Goeldi

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

Magnetic, total count gamma cintilometry, and ground penetrating radar measurements were carried out on two archaeological sites located adjacent to the place where a miner duct will be buried. The aim of the measurements was to indicate the optimal areas for archaeological excavation to find subsurface remains related to ancient communities that lived in the sites. Magnetic measurements showed anomalies that lead to the discovery of a large amount of ceramic fragments and other remains. Cintilometry allowed discriminating argillaceous from sandy soil, an important result since sandy soil can be correlated to the archaeological layer, where remains are normally found.

### Introdução

A existência de leis de prevenção a impactos ambientais e culturais faz com que projetos de exploração e de utilização de determinadas áreas da união incluam em seu planejamento estudos de impactos ambientais e culturais. 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 dos projetos. Esta é uma medida prevista na legislação brasileira de proteção ao patrimônio arqueológico (Lei 3.924/61, Resolução CONAMA nº 01/86, Portaria IPHAN nº 07/88). Neste contexto, foi celebrado um convênio entre o Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG, a Mineração Bauxita Paragominas – CVRD e o Instituto para o Desenvolvimento da Amazônia – FIDES, com duração estimada para três anos, no qual seria realizada a prospecção e o salvamento arqueológico na área de atuação da Mineração Bauxita Paragominas e no seu entorno. Entre as áreas de estudo do convênio está aquela adjacente ao local onde será enterrado um mineroduto ligando a mina de bauxita localizada em Paragominas-PA e a indústria Alunorte localizada em Barcarena-PA.

No levantamento arqueológico preliminar, a equipe do Museu Paraense Emílio Goeldi, liderada pelo arqueólogo Paulo do Canto Lopes, detectou três prováveis sítios arqueológicos ao longo do percurso planejado para o mineroduto, localizados nos municípios de Barcarena, Abaetetuba e Moju, no estado do Pará.

Com o objetivo de auxiliar a prospecção arqueológica foi solicitado levantamento geofísico para indicar locais para escavações. No trabalho foram realizadas medidas do campo magnético da Terra, medidas com o Radar de Penetração no Solo (GPR) e medidas de cintilometria.

Neste artigo serão apresentados os dados levantados em dois dos sítios identificados: Bittencourt, localizado em Abaetetuba, e Jambuaçu, localizado em Moju.

### Metodologia

#### Medidas do campo magnético da Terra

Medidas do campo magnético terrestre são muito aplicadas na prospecção arqueológica, tanto por fornecerem ótimo resultado, como por serem rápidas e envolver custo baixo. Em trabalhos realizados na Amazônia esse método tem produzido resultados excelentes, principalmente na Ilha de Marajó, conforme pode ser verificado em Alves (1980), Alves & Lourenço (1981), Roosevelt (1991), Barradas, Schan, & Luiz (1999) e Bevan & Roosevelt (2003).

No ambiente da prospecção arqueológica, as anomalias magnéticas podem ser causadas por aquecimento intenso do solo produzido por fogões, pelo revolvimento do solo e pelo enterramento de objetos, entre os quais destacam-se, na Amazônia, os artefatos cerâmicos (vasilhames, fragmentos e urnas funerárias).

Neste trabalho, as medidas magnéticas foram realizadas com magnetômetro de precessão de prótons Geometrics, modelo G-826, que permite identificar perturbações no campo magnético da terra de até 1nT. As medidas foram tomadas em intervalos de 1m sobre linhas espaçadas de 5 m e orientadas na direção oeste-leste.

A variação diurna do campo magnético foi controlada através da ocupação de uma estação base a intervalos de tempo inferiores a 40 minutos.

Durante as medidas o sensor foi mantido a 0,6m da superfície do terreno.

#### Medidas com Radar de Penetração no Solo (GPR)

O método GPR consiste na radiação de ondas eletromagnéticas a partir de uma antena transmissora colocada às proximidades da superfície do terreno, as quais se propagam nos materiais da subsuperfície, sofrendo reflexão, refração e difração. As ondas que retornam à superfície são detectadas na mesma antena transmissora ou em uma outra antena colocada próximo. O tempo decorrido entre o início da radiação e a detecção da onda é registrado e permite que se estimem as profundidades das interfaces de reflexão, desde que seja conhecida a velocidade de propagação das ondas. As interfaces de reflexão são definidas sempre que há variações nas propriedades eletromagnéticas do meio

(condutividade elétrica, permissividade elétrica e permeabilidade ou suscetibilidade magnética).

Feições arqueológicas como solos de ocupação, urnas e dutos enterrados, alicerces de construções e túneis produzem padrões nos registros do GPR bem característicos e podem ser distinguidos dos padrões associados ao material naturalmente depositado durante os processos geológicos.

No presente trabalho, os perfis de GPR foram registrados com equipamento GSSI modelo SIR.3000 e antena de 400 MHz. As medidas foram realizadas no modo tempo, com o controle da distância sendo feito com auxílio de trena e a inserção de marcas no registro a cada 5 m. O levantamento foi realizado nas mesmas linhas do levantamento magnético.

Os registros obtidos com o GPR foram processados com auxílio do programa computacional GRADIX. Foi empregado apenas um processamento básico visando melhorar as imagens. Os seguintes procedimentos foram usados: (a) redistribuição espacial da amostragem para obtenção de espaçamento uniforme entre as medidas; (b) aplicação de filtro passa alta (dewow); (c) estabelecimento do tempo zero de registro, para obtenção do nível zero de profundidade (posição da superfície do terreno); (d) determinação da velocidade de propagação da onda eletromagnética usando o método da superposição de hipérbolas; (e) conversão da escala vertical de tempo em profundidade.

#### Medidas de Cintilometria

As medidas de cintilometria são usadas na detecção de radiação gama proveniente da desintegração natural dos isótopos de urânio, tório e potássio, presentes no subsolo. A radiação detectada durante as medidas provém, geralmente, de profundidades muito pequenas, que não ultrapassam 50 cm.

Esse tipo de medida não é rotineiramente usado em trabalhos de prospecção arqueológica. Ele está sendo usado neste trabalho numa tentativa pioneira de mapear a camada de ocupação arqueológica, normalmente caracterizada por um solo escuro, cujo mapeamento se dá através de amostragem com o auxílio de trado.

Nas áreas aqui investigadas, as medidas foram realizadas com o cintilômetro modelo SPP2 que conta a radiação gama total (sem discriminação do isótopo fonte) incidente em um cristal detector. As medidas foram obtidas a intervalos de 2 m em todas as linhas utilizadas no levantamento magnético. Durante as medidas o sensor do instrumento foi mantido a uma altura de 20 cm da superfície do terreno.

#### Resultados no Sítio Bittencourt (Abaetetuba-PA)

##### (a) Medidas magnéticas

As medidas magnéticas no Sítio Bittencourt foram realizadas ao longo de 12 linhas numeradas de 5 a 60. A variação diurna do campo magnético foi controlada pela re-ocupação da estação zero da linha 30 (estação base) a intervalos de tempo inferiores a 40 minutos. Após a correção da variação diurna, os dados foram representados em mapa de contornos de isovalores,

como mostra a figura 1. Os valores são relativos ao valor medido na estação base.

O 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. Devido a isto, as medidas a leste da estação 30 foram descartadas, pois estas podem encobrir qualquer anomalia magnética proveniente de material cerâmico.

O mapa da Figura 1 mostra variações do campo magnético entre  $-60$  nT a  $70$  nT, as quais incluem anomalias que podem estar relacionadas com o material cerâmico procurado. As seguintes anomalias são recomendadas para escavação arqueológica: (a) Anomalia negativa orientada na direção NW-SE, limitada pelas linhas 25 e 30 e as estações 4 e 30 (dois picos são observados nessa anomalia: na estação 27 da linha 25 e na estação 5 da linha 30); (b) anomalia positiva centrada na estação 24 entre as linhas 30 e 35; (c) anomalia com pico positivo e pico negativo entre as estações  $-18$  e  $-21$  na linha 35; (d) anomalia negativa com picos nas estações  $-6$  e  $-11$  da linha 40; (e) anomalia positiva alongada na direção NS, com picos estendendo-se da estação  $-19$  da linha 40 à estação 19 da linha 45; (f) forte anomalia positiva com centro na estação 1 da linha 45.

##### (b) Medidas cintilométricas

As medidas cintilométricas na área do Sítio Bittencourt foram tomadas a intervalos de 2 m ao longo de 13 linhas numeradas de zero a 60. Os valores medidos estão representados no mapa de isovalores mostrado na Figura 2. As linhas numeradas de 5 a 60 são as mesmas onde foram realizadas as medidas magnéticas.

Os valores de contagem total de radiação medidos na área variaram de 10 a 23 cps. 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 da Figura 2 uma distribuição de altos valores no extremo leste da área investigada, entre as estações 47 e 50. Nesse local existe um mineroduto enterrado, sendo aos altos valores cintilométricos ali observados provavelmente devido ao material argiloso usado para cobrir e protegê-lo. Essa é, portanto, uma distribuição que reflete um solo não natural. Nos outros locais da área, onde o mapa da Figura 2 mostra 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. Ainda não foi possível, entretanto, estabelecer uma correlação perfeita entre um intervalo de valores cintilométricos e a camada de ocupação arqueológica. Em primeira aproximação, após correlação com as medidas magnéticas, há indicação de que valores abaixo de 15 cps podem ser usados. Espera-se poder melhorar essa estimativa após uma correlação com informações fornecidas pela análise do solo e pela descrição das amostras recolhidas com auxílio de trado manual.

Comparando-se o mapa magnético (Figura 1) com o mapa cintilométrico (Figura 2), observa-se que as anomalias magnéticas ocorrem aproximadamente na zona de ocorrência dos valores entre 15 e 16 cps. Porém nem todos os intervalos entre 15 e 16 cps têm anomalias magnéticas associadas.

#### (c) 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).

Em todos os perfis a escala vertical de tempo foi convertida em profundidade usando a velocidade de 75 m/μs para a propagação da onda.

Na Figura 3 é mostrada a imagem obtida sobre parte da metade leste da Linha 30, que corresponde ao local onde foi detectada uma das anomalias magnéticas, cuja escavação (Figura 7) evidenciou fragmentos de cerâmica.

### Resultados no Sítio Jambuaçu (Moju-PA)

#### (a) Medidas magnéticas

No Sítio Jambuaçu, as medidas magnéticas foram realizadas em 13 linhas de direção oeste-leste, numerados de zero a 60. As medidas foram tomadas apenas na porção da área a oeste de uma linha base de direção norte-sul, 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.

Para controle da variação diurna do campo, a estação 50 da linha 30 foi tomada como estação base e re-ocupada a intervalos de tempo inferiores a 30 minutos. Os dados medidos, corrigidos da variação diurna, estão representados no mapa de contornos de isovalores na Figura 4. 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 nT e 75 nT, que podem estar relacionadas a material cerâmico. Os centros dessas anomalias encontram-se localizados nas estações 0, 8, 12 e 14 da linha 60; nas estações 8 e 32 na linha 55; nas estações de 6 a 8 e 26 a 32 na linha 45.

Também na região entre as linhas 0 e 25 podem ser observadas anomalias. Nessa segunda região, os centros das anomalias encontram-se nos seguintes locais: estação 22 na linha 5; estações 18 e 24 na linha 10; estações 5, 16, 24 e 41 na linha 20.

Todos esses locais são os sugeridos para escavações arqueológicas no Sítio Jambuaçu.

#### (b) Medidas cintilométricas

No sítio Jambuaçu, a mostragem cintilométrica foi feita a intervalos de 2 m ao longo das mesmas 13 linhas usadas nas medidas magnéticas. Os valores medidos estão representados no mapa de contornos de isovalores mostrado na Figura 5.

Os valores medidos neste sítio variaram de 16 a 43 cps, apresentando, portanto valores mais elevados do que no sítio Bittencourt, tratado acima. Esses valores mais elevados sugerem uma maior argilidade no solo do sítio Jambuaçu.

O mapa da Figura 5 sugere que o solo no sítio Jambuaçu é predominantemente argiloso, e com maior argilidade distribuída na porção leste da área. Nessa região foi possível observar a presença de solo laterítico durante a tomada das medidas. Por ocasião do levantamento geofísico foi possível constatar, ainda, que quanto mais escuro era o solo, menores eram os valores cintilométricos.

Comparando-se o mapa cintilométrico com o mapa magnético da área investigada observa-se uma boa correlação entre as anomalias magnéticas evidenciadas e os valores mais baixos de cintilometria (valores inferiores a 27 cps).

#### (c) Medidas com GPR

As medidas com GPR na área do Sítio Jambuaçu foram realizadas sobre as linhas do levantamento magnético, procurando-se cobrir 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 m/μs para a propagação da onda.

Na Figura 6 é mostrada a imagem obtida sobre parte da Linha 60, que corresponde ao local onde foi detectada uma anomalia magnética, cuja escavação (Figura 9) evidenciou uma construção de pedra.

### Escavações arqueológicas

As anomalias magnéticas detectadas nos dois sítios aqui abordados foram investigadas através de escavações, que evidenciaram uma grande quantidade de artefatos que indicam ocupação pretérita.

No Sítio Bittencourt as escavações revelaram fragmentos de cerâmica, faiança, argila queimada, carvão e artefatos de ferro. A Figura 7 mostra a escavação realizada no sítio Bittencourt sobre a anomalia magnética positiva centrada na estação 24 entre as linhas 30 e 35.

Na Figura 8 é mostrada a escavação realizada no sítio Jambuaçu sobre a anomalia localizada na linha 60, com centro na estação 8. Nessa escavação foi encontrada uma vasilha cerâmica indígena e fragmentos cerâmicos. Ainda no sítio Jambuaçu, sobre a zona anômala que ocorre entre as estações 12 e 15 da linha 60, uma escavação levou à descoberta de uma estrutura, ainda em análise, que pode ser o alicerce de uma antiga construção de pedra (Figura 9).

### Conclusões

As medidas magnéticas realizadas nos sítios Bittencourt e Jambuaçu 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 a área tempos atrás. O material encontrado,

constituído basicamente de cerâmica, será futuramente analisado para que seja estabelecida a sua idade.

As medidas cintilométricas mostraram valores que podem ser usados para separar as porções mais argilosas das mais arenosas nos solos das áreas investigadas. Essa separação é importante porque a camada de ocupação arqueológica tem sido identificada na região por sua granulação arenosa e coloração escura. Os dados de cintilometria sugerem, ainda, que no sítio Jambuaçu há predominância de solo com uma maior quantidade de argila do que no sítio Bittencourt.

Um dos objetivos das medidas cintilométricas foi estabelecer uma correlação entre os valores das contagens de radiação gama e o solo da camada de ocupação arqueológica. Embora ainda não se tenha conseguido estabelecer uma boa correlação, há indicações de que com um pouco mais de estudos isso será possível. Por exemplo, com o conhecimento obtido até agora, é possível sugerir os locais da área do sítio Bittencourt onde há valores abaixo de 15 cps como os mais prováveis para a ocorrência do solo de ocupação arqueológica. Na área do sítio Jambuaçu, por outro lado, os locais mais prováveis correlacionam com valores abaixo de 27 cps.

As medidas com GPR mostraram diversos padrões anômalos (hipérbolas, ondulações, descontinuidades, arqueamentos), muitos deles nos mesmos locais onde foram detectadas anomalias magnéticas. Os padrões anômalos, porém não são definitivos na indicação dos locais de escavações, pois muitos deles podem ser devidos a raízes ou a concreções litológicas. É necessário, que esses padrões ocorram associados a anomalias magnéticas, para maior confiabilidade

### Agradecimentos

Este estudo foi financiado pela Mineração Bauxita Paragominas – CVRD.

### Referências

- Alves, J.J.A., 1979, Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará. Tese de Mestrado em Geofísica. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas. Universidade Federal do Pará, 55 p.
- Alves, J.J.A. e Lourenço, J.S., 1981, Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Geologia [N.S.], 26: 1-52.
- Barradas, J.A., Schaan, D.P., and Luiz, J.G., 1999, Magnetic and GPR Survey to Identify Archaeological Features on Cacoal Site, Anajás River, Marajó Island, Pará, Brazil. 6º Congresso Internacional da SBGf, Rio de Janeiro, Disponível em CD.
- Bevan, B.W. and Roosevelt, A.C., 2003, Geophysical Exploration of Guajará, a prehistoric earth mound in Brazil. *Geoarchaeology*, vol. 18, no. 3, p. 287-331.
- Roosevelt, A.C., 1991, *Moundbuilders of the Amazon: Geophysical Archaeology on Marajo Island, Brazil*. San Diego: Academic Press, 495 p.

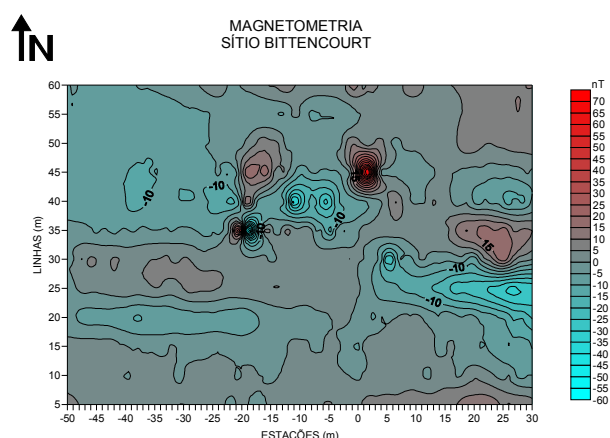


Figura 1 – Mapa magnético do sítio Bittencourt.

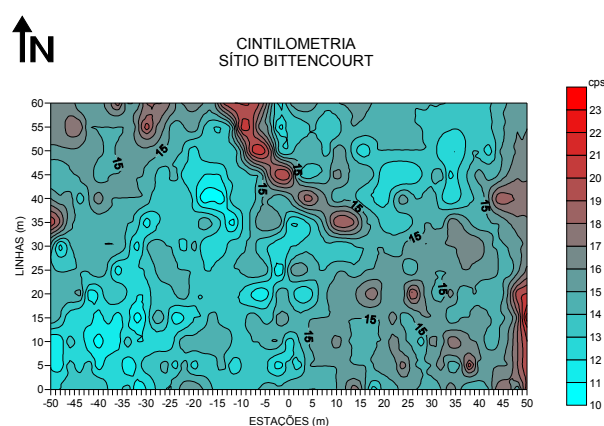


Figura 2 – Mapa cintilométrico do sítio Bittencourt.

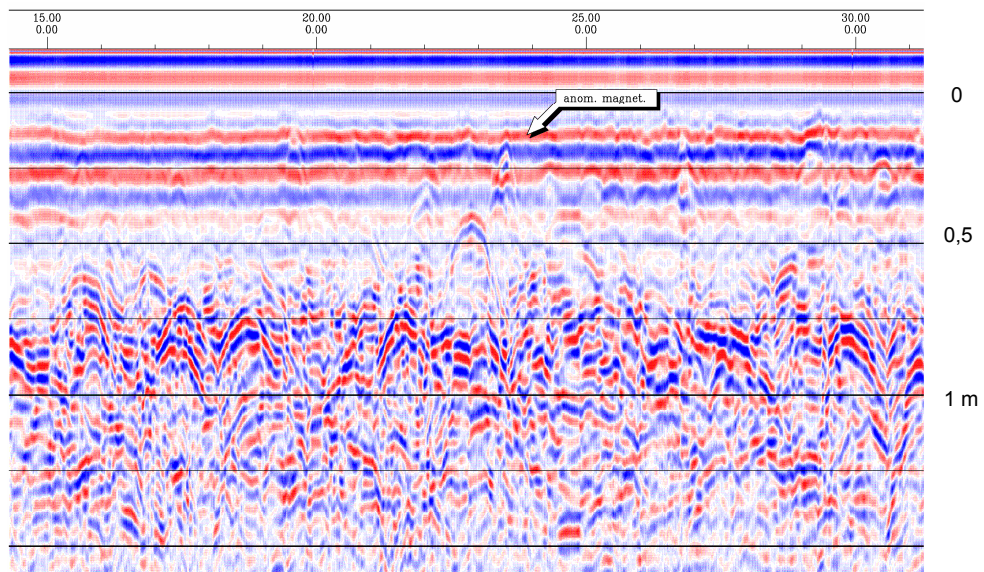


Figura 3 – Perfil de GPR sobre parte da metade leste da Linha 30 do Sítio Bittencourt.

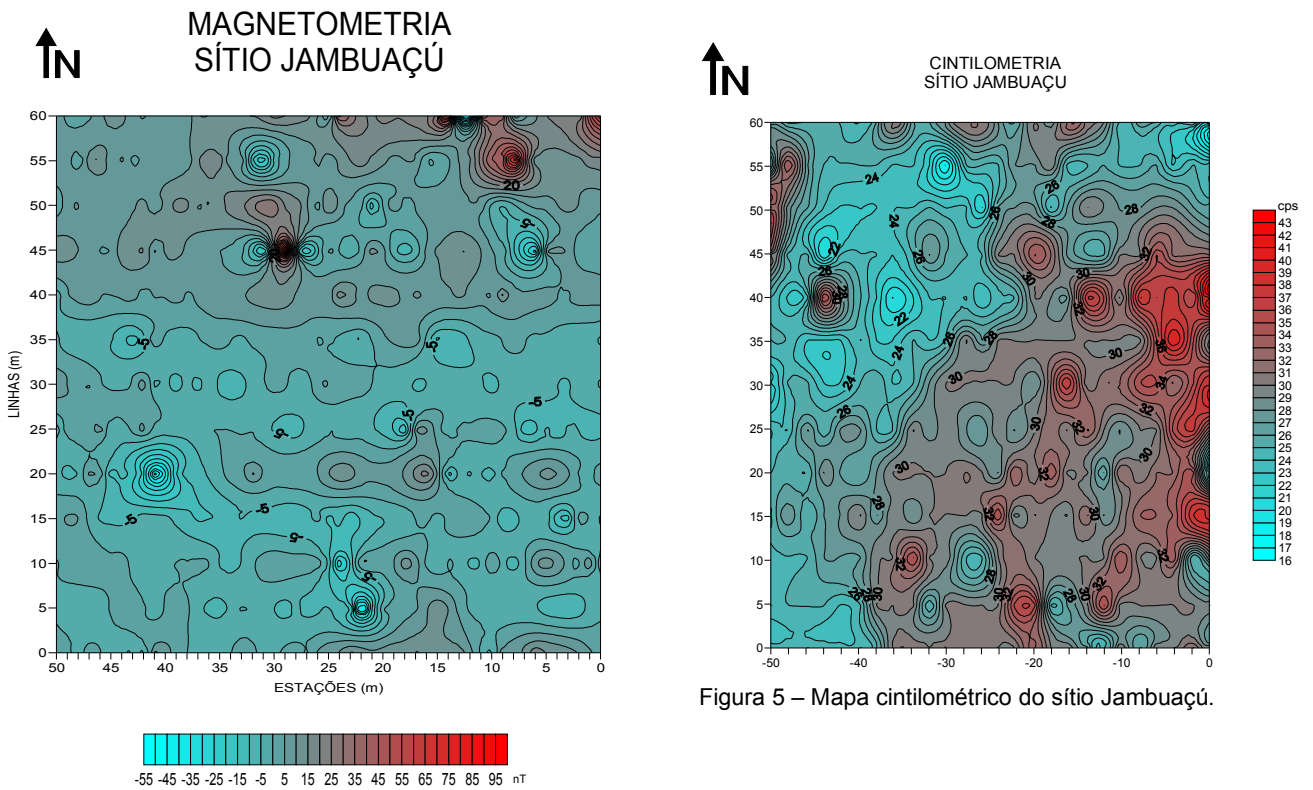


Figura 5 – Mapa cintilométrico do sítio Jambuaçu.

Figura 4 – Mapa magnético do sítio Jambuaçu.



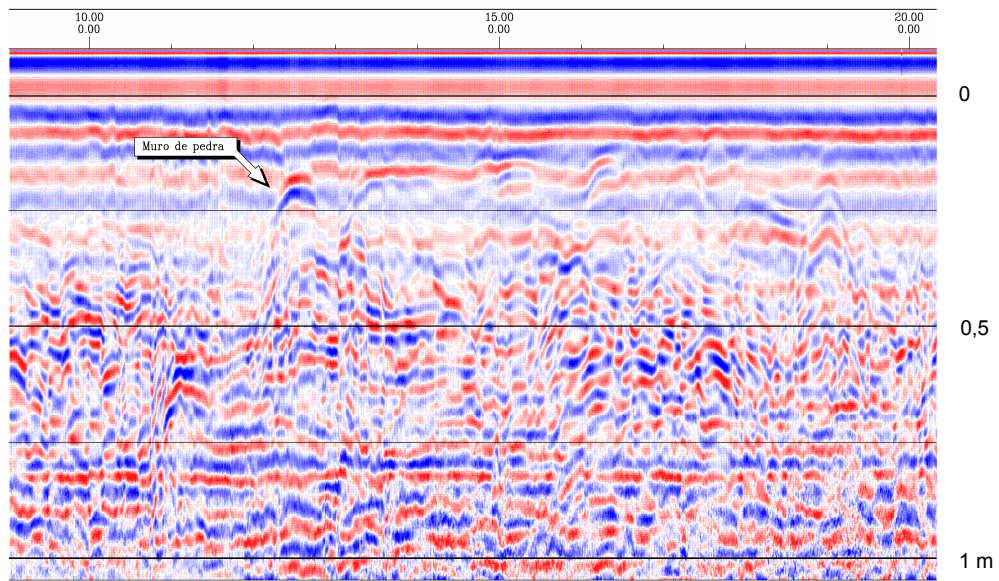


Figura 6 – Perfil de GPR sobre parte da Linha 60 do Sítio Jambuaçu.



Figura 7 – Escavação arqueológica no sítio Bittencourt.



Figura 8 – Escavação arqueológica no sítio Jambuaçu.



Figura 9 – Escavação arqueológica no Sítio Jambuaçu.