



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

DIOGENES LEÃO BRASIL

INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA FORENSE E ANTROPOLÓGICA
COM O MÉTODO GPR NO CEMITÉRIO DO TAPANÃ E NO CE-
MITÉRIO PERDIDO DE MOSQUEIRO (BELÉM, PARÁ)

BELÉM/PARÁ

2013

DIOGENES LEÃO BRASIL

INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA FORENSE E ANTROPOLÓGICA
COM O MÉTODO GPR NO CEMITÉRIO DO TAPANÃ E NO CE-
MITÉRIO PERDIDO DE MOSQUEIRO (BELÉM, PARÁ)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Geofísica.

Área de Concentração: Métodos Elétricos e Eletromagnéticos

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Maria da Costa e Silva

BELÉM/PARÁ

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Brasil, Diogenes Leão

Investigação geofísica forense e antropológica com o método GPR no cemitério do Tapanã e no cemitério perdido de Mosqueiro (Belém, Pará) / Diogenes Leão Brasil; Orientadora: Lúcia Maria da Costa e Silva - 2013.

Dissertação (mestrado em geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2013.

1. Geofísica. 2. Geofísica Forense. 3. Geofísica Antropológica. 4. Radar de penetração no solo. 5. GPR. 6. Campo de testes geofísicos. 7. FORAMB. I. Silva, Lucia Maria da Costa e, *orient.* II. Universidade Federal do Pará III. Título.


CDD 22º ed.: 550

DIOGENES LEÃO BRASIL

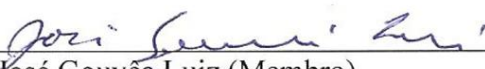
INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA FORENSE E ANTROPOLÓGICA
COM O MÉTODO GPR NO CEMITÉRIO DO TAPANÃ E NO CE-
MITÉRIO PERDIDO DE MOSQUEIRO (BELÉM, PARÁ)

Aprovado em: 22 /03/2013

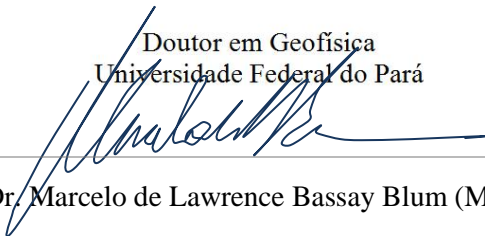
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dra. Lúcia Maria da Costa e Silva (Orientadora)
Doutora em Geofísica
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. José Gouvêa Luiz (Membro)
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Marcelo de Lawrence Bassay Blum (Membro)
Doutor em Geologia
Perito Criminal da Polícia Federal

O mundo é um lugar perigoso de se viver, não por causa daqueles que fazem o mal, mas sim por causa daqueles que observam e deixam o mal acontecer.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a minha orientadora, Profa. Dra. Lúcia Maria da Costa e Silva, pela paciência e dedicação no decorrer deste projeto.

Ao Prof. Dr. José Gouvêa Luis, pelo conhecimento transmitido nas aulas teóricas e práticas que deram suporte para a realização deste trabalho.

Ao Pesquisador Welitom Borges, pelas dicas e orientações na utilização do Software Reflexw.

Ao Ministério da Defesa, pelo convite para a participação no Grupo de Trabalho Tocantins (2009 e 2010) que busca os restos mortais dos participantes do evento histórico conhecido como Guerrilha do Araguaia.

Aos colegas da Pós-Graduação, João Andrade, Gerson Pompeu, Márcio Antônio (*in memoriam*), Clístenes, Saulo Martins, Diego Miranda, Gildenilson Duarte, Eric Sandro e Gustavo Nogueira, pelo suporte e pelos momentos vivenciados.

Ao Instituto de Geofísica por oferecer um espaço físico estruturado e toda parte operacional, sendo necessário destacar o apoio do técnico de campo Paulo Magalhães e da secretária Benildes Lopes.

Aos diretores da Escola Ministro Alcides Carneiro, Maria Auxiliadora, Gilberto Santos e Rosilene Paiva, pelo apoio na minha liberação para a realização do curso de mestrado.

Finalmente, quero agradecer à minha mãe Naná Hirakawa, minha esposa Célia Takamoto e meu querido filho Diego, pelo apoio e carinho.

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o radar de penetração do solo (GPR), um método geofísico, que permite investigar o subsolo a pequena profundidade com elevada resolução de modo não destrutivo e não invasivo. O levantamento foi realizado em dois locais da região metropolitana de Belém com antenas de 200 e 400 MHz, ambos no cemitério do Tapanã: o primeiro localizado no Campo de Testes Controlados para Geofísica Forense, Ambiental e de Resgate (FORAMB) e o segundo, em uma zona de sepultamentos com cobertura de concreto. Também foi levantado com antena de 400 MHz porção a noroeste da Ilha de Mosqueiro, em frente à baía do Marajó, onde relatos de vestígios de um cemitério sem registro que teria sido abandonado há cerca de 80 anos e poderia ter sido destino final de cabanos bem como de escravos e índios haviam levado pesquisadores da Universidade Federal do Pará (UFPA) a visitar o local em 1986 e comprovar a veracidade dos relatos. No FORAMB foi dada continuidade ao monitoramento de três alvos que lá foram enterrados em 2007: um cadáver humano em cova rasa de 0,8 m de profundidade, um túnel simulado por uma caixa oca de madeira colocada em uma cova de 1 m de profundidade e uma caixa com metais, simulando armamentos, depositada a 0,8 m de profundidade. Na zona de sepultamentos com cobertura de concreto, o interesse recaiu no efeito dessa cobertura. Os resultados obtidos no cemitério do Tapanã mostram a grande utilidade do GPR na visualização dos alvos rasos sob a cobertura do solo argiloso e saturado, típica da região amazônica, mesmo quando esta está coberta por camada de concreto e reforçam a importância da utilização conjunta dos dados 2D e 3D na interpretação dos resultados; os resultados obtidos sob a cobertura de concreto sob corpos de diversas idades de enterramento, além disso, mostram variações significativas das respostas, em parte observadas em outros estudos. Os resultados obtidos em Mosqueiro mostraram que alvos antigos, nas condições climáticas e geológicas locais, não deixam registro que permitam sua fácil detecção. É possível que o alvo passível de detecção sejam não os restos da decomposição cadavérica, mas a descontinuidade dos estratos acima da cova devido à sua abertura e a concavidade remanescente da mesma.

Palavras-chave: Geofísica. Geofísica Forense. Geofísica Antropológica. Radar de penetração do solo. GPR. Campo de testes geofísicos. FORAMB.

ABSTRACT

This work was accomplished with ground penetrating radar (GPR), a geophysical method used to investigate the shallow subsurface with high resolution in a non-destructive and non-invasive way. The survey was conducted in two locations in the metropolitan region of Belém, Pará State (Brazil), with 200 and 400 MHz antennas, both in the Tapanã cemetery: the first located in the test site for Controlled Testing of Forensic Geophysics, Environmental and Rescue (FORAMB) and the second one, in a burial zone with concrete cover. Surveys were also conducted in the northwest portion of Mosqueiro Island, across Marajó Bay, with a 400 MHz antenna, where reports of traces of a non-registered cemetery that would have been abandoned for about 80 years and could have been the final destination of *cabanos*, slaves and indians. These reports led researchers from the Federal University of Pará (UFPA) to visit the site in 1986 to test the veracity of the reports. At FORAMB the monitoring of the three targets that were buried there in 2007 was continued: a human body in a shallow grave 0.8 m deep, a tunnel simulated by a hollow wooden box placed 1 m deep and a box with metal, simulating weapons, deposited at 0.8 m depth. In the burial zone with concrete cover, the survey efforts focused on the effect of the concrete cover. The results obtained in the Tapanã cemetery show the usefulness of GPR in viewing targets under shallow soil cover and saturated clay, typical of the Amazon region, even when it is covered by a layer of concrete. These results reinforce the importance of pooling 2D and 3D data for interpretation of results; the GPR profiles over the concrete covering the bodies in various ages of burial, moreover, show significant variations of the responses, partly observed in other studies. The Mosqueiro results showed that ancient targets in climatic and geological conditions of the Amazon region, do not allow easy detection. It is possible that the remains of the decomposed bodies are not amenable to detection, but the discontinuity of the strata above the burial due to excavation, and the resulting concavity of the collapsed grave infill material may be diagnostic.

Keywords: Geophysics. Geophysics forensics. Anthropological Geophysics. Ground penetrating radar. GPR. Geophysical testing sites. FORAMB.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 GPR na detecção de alvo da Geofísica Forense, de Resgate e Ambiental.....	20
Figura 2.2 GPR na detecção de alvo da Geofísica Antropológica, Forense e de Resgate.	20
Figura 3.1 Radargrama com refletores do FORAMB.	25
Figura 3.2 Representação de dados GPR: (A) Sequência de fatias em diferentes profundidades de (B) Bloco 3D.....	26
Figura 3.3 Intervalo de frequência do GPR.....	26
Figura 3.4 Arranjos entre as antenas de transmissão e recepção.....	28
Figura 3.5 Investigação sobre a parte superior do tórax e braços com 900 MHz. (a) Radargrama perpendicular. (b) Seção transversal do corpo. (c) Radargrama com as amplitudes elevadas eliminadas e migrado.	30
Figura 3.6 Investigação sobre a pélvis com 900 MHz. (a) Radargrama perpendicular. (b) Seção transversal ao corpo. (c) Radargrama com as amplitudes elevadas eliminadas e migrado.	31
Figura 3.7 Radargramas transversais ao corpo.....	31
Figura 3.8 Investigação sobre crânio com 900 MHz. Radargrama para: (a) estágio avançado de decomposição do crânio e (b) variação na composição do solo na profundidade de 0,7 m.	32
Figura 3.9 Radargrama obtido após 4 meses. Porco pequeno, enterramento raso (50-60 cm) em solo arenoso.	35
Figura 3.10 Radargrama obtido após 4 meses. Porco pequeno, enterramento fundo (100-110 cm) em solo arenoso.	35
Figura 3.11 Radargrama obtido após 5 meses. Porco grande, enterramento raso (50-60 cm) em solo argiloso.....	35
Figura 3.12 Radargrama obtido após 5 meses. Porco grande, enterramento profundo (100-110 cm) em solo argiloso.	35
Figura 3.13 Radargrama com três cadáveres de suínos (5, 6 e 7), coletados após quatro meses, a profundidade de 1m.	36
Figura 3.14 Radargramas obtidos com: (a) e (d) GPR FM-CW, (b) e (e) GPR SIR-20 antena de 400 MHz e (c) e (f) GPR SIR-20 antena de 900 MHz	36
Figura 3.15 Radargrama obtido sobre cadáver de um porco, oito meses após o enterro. Profundidade de 0,5 m.....	38
Figura 3.16 Radargrama obtido sobre cadáver de canguru de 4 anos. Profundidade 0,75 m ..	38
Figura 4.1 Localização do cemitério do Tapanã e área pesquisada, em Belém.	41
Figura 4.2 Localização do FORAMB na área pesquisada.....	42
Figura 4.3 Área do FORAMB no cemitério do Tapanã.	42

Figura 4.4 Ilustração conceitual da disposição dos alvos na área do campo de testes (FORAMB).....	43
Figura 4.5 Localização dos alvos na área do FORAMB. As letras C, T e A indicam o cadáver, o túnel e a caixa de armamentos, respectivamente.	43
Figura 4.6 (A) Levantamento com o LIN EM34-3 e (B) Levantamento com o GPR.....	44
Figura 4.7 Radargramas processados obtidos (a) antes da colocação dos três alvos e (b) a (g) após o enterramento dos alvos. Da esquerda para a direita, na posição 1,15 m aparece um sinal de referência, cadáver entre 3,8 e 4,4 m, simulado de túnel entre 7,5 e 8 m e simulado de caixa de armas entre 11,9 e 12,2 m.	45
Figura 4.8 Pseudo-seções de resistividade aparente medida. Cadáver: entre 3,8 e 4,4 m. Simulado de túnel: entre 7,5 e 8 m. Simulado de caixa de armas, entre 11,9 e 12,2 m, não foi pega pelo arranjo	47
Figura 4.9 (A) Objeto metálico de 10 cm de comprimento (“cabeça” de machado).	48
Figura 4.10 Radargrama obtido com o teste de velocidade no FORAMB com antena de 400 MHz, mostrando a hipérbole produzida pelo objeto enterrado. Lado esquerdo: Processado. Lado direito: Interpretado.	48
Figura 4.11 (A) Aquisição de dados GPR com antena biestática blindada de 400 MHz e (B) Espaçamento entre linhas de 0,25 m.	49
Figura 4.12 Radargrama da área do FORAMB: A) Processado e B) Interpretado.	50
Figura 4.13 Radargrama do cadáver (FORAMB) com antena de 400 Mhz, realizada em 30/07/2010.	51
Figura 4.14 Radargrama do túnel (FORAMB) com antena de 400Mhz, realizada em 30/07/2010.	51
Figura 4.15 Radargrama da caixa com armamentos, pouco visível (FORAMB), aquisição realizada em 30/07/2010.	51
Figura 4.16 Visualização em volume (cubo 3D) dos resultados da interpolação de perfis GPR, da área do FORAMB onde estão os alvos.	52
Figura 4.17 Detalhe das anomalias causadas pelo cadáver e o túnel na área do FORAMB (A) bloco 3D de dados GPR com um corte de 1,2 m de profundidade e na figura (B) corte em profundidade de 0,86 m.	52
Figura 4.18 Visualização de blocos de laterita na área do FORAMB até 0,20m de profundidade.....	54
Figura 4.19 Visualização dos alvos do FORAMB entre 0,50 e 0,70 m de profundidade	55
Figura 4.20 Visualização da diminuição dos contrastes dos alvos do FORAMB, entre 0,80 e 1,00 m de profundidade.	56

Figura 4.21 Fatiamento vertical da imagem 3D. A) Processado. B) Interpretado.	58
Figura 4.22 Imagem 3D com sombreado.	59
Figura 4.23 Imagem 3D com outra opção de sombreado.	60
Figura 5.1 Área do FORAMB no cemitério do Tapanã.	61
Figura 5.2 Zona de sepultamentos a NW do FORAMB. Os retângulos demarcam sepulturas de 2 m x 0,80 m. As flechas designam a direção do levantamento dada pelas linhas tracejadas ao longo dos túmulos P(1), P(2), P(3), P(4) e pelas linhas cheias P(5) e P(6), perpendicular aos túmulos.	62
Figura 5.3 Cadáver com três meses (profundidade 1m) perfil P(1) ao longo do corpo, antena de 400 MHz.	65
Figura 5.4 Cadáver com quatro meses (profundidade 1m) perfil P(2) ao longo do corpo, antena de 400 MHz	65
Figura 5.5 Cadáveres com quatro e três meses (profundidade 1m) perfil (5) perpendicular, antena de 400 MHz.	65
Figura 5.6 Cadáver com seis meses (profundidade 1m) perfil (3) ao longo do corpo, antena de 400 MHz.	66
Figura 5.7 Cadáver com um ano (profundidade 1m) perfil (4) ao longo do corpo, antena de 400 MHz.	66
Figura 5.8 Cadáveres com seis meses e um ano (profundidade 1m) perfil (6) perpendicular, antena de 400 MHz.	66
Figura 5.9 Cadáver com três meses (profundidade 1m) perfil (1) ao longo do corpo, antena de 200 MHz.	67
Figura 5.10 Cadáver com quatro meses (profundidade 1m) perfil (2) ao longo do corpo, antena de 200 MHz.	67
Figura 5.11 Cadáveres com quatro e três meses (profundidade 1m) perfil (5) perpendicular, antena de 200 MHz.	67
Figura 5.12 Cadáver com seis meses (profundidade 1m) perfil (3) ao longo do corpo, antena de 200MHz.	68
Figura 5.13 Cadáver com um ano (profundidade 1m) perfil (4) ao longo do corpo, antena de 200MHz.	68
Figura 5.14 Cadáveres com seis meses e um ano (profundidade 1m) perfil (6) perpendicular, antena de 200MHz.	68
Figura 6.2 Área provável do cemitério, próximo à praia do São Francisco e ao igarapé do Cajueiro na ilha de Mosqueiro, marcada pela elipse em vermelho.	71

Figura 6.1 Mapa da região metropolitana de Belém com a ilha de Mosqueiro no alto. Circulo preto sinaliza a área de pesquisa.....	71
Figura 6.3 (A) Objeto metálico de 30 cm de comprimento (“macaco” de carro).	72
Figura 6.4 Radargrama obtido com o teste de velocidade na Ilha de Mosqueiro com antena de 400 MHz, mostrando a hipérbole produzida pelo objeto enterrado. Lado esquerdo: Processado. Lado direito: Interpretado.	72
Figura 6.5 Localização do perfil de reconhecimento F1 com 64 m de extensão e da malha na área do cemitério perdido da ilha de Mosqueiro. Linha branca: limites prováveis do cemitério segundo relatos colhidos dos moradores. Seta amarela: Perfil F1. Retângulo vermelho: Malha de detalhe. Círculos verdes: postes.....	73
Figura 6. 6 Fotos da primeira (E) e segunda (F) escavação na área de estudo, partes de ossos encontrados crânio (G) e dentes (H).	74
Figura 6.7. Bloco de laterita (Grês do Pará)	74
Figura 6.8 Localização da área de escavações (1) e (2), onde foram encontrados restos humanos.....	75
Figura 6.9 (A) e (B) Fotos da área investigada em detalhe com o método GPR.	75
Figura 6.10 Radargrama F1 de 64 m de comprimento.	77
Figura 6.11 Trechos do radargrama F1 entre as posições: A) 0 e 9,4 m; B) 8,8 e 18,2 m; C) 17,8 e 27 m; D) 26,6 e 36m.	79
Figura 6.12 Trechos do radargrama F1 entre as posições: E) 35,4 e 44,7m; F) 44 e 53,6 m e G) 54,6 e 64 m.	80
Figura 6.13 Cortes em profundidade da área de escavações nas profundidades: a) 0,10 m; b) 0,15; c) 0,27 e 0,34 m.. Os círculos 1 e 2, tracejados, marcam os locais das escavações	82
Figura 7.1 Radargrama do cadáver com 1 ano de enterramento A) Processado sem migração e B) Processado com migração (fk stolt).....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela.3.1 Constante dielétrica (ϵ_r), condutividade elétrica (σ), velocidade (v) típicas de alguns materiais.....	28
Tabela .3.2 Constante dielétrica (ϵ_r) e condutividade elétrica (σ) para alguns tipos de materiais e partes do corpo humano.....	30
Tabela 3.3 Tabela de vantagens e desvantagens do uso do GPR para fins forenses.....	39
Tabela 4.1 Aquisição em cortes em profundidade, (Figuras 4.20; 4.21; 4.22), análise a cada 10 cm de profundidade na área do FORAMB.	57
Tabela 5.1 Túmulos levantados e suas características	61
Tabela 5.2 Interpretação dos radargramas obtidos na zona de sepultamentos com cobertura de concreto	69

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. A GEOFÍSICA APLICADA À ÁREA FORENSE.....	14
2.1 GEOFÍSICA FORENSE	14
2.1.1 Breve Histórico das Ciências Forenses com ênfase em Geociências.....	14
2.1.2 Campos de teste	16
2.2 GEOFÍSICA ANTROPOLÓGICA.....	17
2.3 GEOFÍSICA DE RESGATE	18
2.4 GEOFÍSICA AMBIENTAL.....	18
2.5 ASPECTOS COMUNS	19
3. METODOLOGIA GEOFÍSICA	21
3.1 FUNDAMENTOS ELETROMAGNÉTICOS.....	21
3.2 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO E PROCESSAMENTO.....	24
3.2.1 Respostas do corpo humano	29
4. INVESTIGAÇÃO NO CAMPO DE TESTES CONTROLADOS PARA GEOFÍSICA FORENSE, AMBIENTAL E DE RESGATE (FORAMB).....	40
4.1 DESCRIÇÃO	40
4.2 TRABALHOS DE GEOFÍSICA ANTERIORES	44
4.3 TRABALHOS DESENVOLVIDOS NESTA PESQUISA	46
4.3.1 Determinação de velocidade	47
4.3.2 Levantamento de dados.....	48
4.3.3 Processamento e interpretação de dados.....	49
4.3.3.1 Visualização 2D.....	49
4.3.3.2 Visualização 3D.....	51

5.1 DESCRIÇÃO	61
5.2 TRABALHOS DESENVOLVIDOS NESTA PESQUISA	62
5.2.1 Levantamento de dados.....	62
5.2.2 Processamento e interpretação dos resultados.....	62
5.2.2.1 Visualização 2D.....	63
6. INVESTIGAÇÃO NO ARQUIPÉLAGO DE MOSQUEIRO.....	70
6.1 DESCRIÇÃO	70
6.2 TRABALHOS DE GEOFÍSICA ANTERIORES	71
6.3 TRABALHOS DESENVOLVIDOS NESTA PESQUISA	72
6.3.1 Determinação de velocidade	72
6.3.2 Levantamento de dados.....	73
6.3.3 Processamento e interpretação de dados	76
6.3.3.1 Visualização 2D.....	76
6.3.3.2 Visualização 3D.....	81
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	83
REFERÊNCIAS	84
ANEXOS	87
ANEXO A-MÉTODOS GEOFÍSICOS	88
ANEXO B –RADARGRAMA DA ZONA DE SEPULTAMENTO DO CEMITÉRIO DO TAPANÃ	90

1. INTRODUÇÃO

O Radar de Penetração no Solo (*Ground Penetrating Radar* - GPR) é um método geofísico que utiliza ondas eletromagnéticas de alta frequência (15-2.500 MHz) que são transmitida ao solo, onde sua propagação depende das propriedades elétricas dos materiais existentes. Mudanças nestas fazem com que parte do sinal transmitido seja refletido, podendo ser detectado na superfície onde é amplificado, digitalizado e armazenado, para ser processado e transformado em registro (radargrama), que fornecerá informações sobre a subsuperfície. O GPR oferece a possibilidade de mapeamento com a mais alta resolução dentre os métodos geofísicos de feições subsuperficiais rasas.

O primeiro uso de sinais eletromagnéticos para determinar a presença de objetos de metal é geralmente atribuída a Christian Hülsmeier, em 1904, mas a primeira descrição da sua utilização para a localização de objetos enterrados apareceram seis anos depois, em uma patente alemã por Gotthelf Leimbach e Heinrich Löwy (DANIELS et al., 2004). A partir da década de 1970 até os dias atuais, a gama de aplicações tem se expandido constantemente, sendo aplicado à Arqueologia, problemas de engenharia (avaliação estrutural, avaliação de estradas e túneis, detecção de canos e cabos, etc.), ambientais, forenses e outros.

Vários métodos geofísicos podem ser usados para investigação da subsuperfície de áreas onde métodos tradicionais de pesquisa não podem ser utilizados, por exemplo, em locais em que exista excesso de concreto e asfalto, não permitindo escavações e sondagens (ANEXO A). A metodologia geofísica, portanto, oferece novas possibilidades para a investigação forense e antropológica, entre outras.

A utilização de métodos geofísicos de prospecção no contexto forense é importante não só na localização de provas, mas, principalmente, na escolha de áreas com grandes possibilidades de se encontrar os alvos pretendidos, o que permite descartar outras menos prováveis. Além disso, na maioria dos casos, os métodos de prospecção geofísica são não intrusivos ou não destrutivos, desse modo, a vantagem de usar a tecnologia geofísica para as pesquisas forenses e antropológicas é a condição de preservação do local, pois o solo não é perturbado (DUPRAS et al., 2006).

O GPR, que é o método utilizado nesta dissertação. Foi usado em três áreas: i) o Campo de Testes Controlados para Geofísica Forense, Ambiental e de Resgate (FORAMB), no cemitério do Tapanã em Belém, ii) área de sepultamentos também naquele Cemitério; iii) Ilha de Mosqueiro, distrito administrativo de Belém, onde relatos da existência de um cemitério perdido motivou as primeiras escavações e o uso do método GPR, para a localização dos restos mortais que ali estivessem. O objetivo do trabalho é de cunho da Geofísica Forense e Geo-

física Antropológica, mas se prestam também para a Geofísica de Resgate, conforme será explicado, que representam novos ramos da Geofísica, em especial no Brasil. O objetivo deste trabalho é testar a viabilidade do uso do GPR em condições amazônicas.

2. A GEOFÍSICA APLICADA À ÁREA FORENSE

2.1 GEOFÍSICA FORENSE

2.1.1 Breve Histórico das Ciências Forenses com ênfase em Geociências

Desde os primeiros tempos, as principais ferramentas de investigação da Ciência Forense foram a observação e a interpretação de evidências físicas. Na segunda metade do século XIX, a ciência foi aplicada pela primeira vez na investigação dos casos criminais e isso melhorou a validade das conclusões da investigação por parte das autoridades responsáveis.

O primeiro método científico de identificação amplamente aceito foi desenvolvido pelo francês Alphonse Bertillon, em 1879 (ECKERT, 1992). A antropometria, também chamada de Bertillonage em homenagem a seu criador, confiava em uma combinação de medidas físicas coletadas por procedimentos cuidadosamente prescritos. É um sistema complexo e completo de identificação humana, além dos valores antropométricos (obtidos por meio de um conjunto de técnicas utilizadas para medir o corpo humano ou suas partes), e descrições inclusive dos sinais particulares, apresenta a fotografia do identificado de frente e de perfil e as impressões digitais que foram introduzidas por Bertillon em 1894. Mais tarde o método da impressão digital foi amplamente aceito como o principal método de identificação humana (TAVARES JÚNIOR, 1991).

Em alguns casos, laboratórios científicos no âmbito das organizações policiais evoluíram a partir de funções de identificação. Algumas tentativas foram feitas para organizar as áreas especiais dentro dos departamentos de polícia para o estudo das evidências. Eckert (1992) destaca que uma referência em Ciências Forenses é a Academia de Ciências Forenses, uma entidade americana que representa os estados americanos, o Canadá e mais de 50 outros países do mundo. Esta organização criada em 1948 por muitos pioneiros no campo, inclui as seguintes áreas de especialização: Patologia e Biologia, Toxicologia, Criminalística, Análise de Documentos, Odontologia Legal, Antropologia, Jurisprudência e a Psiquiatria. Outras áreas estavam se firmando relacionadas à Engenharia, Geologia e Microscopia.

No Brasil, uma referência é o Instituto de Criminalística (IC), em São Paulo, que também é conhecido como Polícia Técnica, foi criado em 30 de dezembro de 1924, pela Lei n.º 2.034, sob a denominação de Delegacia de Técnica Policial. A Delegacia era subordinada ao Gabinete Geral de Investigações e realizava exames periciais. Dois anos depois, ela passou a ser chamada de Laboratório de Polícia Técnica (OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA PÚBLICA, 2010).

Geociências Forenses podem ser definidas como uma especialidade das Geociências, que se preocupa com a aplicação geológica e ambiental na produção de provas materiais de um crime, que poderão ser usadas num tribunal. Os limites científicos das Geociências Forenses não são claramente definidos, e existem junções significativas com outras especialidades afins, tais como: Arqueologia Forense, Antropologia Forense, Botânica Forense, Engenharia Forense e até de Medicina Forense e Patologia Forense (PYE; CROFT, 2004). A Geologia Forense se preocupa principalmente com os estudos de rochas, sedimentos, minerais e solos. A aplicação Ambiental Forense, por outro lado, se preocupa com questões como contaminação das águas subterrâneas, entre outras.

Historicamente, a contribuição potencial dos estudos de rochas, minerais e sedimentos para as investigações criminais foi reconhecido há mais de um século atrás pelo americano criminologista Professor Hans Gross, considerado o criador da área de Criminalística, e outros antigos advogados no início deste século incluído o cientista forense alemão Georg Popp e o francês pioneiro da ciência forense Edmond Locard (op. cit.).

Já a Geofísica Forense é bem mais recente, as primeiras aplicações datando do final da década de 90 e envolvendo trabalhos com o GPR (PIRES, 2001).

Geofísica Forense ou Geofísica Legal, definida como "a aplicação de métodos geofísicos relacionados às investigações legais" (FENNING; DONNELLY, 2004), representa uma nova tendência mundial da Geofísica. Mais especificamente, a Geofísica Forense corresponde à aplicação e à adaptação de técnicas de Geofísica de Prospecção na investigação de cenas de crime ou problemas correlatos, trazendo subsídios para as investigações que envolvem a localização de restos humanos ou caixões enterrados; paredes falsas, vazios ou espaços camuflados em construções e, também, projéteis, cápsulas, armas e outros objetos metálicos, geralmente em subsuperfície (PIRES, 2001).

Um dos primeiros trabalhos registrados no Brasil se deu, provavelmente, em 1994, quando pesquisadores do laboratório de Geofísica Aplicada (LGA), do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB), colaboraram com o Departamento de Polícia Especializada da Secretaria de Segurança do Distrito Federal. A metodologia geofísica foi utilizada na localização de restos humanos, enterrados dentro de uma residência (op. cit.).

Os limites da Geofísica Forense com a Geofísica Antropológica, a Geofísica de Resgate e a própria Geofísica Ambiental são comumente tênues. O conhecimento acumulado advém tanto de campos naturais como de campos construídos para testes geofísicos controlados.

2.1.2 Campos de teste

Há diversos campos de testes geofísicos controlados espalhados pelo mundo. Os campos de testes voltados à investigação forense são cemitérios (campos naturais) bem como campos construídos com essa finalidade (campos controlados). Do ponto de vista da Geofísica Forense, estes últimos representam um espaço mais apropriado para testar os métodos geofísicos em situações semelhantes à cena de crimes. A diferença maior reside no fato que a grande maioria desses campos de testes usam restos de porcos e outros animais. Diversos pesquisadores trabalhando seja em cemitérios, como Bevan (1991), seja em campos de teste, como Strongman (1992), chamam a atenção para a potencialidade do GPR para os trabalhos forenses.

No Brasil, o primeiro campo de testes geofísicos foi o Sítio Controlado de Geofísica Rasa (SCGR) do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Esse campo, que começou a ser construído em 2003 pelo Prof. Dr. Jorge Luis Porsani, não lida com a localização de alvos via de regra de interesse da investigação criminalística (PORSANI et al., 2006).

Em 2007, o campo de testes controlados para Geofísica Forense, Ambiental e de Resgate (FORAMB) foi implantado no cemitério do Tapanã, em Belém do Pará, sob a coordenação da Profa. Dra. Lúcia Maria da Costa e Silva com o apoio do Departamento de Necrópoles (DANE) e do Instituto Médico Legal (IML) de Belém (NASCIMENTO, 2009). Uma vantagem do FORAMB, uma vez que o mesmo está localizado em um cemitério, é facilitar o trabalho com cadáveres humanos, em vez de se utilizarem animais.

O FORAMB compreende cadáver e simulações de túnel e armas que vem sendo monitorados com diferentes métodos geofísicos desde 2007 (NASCIMENTO, 2009; CATETE, 2010). O FORAMB é, também, um espaço de treinamento e aulas práticas com métodos geofísicos diversos (SILVA et al., 2008).

Blum (2006) reporta esforços para a implantação de um campo de testes para treinar peritos da Academia Nacional da Polícia Federal em Brasília com o GPR, radiômetros e detectores de metais para busca de cápsulas, projéteis perdidos, ossos e corpos. Em março de 2012, foi construído o primeiro (protótipo) sítio controlado de geofísica forense (SITCRIM-INC) à frente do Instituto Nacional de Criminalística. Armas, simulantes de drogas, tubulações, bloquetes, tambores, bombonas, garrafas com diferentes tipos de líquidos, solos distintos e ossos bovinos foram enterrados. A divulgação foi feita sob a forma de pôster na 6ª. reunião anual da European Academy of Forensic Sciences (EAFS) que ocorreu em agosto de 2012 em Haia, capital da Holanda (com. oral BLUM, 2013).

2.2 GEOFÍSICA ANTROPOLÓGICA

Geofísica Antropológica é um termo que pode ser usado para caracterizar os estudos de Geofísica voltados ao estudo da Antropologia, especificamente condições de existência dos grupos humanos desaparecidos, ou seja, campo de estudo que tem relação com a Arqueologia (CONYERS, 2006 e 2010).

Antropologia Forense lida com a identificação de corpos em estado de decomposição, enquanto a Geofísica Antropológica, assim como a Geofísica Forense, com a localização desses corpos, a primeira, via de regra, com corpos em muito mais adiantado estado de decomposição. Nenhuma das duas últimas, contudo, têm apenas como objeto de estudo esses alvos.

No Brasil, sentença proferida pela Excelentíssima Juíza Federal Solange Salgado da Silva Ramos de Vasconcelos da 1ª Vara Federal, levou o Ministério da Defesa à coordenação dos trabalhos voltados à localização, ao recolhimento e à identificação dos corpos dos guerrilheiros e militares mortos no episódio conhecido como “Guerrilha do Araguaia”, maior trabalho já realizado no Brasil de Geofísica aplicada à Antropologia. O Ministério de Defesa criou o Grupo de Trabalho Tocantins (GTT) para cumprir a decisão judicial, envolvendo geofísicos das Universidades Federais do Pará, Bahia, Ceará, Brasília, entre muitos outros profissionais de outras áreas.

Os trabalhos de campo constaram de georeferenciamento pela equipe de topografia do Exército, preparação da área com sua delimitação, levantamento geofísico com o GPR, seguido de processamento e seleção de alvos para a equipe de Antropologia Forense, em fase posterior, realizar a escavação.

A expectativa da equipe do GTT era encontrar apenas fragmentos de ossos devido ao tipo de solo, umidade, clima quente e chuvoso da região amazônica, mas, sobretudo ao longo tempo de enterramento dos corpos, cerca de 35 anos. Não foram encontrados restos humanos nos campos estudados. Em 2011 foi rebatizado de GTA - Grupo de Trabalho Araguaia - envolvendo os Ministérios da Justiça, Defesa e a Secretaria de Direitos Humanos.

Orientadora e autor deste trabalho participaram representando a UFPA no GTA entre 2 e 18 de outubro de 2009. A situação encontrada guarda analogia com o Cemitério Perdido do Mosqueiro, que será adiante abordado.

2.3 GEOFÍSICA DE RESGATE

A Geofísica de Resgate está voltada ao resgate de pessoas ou corpos bem como objetos perdidos em situações, muitas vezes, associadas a acidentes.

Em soterramentos provocados por avalanches de neve, lama, terremotos, quedas de construções e encostas de morros, entre outros, o tempo de reação da equipe de resgate entre a utilização do método geofísico e o começo das primeiras escavações são essenciais para encontrar possíveis sobreviventes.

O GPR pode localizar vítimas soterradas por avalanche de neve, mais rápido do que cães, no entanto, uma taxa de sobrevivência de 50% só pode ser alcançada quando resgatadas no prazo de até 30 minutos de soterramento (OLHOEFT; MODROO, 2006). Isso significa que deve haver uma unidade de GPR e um operador nas imediações.

Mais recentemente, uma modificação do GPR apareceu no mercado com o nome comercial de LifeLocator com a habilidade de detectar movimento e respiração da vítima soterrada por estruturas colapsadas de edifícios (GSSI, 2010).

2.4 GEOFÍSICA AMBIENTAL

Estimulada pela preocupação mundial com o meio ambiente, a Geofísica Ambiental utiliza os métodos geofísicos para mapear o subsolo e o seus prováveis contaminantes, sejam eles o necrochorume de cemitérios, o chorume dos lixões urbanos ou vazamentos em postos de combustíveis nas grandes cidades, entre muitos outros.

As investigações geofísicas, especificamente em cemitérios, têm sido realizadas para permitir a caracterização da área antes de receber substâncias poluentes ou já sob o impacto destas. A Geofísica permite encontrar a profundidade dos aquíferos, direção do fluxo de água subterrâneo e monitorar a pluma de contaminação formada pelo necrochorume. Os trabalhos pioneiros foram realizados pela UFPA, que tem constantemente trabalhado com esse tipo de investigação, por exemplo, (DAMASCENO, 2001; NASCIMENTO, 2009; CATETE, 2010).

Existe uma variedade de métodos geofísicos que podem ser utilizados nos estudos ambientais, entre os quais destacam-se a eletrorresistividade, métodos eletromagnéticos indutivos e o GPR.

2.5 ASPECTOS COMUNS

Há vários aspectos comuns entre essas ciências.

Observações que se referem a restos mortais, por exemplo, podem ser utilizadas pela Geofísica Forense, Antropológica, de Resgate e Ambiental (Figura 2.1 e 2.2). O interesse para as três primeiras é o estudo da resposta de diferentes métodos geofísicos dos restos mortais ou de seus vestígios, ao longo do tempo. Objetos podem ser também o alvo da Geofísica Forense e da Geofísica de Resgate. O interesse da Geofísica Ambiental, por sua vez, recai sobre as modificações do meio ambiente, via de regra, contaminação da água pelo necrochorume. Neste caso, os conhecimentos da Geofísica Ambiental podem ser aplicados também à área forense (Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998).

Figura 2.1 GPR na detecção de alvo da Geofísica Forense, de Resgate e Ambiental

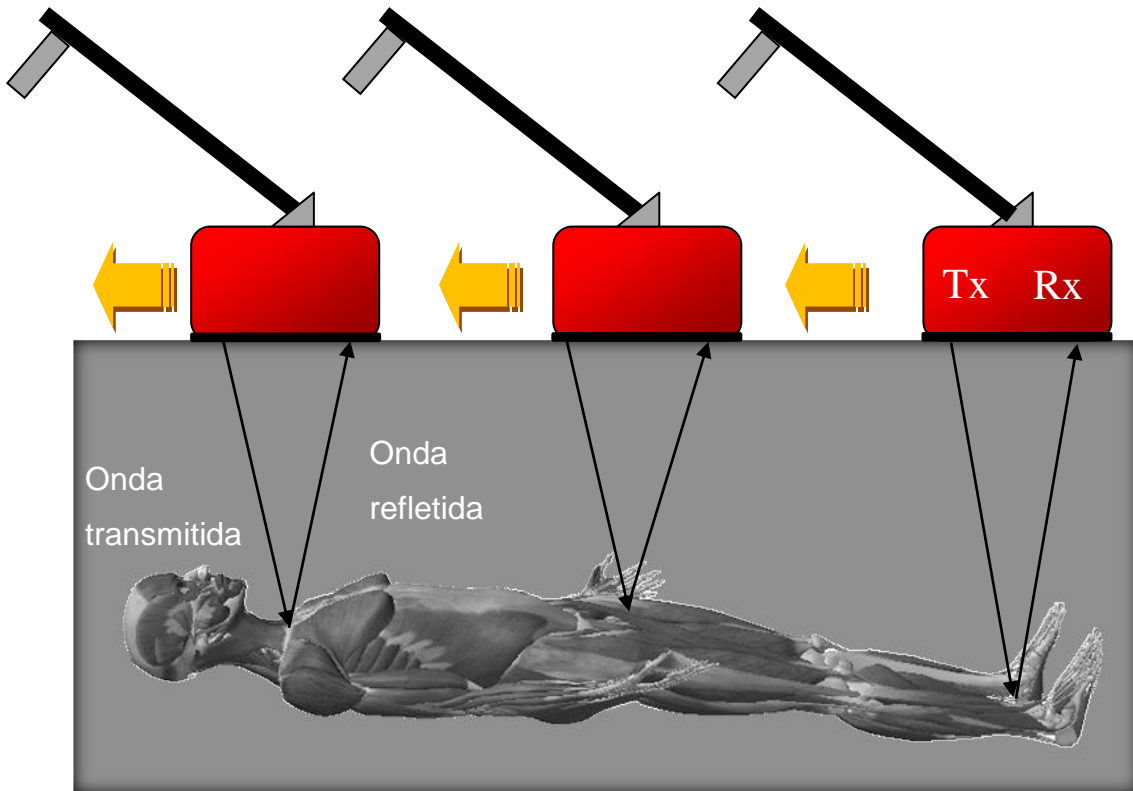
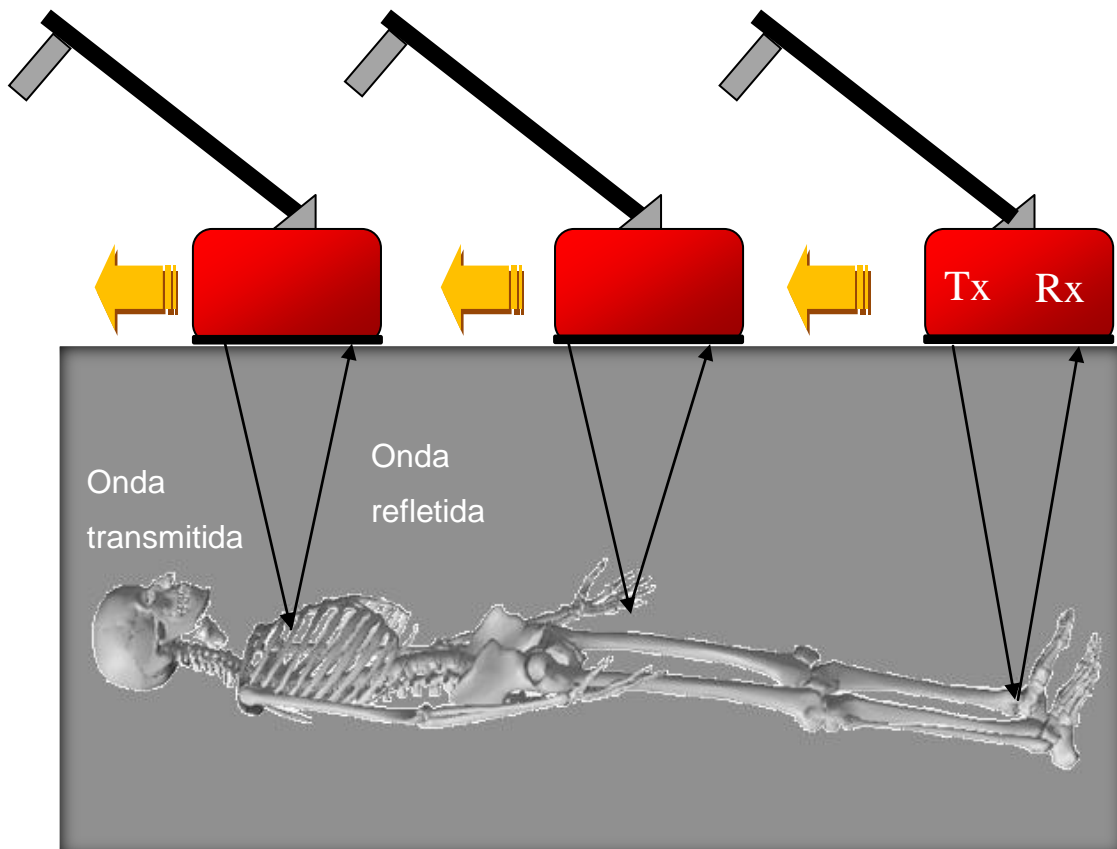


Figura 2.2 GPR na detecção de alvo da Geofísica Antropológica, Forense e de Resgate.



3. METODOLOGIA GEOFÍSICA

3.1 FUNDAMENTOS ELETROMAGNÉTICOS

James Clerk Maxwell (Edimburgo, 1831-Cambridge, 1879) foi um físico e matemático britânico, que se tornou conhecido como o mais importante físico do século XIX por ter dado a forma final à teoria moderna do Eletromagnetismo, que une Eletricidade, Magnetismo e Ótica e é a base da teoria da relatividade restrita de Einstein.

Em 1864, Maxwell mostrou que as forças elétricas e magnéticas têm a mesma natureza: uma força elétrica em determinado referencial pode tornar-se magnética se analisada em outro e vice-versa. Maxwell demonstrou que os campos elétricos e magnéticos se propagam com a velocidade da luz. Ele apresentou uma teoria detalhada da luz como um efeito eletromagnético, isto é, a luz correspondendo à propagação de ondas elétricas e magnéticas, hipótese formulada por Faraday. Essa teoria é sumarizada pelas equações de Maxwell, assim chamadas em sua honra e porque ele foi o primeiro a escrevê-las, juntando a lei de Gauss tanto para a Eletrostática como para a Magnetostática, a lei de Ampère, por ele próprio modificada, e a lei da indução de Faraday:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho, \quad (3.1)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad (3.2)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (3.3)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (3.4)$$

sendo \vec{D} o deslocamento elétrico, \vec{B} a indução magnética, \vec{H} e \vec{E} os campos magnético e elétrico, respectivamente, \vec{J} a densidade de corrente elétrica, ρ a densidade de carga livre e t o tempo (NUSSENZVEIG, 1997; REITZ, 1982).

Para se analisar a propagação de ondas eletromagnéticas, torna-se necessário a manipulação algébrica das equações de Maxwell e o uso das relações constitutivas que possibilitam entender a interação entre os campos eletromagnéticos com um determinado meio, através das propriedades físicas condutividade elétrica σ , permissividade dielétrica e permeabilidade magnética μ . As relações constitutivas são representadas por:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}, \quad (3.5)$$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \text{ e} \quad (3.6)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}. \quad (3.7)$$

Substituindo-se as relações constitutivas nas equações 3.4 e 3.3, obtém-se:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial(\mu \vec{H})}{\partial t} \text{ e} \quad (3.8)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \sigma \vec{E} + \frac{\partial(\varepsilon \vec{E})}{\partial t}. \quad (3.9)$$

Aplicando o operador rotacional na equação 3.8 e as manipulações algébricas necessárias, encontra-se

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu \frac{\partial}{\partial t} \left[\sigma \vec{E} + \frac{\partial(\varepsilon \vec{E})}{\partial t} \right]. \quad (3.10)$$

De modo análogo, obtém-se equação semelhante para o campo magnético, mas, para os propósitos deste trabalho, trabalhar-se-á apenas com o campo elétrico. Adotando-se que os campos variam harmonicamente, sob a forma

$$\vec{E} \propto E_0 e^{i\omega t}, \quad (3.11)$$

sendo a frequência angular $\omega = 2\pi f$ (com f como a frequência da antena transmissora do G-PR).

Grande parte do campo elétrico é paralelo ao comprimento das antenas do GPR. O campo elétrico tem a direção x e o campo magnético, a direção y , pois a onda propaga-se na direção z . Nessas condições, a equação (3.10) transforma-se em:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_x}{\partial z^2} = [-i\omega\mu(\sigma + i\varepsilon\omega)] \vec{E}_x. \quad (3.12)$$

O termo que multiplica \vec{E}_x é chamado de número de onda k^2 ; neste termo estão associadas todas as características elétricas e magnéticas de um meio qualquer. Sua representação após manipulações algébricas é:

$$k^2 = \omega^2 \mu \varepsilon - i\omega \mu \sigma, \quad (3.13)$$

com k podendo ser expresso como

$$k = \alpha + i\beta, \quad (3.14)$$

sendo α sua parte real e β sua parte imaginária. Elevando-se a equação anterior ao quadrado e comparando-se as partes real e imaginária obtidas com as partes real e imaginária da equação 3.13, pode-se escrever um sistema de equações cuja solução fornece: (STRATTON, 1941).

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1 \right)} \quad (3.15)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1 \right)}. \quad (3.16)$$

A equação (3.12) tem a seguinte solução:

$$E_x(z, t) = E_0^+ e^{(-kz + \omega t)} + E_0^- e^{(kz + \omega t)}, \quad (3.17)$$

simbolizando E_x a componente do campo elétrico na direção x , paralela à antena transmissora, e o campo E_0^+ elétrico que se propaga perpendicularmente ao eixo x , na direção da subsuperfície no sentido de z e , o campo elétrico E_0^- que se propaga na mesma direção, mas em sentido oposto ao eixo z .

Para o estudo da propagação em subsuperfície, considera-se somente o primeiro termo da equação (3.17), ou seja, o termo que corresponde à propagação da onda em subsuperfície. Substituindo-se nesta, a expressão de k dada por (3.14), tem-se que:

$$E_x(z, t) = E_0^+ e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - \beta z)}. \quad (3.18)$$

A equação (3.18) traduz um movimento harmônico simples de frequência angular ω que sofre um deslocamento de fase βz , sendo β , por isto, chamada de constante de fase. A amplitude da onda é atenuada segunda uma função exponencial dependente de αz , daí α ser chamada constante de atenuação.

No caso do GPR, os dois termos de k^2 devem ser considerados. De acordo com Annan (2001), para o regime radiante do GPR gerado pela sua alta frequência de operação (frequências elevadas ≥ 1 MHz), o primeiro termo, que corresponde à corrente de deslocamento, predomina sobre o segundo termo, que é a corrente de condução, ou seja, vale a seguinte desigualdade:

$$\omega^2 \mu \epsilon \gg |i \omega \mu \sigma|. \quad (3.19)$$

O meio é então dito de baixa perda e k é simplificado como segue:

$$k^2 \approx \omega^2 \mu \epsilon. \quad (3.20)$$

As equações (3.15) e (3.16) são então simplificadas como segue:

$$\alpha = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (3.21)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon}. \quad (3.22)$$

A velocidade da onda eletromagnética no meio, dada por (STRATTON, 1941)

$$v = \frac{c}{\left[\frac{\mu_r \epsilon_r}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2}} + 1 \right) \right]^{\frac{1}{2}}}, \quad (3.23)$$

por sua vez, passa a ser dada por:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}, \quad (3.24)$$

em que c é a velocidade da luz no vácuo ($\approx 0,3$ m/ns), ϵ_r , a constante dielétrica e μ_r , a permeabilidade magnética relativa. A constante dielétrica ou permissividade dielétrica relativa é dada pela razão da permissividade do material pela permissividade dielétrica do vácuo. De modo análogo, a permeabilidade magnética relativa.

Quando a onda eletromagnética se propaga no meio e encontra descontinuidades elétricas, ela sofre sucessivas reflexões e refrações. A quantidade de energia eletromagnética refletida, proporcional à magnitude das mudanças eletromagnéticas do meio, é controlada pelo coeficiente de reflexão:

$$CR = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (3.25)$$

sendo Z a impedância intrínseca dos meios, com os índices 1 e 2 referindo-se a dois meios separados por uma interface.

Na superfície, a impedância é expressa por (ANNAN, 2001):

$$Z = \frac{\sqrt{i\omega\mu}}{\sqrt{\sigma + i\omega\epsilon}}, \quad (3.26)$$

sendo normalmente simplificada como segue:

$$Z = \frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{\epsilon}}. \quad (3.27)$$

Nas aplicações do GPR a ambientes de condutividades muito baixas, dadas as frequências elevadas de operação, o coeficiente de reflexão (CR) pode ser expresso como:

$$CR = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}}. \quad (3.28)$$

3.2 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO E PROCESSAMENTO

O GPR emite um pulso eletromagnético, direcionado para o solo, onde objetos enterrados e a estratigrafia das camadas da subsuperfície causam reflexões do mesmo, que serão captadas por um receptor. O padrão de radiação da antena é em forma de cone, com a emissão de sinais de aproximadamente 15° graus em relação à horizontal, para frente e para trás da

antena. Os objetos enterrados podem, portanto, ser detectados antes que a antena esteja localizada diretamente sobre eles e as anomalias no GPR, parecerem maiores do que as dimensões reais do alvo (NETO, 2006).

O tempo de chegada da onda refletida, da ordem de nano segundos, é lançado em uma escala vertical para diferentes pontos do perfil. Esse registro vertical que associa tempo e amplitude é chamado de *scan* ou traço. Uma sequência desses scans forma um radargrama (Figura 3.1). É possível transformar a escala temporal em profundidade, conhecendo-se a velocidade da onda eletromagnética nos materiais subsuperficiais.

No radargrama, a mudança de cor indica variação de amplitude do sinal: negativa, de verde a azul, com esta última correspondendo ao mínimo valor de amplitude; positiva, do vermelho a rosa, com rosa correspondendo ao máximo valor de amplitude. Essa polaridade do sinal EM pode auxiliar na caracterização do meio: quando a onda passa de um meio de baixos valores dielétrico e de condutividade (maior velocidade de propagação) para um de maior (menor velocidade de propagação), sua amplitude é negativa (verde ou azul), já que ela vai de um meio de baixa energia (baixos valores de constante dielétrica e de condutividade) para um de alta energia. A amplitude é positiva (vermelho ou rosa) no caso contrário.

Um conjunto de radargramas adjacentes permite construir uma imagem tridimensional do local que pode ser fatiada horizontal ou verticalmente (Figura 3.2). A frequência de operação depende do objetivo da investigação, pois, quanto maior a frequência utilizada menor será a profundidade estudada e maior a resolução vertical. As frequências usadas com o GPR normalmente variam de 15 MHz a 2.500 MHz (Figura 3.3). A velocidade de propagação e a atenuação são fatores que descrevem a propagação do pulso eletromagnético na subsuperfície. Esses fatores dependem da constante dielétrica, permeabilidade magnética e da condutividade dos materiais.

Figura 3.1 Radargrama com refletores do FORAMB.

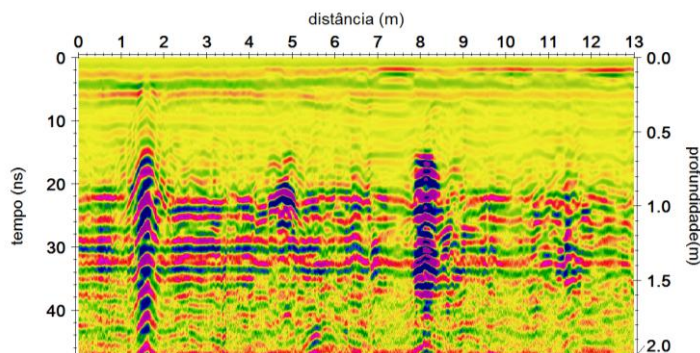
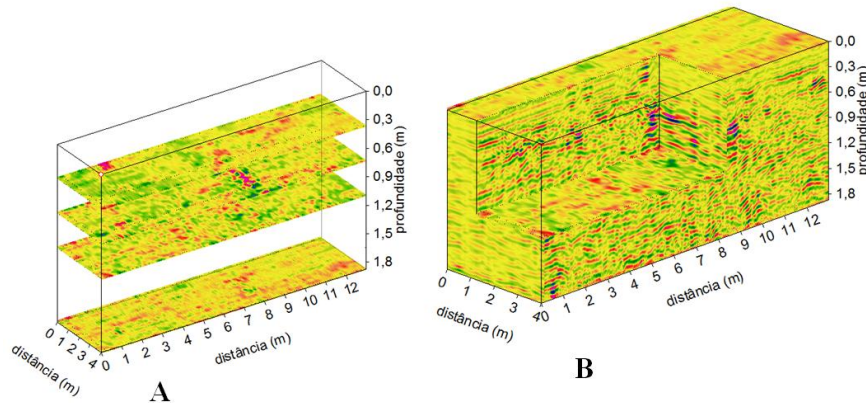
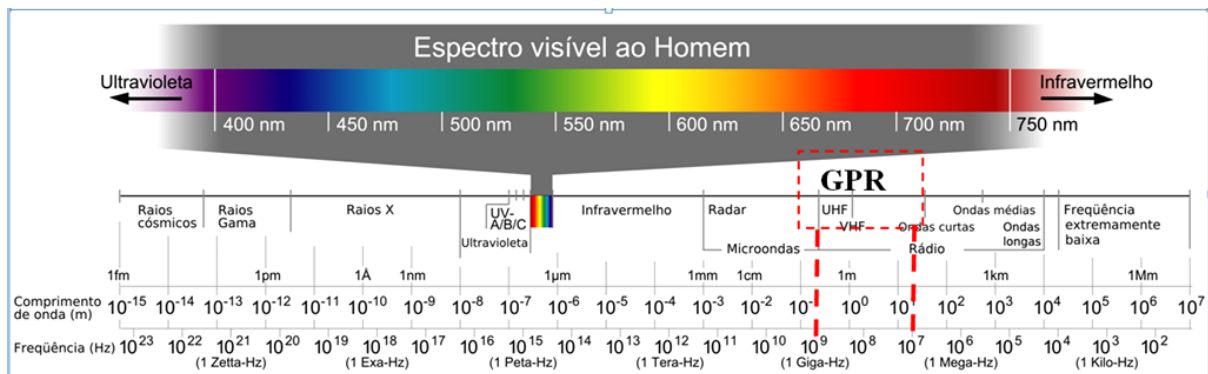


Figura 3.2 Representação de dados GPR: (A) Sequência de fatias em diferentes profundidades de (B) Bloco 3D.



A Tabela 3.1 fornece a constante dielétrica, a condutividade e a velocidade de alguns materiais. Meios de alta condutividade inviabilizam a aplicação do GPR (DANIELS, 2004).

Figura 3.3 Intervalo de frequência do GPR.



Adaptado de Wikipedia (2010).

A aquisição dos dados a partir dos levantamentos feitos no terreno com o GPR pode ser, basicamente, realizada com três tipos de arranjos: afastamento comum, ponto médio comum (*common mid point*, CMP) e reflexão e refração de grande ângulo (*wide angle reflection and refraction*, WARR) (Figura 3.4).

Os perfis de GPR deste trabalho foram levantados com o sistema SIR-3000 da GSSI, com antenas de 200 MHz e 400 MHz. As medidas foram tomadas com afastamento comum no modo tempo, com marcações variando entre 1 e 2 m feitas manualmente, por não estar disponível roda calibrada (odômetro). Esse odômetro é ligado diretamente à unidade de controle para registro e visualização da distância percorrida na tela do computador que acompanha o equipamento.

É importante salientar que, quando os locais das estações são registrados manualmente em vez de se usar o odômetro, variações na velocidade com a qual a antena é movida entre as estações podem facilmente ocorrer provocando erros no posicionamento horizontal. Daí a posição horizontal interpretada para um objeto pode também ter um pequeno erro.

O processamento dos dados compreende, resumidamente, as seguintes etapas:

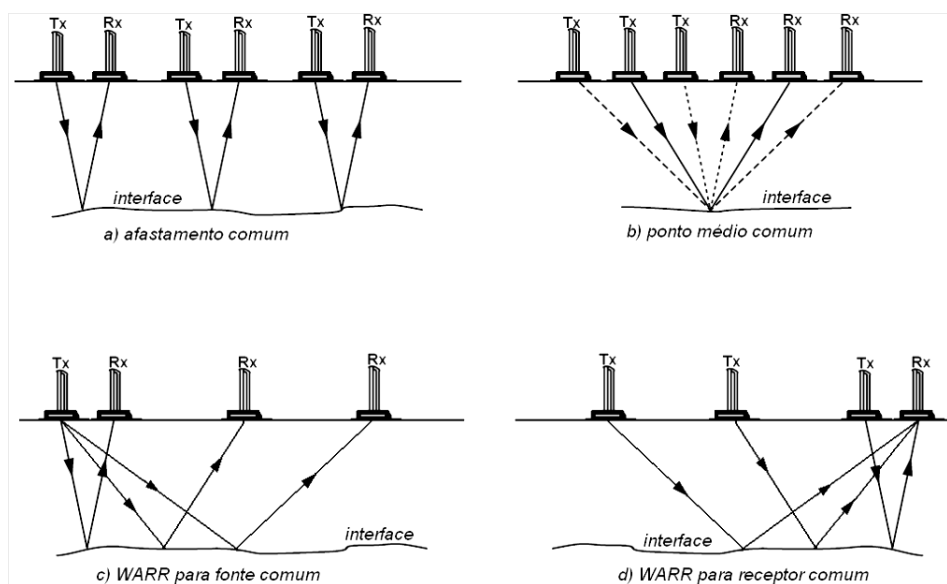
- i) Pré-processamento – Nesta etapa é feita a edição do radargrama, que permite a correção de erros de cabeçalho, ajuste do tempo zero e correção de topografia;
- ii) Aplicação de ganhos – devido à atenuação natural da onda no subsolo, pode ser necessário aplicar ganhos aos dados para evidenciar as amplitudes correspondentes aos refletores em maiores profundidades;
- iii) Filtragem digital – Etapa onde são reduzidos ou mesmo eliminados os ruídos dos dados por meio de vários filtros;
- iv) Migração – Corpos pontuais geram difrações, sendo registrados como hipérboles, enquanto estruturas planares que mergulham, aparecem deslocadas de suas posições verdadeiras com semi-hipérboles em suas extremidades, mas, por meio da migração, as hipérboles são colapsadas e os refletores inclinados levados às suas corretas posições.
- v) Conversão do tempo em profundidade – transformação dos tempos de retorno das ondas, para obtenção da profundidade dos objetos investigados (exige calcular a velocidade de propagação do meio, o que pode ser feito por meio das hipérboles de difração presentes no radargrama, além de CMP, etc.);

A rotina de processamento consistiu em conversão de formato do arquivo, ajuste do tempo zero, filtros temporal (dewow e passa-banda), ganho (decaimento de energia), migração em tempo (*fk migration* – *Stolt*, escolhida por ter propiciado colapso mais adequado dos alvos, sendo a mesma utilizada no trabalho acompanhado do Araguaia), conversão em profundidade (assumindo velocidade constante). A correção topográfica no FORAMB e na ilha de Mosqueiro foram desnecessárias por se tratarem de áreas planas de pequenas dimensões.

Tabela.3.1 Constante dielétrica (ϵ_r), condutividade elétrica (σ), velocidade (v) típicas de alguns materiais

MATERIAL	ϵ_r	σ (ms/m)	v (m/ns)	MATERIAL	ϵ_r	σ (ms/m)	v (m/ns)
Ar	1	0	0,3	Água destilada	81	0,01	0,03
Areia seca e cascalho	2-6	0,01	0,1-0,2	Água fresca	81	0,5	0,03
Argila seca	5	2	0,1	Água do mar	81	3000	0,03
Folhelho e siltito seco	5	1	0,1	Areia saturada	20-30	0,1-1	0,05-0,07
Calcário seco	4	0,5	0,15	Silte saturado	10	1-10	0,09
Solo arenoso seco	2,6	0,14	0,18	Argila saturada	40	1000	0,04
Solo argiloso seco	2,4	0,27	0,19	Solo arenoso saturado	25	6,9	0,06
Sal seco	5-6	0,01-1	0,1-0,12	Solo argiloso saturado	15	50	0,04
Granito seco	5	0,01	0,1	Arenito saturado	20-30	40	0,05-0,07
Basalto seco	6	1	0,1	Siltito saturado	30	100	0,05
Diabásio seco	7	10	0,1	Folhelho saturado	7	100	0,1
Ferro	1	10^9	0,3	Calcário saturado	8	2	0,1
Aço	1	∞	0,3	Granito saturado	7	1	0,1
PVC	8	0	0,1-0,17	Basalto saturado	8	10	0,1
Asfalto	3-5	0	0,1-0,12	Diabásio saturado	8	100	0,1
Concreto seco	5,5	0	0,13	Concreto saturado	12,5	0	0,08

Adaptado de (DAVIS e ANNAN, 1989 e DANIELS, 2004)

Figura 3.4 Arranjos entre as antenas de transmissão e recepção.

Adaptado de MILSOM, 2003.

3.2.1 Respostas do corpo humano

A Tabela 3.2 mostra a constante dielétrica e a condutividade para alguns materiais geológicos, bem como de partes do corpo humano, em diferentes frequências.

Em pesquisa publicada no *Jornal de Geofísica Aplicada*, em 2000, Hammon III et al. (2000) da Universidade do Texas, em Dallas, realizaram simulações das respostas GPR usando diferenças finitas. O objetivo da simulação digital era encontrar possíveis padrões de anomalias causados por partes do corpo humano em diferentes profundidades de enterramento, tipos de solo, umidades do solo, frequências e separações da antena.

A Figura 3.5 mostra a resposta GPR obtida com 900 MHz para a parte superior do tórax e braços e a Figura 3.6, para a parte inferior da pélvis. Na Figura 3.7 aparecem reunidos radargramas obtidos perpendicularmente às diferentes partes do corpo (op cit.).

Finalmente, na Figura 3.8, Hammon et al. (2000) mostram o resultado da modelagem do efeito avançado da decomposição de um crânio e da mudança da composição do solo sobre a parte inferior do tórax entre 40-60 cm. A decomposição foi simulada substituindo solo e ar por camada de pele e tecido cerebral, respectivamente em um solo argilo arenoso com 6,4% de água/volume. A mudança na composição do solo foi simulada por uma camada de areia rica em argila com 25,8% de água/volume entre 0 e 70 cm de profundidade sobre camada de areia.

Algumas conclusões dessa simulação, que podem ser úteis para trabalhos de investigação de restos humanos, são reunidas a seguir.

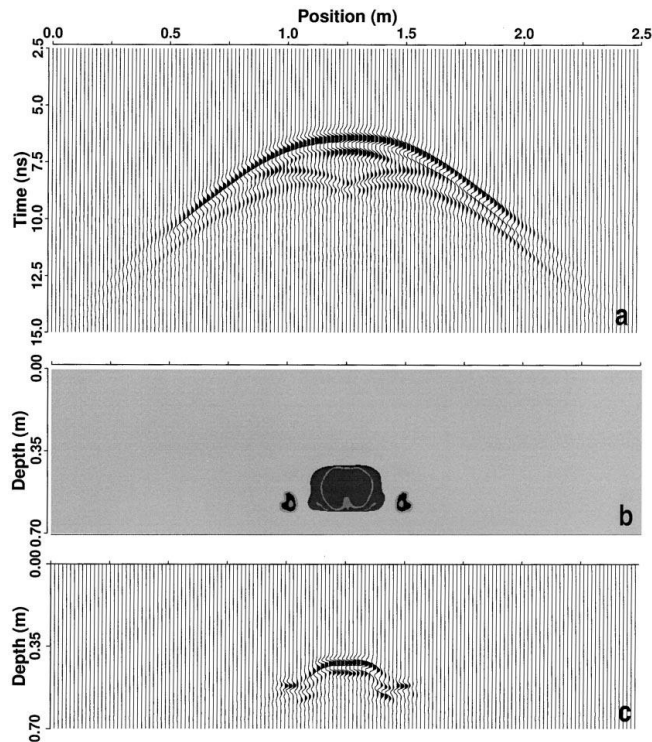
- i) Somente as camadas superiores do corpo humano produzem reflexão detectável devido à alta condutividade elétrica dos tecidos biológicos.
- ii) A atenuação dentro do corpo produz uma sombra no sinal e caudas de difração debaixo do corpo.

Tabela .3.2 Constante dielétrica (ϵ_r) e condutividade elétrica (σ) para alguns tipos de materiais e partes do corpo humano.

Material	450 MHz		900 MHz		1200 MHz	
	ϵ	σ (S/m)	ϵ	σ (S/m)	ϵ	σ (S/m)
Ar	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0
Argila	5,1	0,038	4,3	0,06	4,1	0,08
Argila rica em areia (6,4%)	3,4	0,012	3,3	0,017	3,3	0,022
Argila rica em areia (25,8%)	11,0	0,072	10,6	0,105	10,5	0,13
Areia seca	2,4	0,006	2,4	0,009	2,4	0,009
pele	38,0	0,7	35,0	0,8	33,0	1,0
osso	13,0	0,1	12,0	0,13	11,0	0,2
Cérebro (massa cinzenta)	60,0	0,9	50,0	1,1	45,0	1,2
Matéria branca	47,0	0,59	45,0	0,9	40,0	1
cartilagem	48,0	0,64	45,0	0,81	40,0	0,9
músculo	56,0	1,03	54,0	1,2	51,0	1,3
Medula óssea	6,0	0,075	5,5	0,1	5,0	0,115
Pele com gordura	7,0	0,08	6,0	0,1	5,0	0,145
Fígado e músculo	52,0	0,89	49,0	1,02	47,5	1,15
Fígado, pulmão e músculo	49,0	0,75	46,0	0,83	44,0	0,93

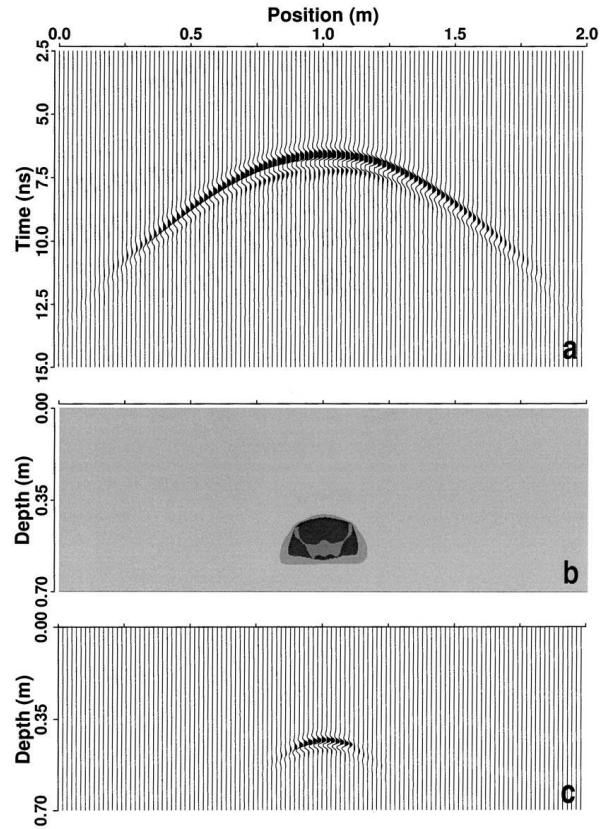
Adaptado de HAMMON III et al. 2000

Figura 3.5 Investigação sobre a parte superior do tórax e braços com 900 MHz. (a) Radargrama perpendicular. (b) Seção transversal do corpo. (c) Radargrama com as amplitudes elevadas eliminadas e migrado.



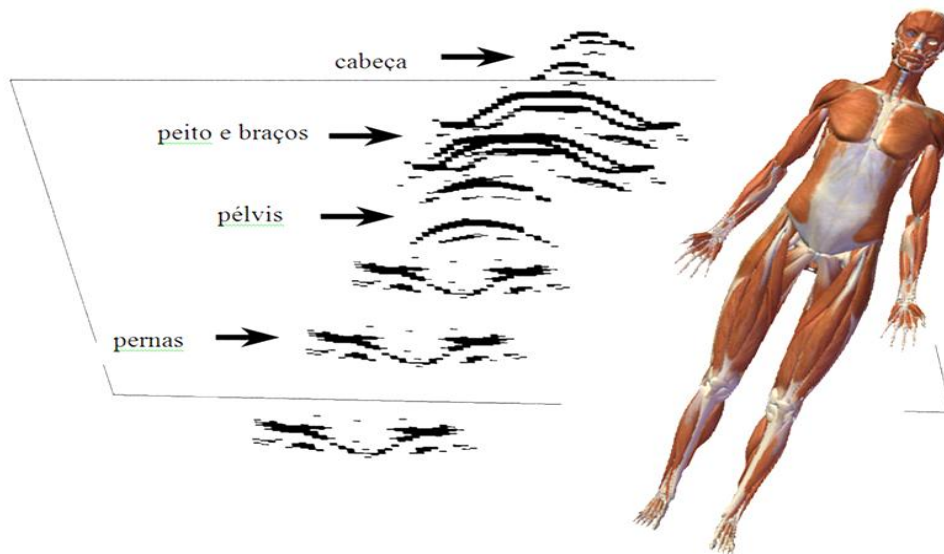
Adaptado de HAMMON III et al. 2000.

Figura 3.6 Investigação sobre a pélvis com 900 MHz. (a) Radargrama perpendicular. (b) Seção transversal ao corpo. (c) Radargrama com as amplitudes elevadas eliminadas e migrado.



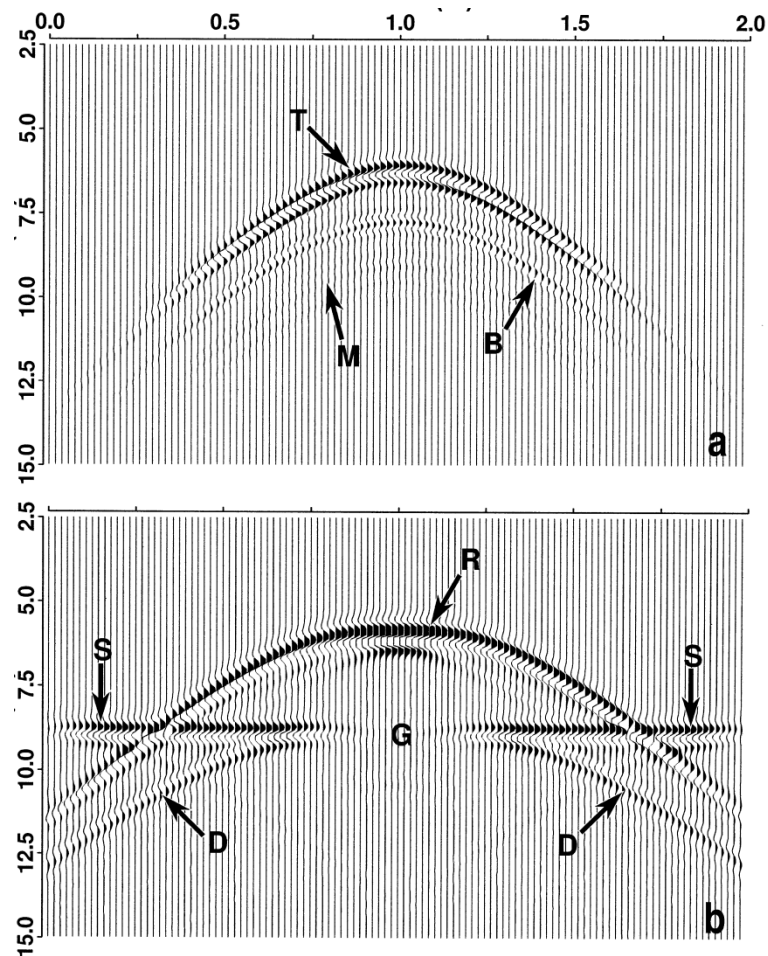
Adaptado de HAMMON III et al. 2000.

Figura 3.7 Radargramas transversais ao corpo.



Adaptado de HAMMON III et al. (2000) e corpo humano: Visiblebody (2010).

Figura 3.8 Investigação sobre crânio com 900 MHz. Radargrama para: (a) estágio avançado de decomposição do crânio e (b) variação na composição do solo na profundidade de 0,7 m.



Adaptado de HAMMON III et al. (2000)

- iii) A resposta GPR sobre um corpo é, portanto, esperado que seja predominantemente efeito da parte superior do contato solo/corpo.
- iv) Sepultamentos profundos ($\geq 0,8$ m) produzirão respostas que tendem a se alongar horizontalmente em relação a respostas rasas.
- v) Migração em profundidade dos dados de GPR revela informações sobre o número, a dimensão, a localização e a orientação de elementos do corpo.
- vi) A resolução exigida para o diagnóstico de partes de um alvo humano demanda, contudo, frequência de 900 MHz ou superior e um incremento entre estações de gravação de 10 cm ou menos. A atenuação do sinal, no entanto, torna-se um problema grave nessas frequências.
- vii) As frequências mais baixas podem ser necessárias para detectar corpos em solos úmidos e/ou ricos em argila. No entanto, frequências mais altas aumentam a resolução como já dito e

são mais adequadas para trabalhos em profundidades rasas, que são as profundidades mais comuns aos enterramentos criminosos ($\approx 0,5$ m).

Há, contudo, outros parâmetros que tornam a resposta mais complexa.

viii) Quando ocorre a decomposição, o radargrama mostrou reflexões no topo (T) e também na base (B) do crânio bem como múltiplas reflexões internas (M é a primeira reverberação múltipla interna). Nenhuma das modelagens para alvos frescos possuem reflexões basais porque os tecidos do corpo atenuam fortemente o sinal GPR.

ix) O radargrama esperado com a mudança na composição do solo mostra uma reflexão hiperbólica do alvo (R). A interface entre os dois solos gera uma reflexão planar (S); a descontinuidade (G) em (S) decorre da sombra na amplitude gerada pela atenuação no tórax. Após passar através do alvo, o sinal sofre atenuação que o coloca abaixo do limite de detecção. As caudas de difração (D) formadas em ambos os lados são um resultado da sombra no sinal, ao invés de descontinuidade no refletor.

Os resultados da simulação digital apresentados devem ser considerados apenas como um guia geral para a interpretação e como uma demonstração do potencial de aplicação do GPR que, via de regra, tem sido usado apenas para locação do alvo. Isso porque o corpo humano varia significativamente em morfologia ao longo seu eixo longitudinal; essa modelagem 2D ignorou esta variação. Por exemplo, uma imagem de radargrama do crânio de um ser humano normalmente também contém reflexões dos ombros, assim, os dados reais seriam mais complexos do que os dados sintéticos apresentados (HAMMON III et al., 2000).

Além dessa dificuldade na interpretação das anomalias nos radargramas, numa cena de crime existem outros fatores externos que devem ser levados em consideração no momento da interpretação das imagens geradas. As diferentes propriedades físicas do solo ao redor e a possível variação das propriedades elétricas, como resistividade, do cadáver durante o processo de decomposição podem dificultar sua localização.

Pesquisas utilizando os métodos geofísicos em alvos pré-estabelecidos são realizadas em diversos países; dentre esses métodos, o GPR tem se tornado uma ferramenta indispensável nos trabalhos de detecção e monitoramento de corpos de animais e seres humanos. O registro das anomalias nos diversos estágios de decomposição do cadáver e das alterações do solo ao redor, que vão desde os primeiros momentos de enterramento até a fase esquelética, é feito com a realização de perfis periódicos da área desses chamados campos de teste. Esse acompanhamento detalhado deve ser realizado em ambientes controlados, onde diversas situações de caráter Forense são simuladas para se obterem resultados confiáveis.

A utilização de cadáveres humanos em campos de testes é rara, sendo mais comum a utilização de suínos e cangurus enterrados em sítios controlados.

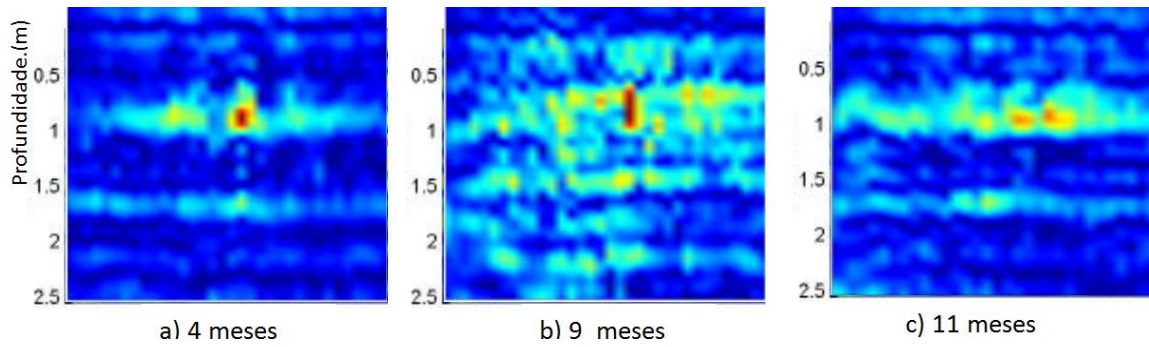
Com o apoio da Real Polícia Montada do Canadá foi testado o método GPR na província de British Columbia, na detecção de corpos enterrados ou escondidos. Os alvos consistiram de três carcaças de animais, simulando cadáveres de jovens e cadáveres de adultos. Os animais foram enterrados 5 anos antes do teste e a localização do enterramento era desconhecida para os operadores do equipamento. Os investigadores localizaram com êxito todos os três animais enterrados; assim, os métodos e técnicas utilizadas neste teste foram aplicados a outras cenas forenses (STRONGMAN, 1992).

Koppenjan et al. (2003), trabalhando com porcos enterrados na Flórida (USA), mostraram que o GPR detectou os corpos bem como seus esqueletos em solo arenoso (Figuras 3.9 e 3.10), enquanto em solo argiloso (Figuras 3.11 e 3.12), essa detecção, em especial dos corpos enterrados profundos pode ser problemática, mesmo nos primeiros momentos de decomposição. A argila reduz o contraste de propriedades elétricas com o cadáver. Com o tempo, a permissividade dielétrica do alvo torna-se bastante similar a do solo. Os distúrbios no solo acima do alvo podem ser detectados. O tamanho dos cadáveres não foi relevante, embora os sinais em profundidade dos porcos menores sejam menores. Neste trabalho os objetivos eram; determinar se o tamanho do cadáver de um porco é importante para a sua detecção, como também a profundidade de enterramento.

Em outro trabalho, o GPR foi utilizado no monitoramento do processo de putrefação de doze cadáveres de suínos, dispostos em diferentes profundidades em um campo de testes na Flórida (Figura 3.13) (SCHULTZ et al., 2006). Esse trabalho mostrou também que cadáveres enterrados na areia podem ser facilmente detectados com GPR, quando estão em estágios avançados de decomposição e quando estão completamente esqueletizados. Nos cadáveres que foram enterrados em camadas de argila, tornou-se cada vez mais difícil obter sua localização por imagem após o primeiro ano de enterramento, no entanto, a localização da sepultura é possível por causa dos distúrbios do solo nessa camada de argila e devido à atenuação da onda EM pelo cadáver.

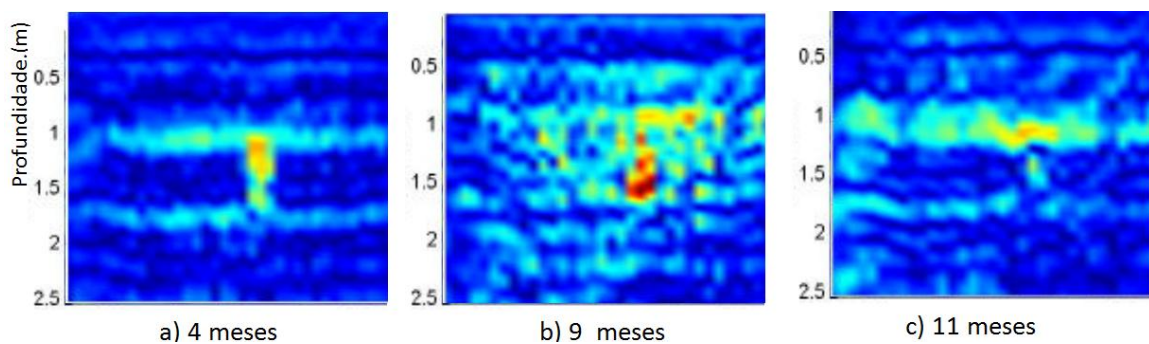
Passando-se para estudos envolvendo cadáveres humanos, destaca-se o de Freeland et al. (2003), no campus de Antropologia da Universidade do Tennessee, USA. Foram utilizados um equipamento GPR comercial, o SIR-20 com antenas de 400 MHz e 900 MHz da GSSI, e um equipamento desenvolvido pelo Departamento de Energia de multi-frequências, o STL FM-CW (frequência de variação 200–700 MHz) no monitoramento de cadáveres. A Figura 3.14 mostra resultados obtidos para corpo enterrado a uma profundidade de 60 cm coberto com 10 cm de concreto, onde se destacam nos radargramas (b) e (e) refletores horizontais acima do corpo e sombras de refletores abaixo do mesmo, como antecipado por Hammon et al. (2000). A antena de 900 MHz só conseguiu penetrar até cerca de 0,5 m.

Figura 3.9 Radargrama obtido após 4 meses. Porco pequeno, enterramento raso (50-60 cm) em solo arenoso.



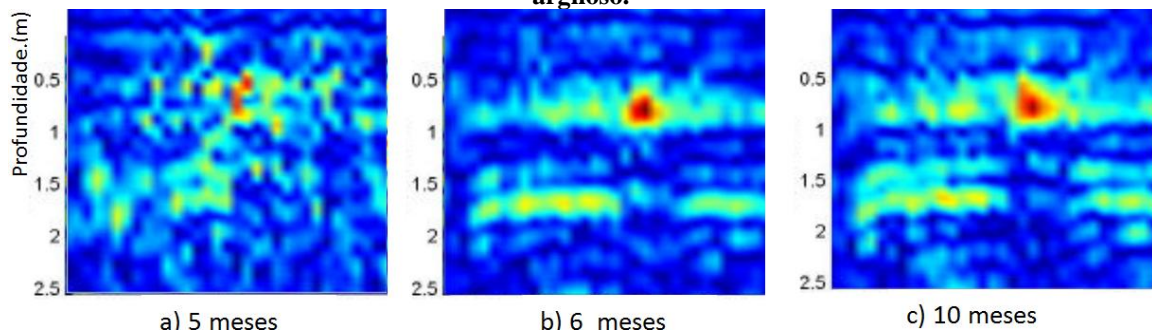
Adaptado de KOPPENJAN et al. (2003).

Figura 3.10 Radargrama obtido após 4 meses. Porco pequeno, enterramento fundo (100-110 cm) em solo arenoso.



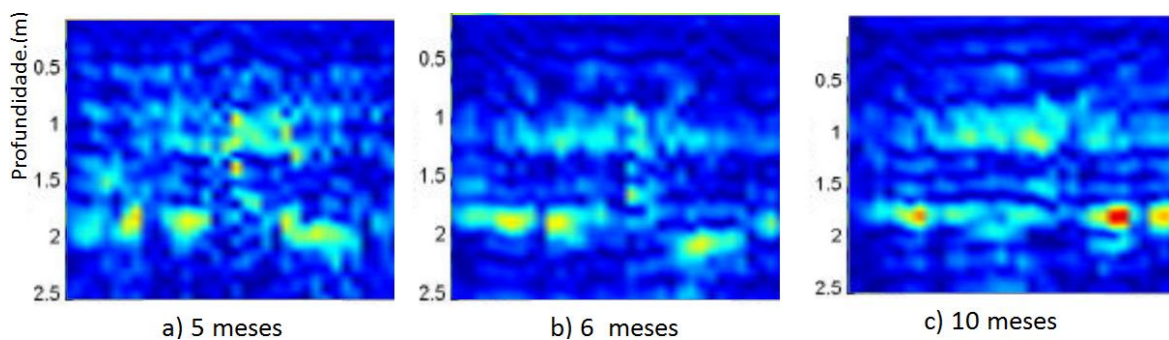
Adaptado de KOPPENJAN et al. (2003).

Figura 3.11 Radargrama obtido após 5 meses. Porco grande, enterramento raso (50-60 cm) em solo argiloso.



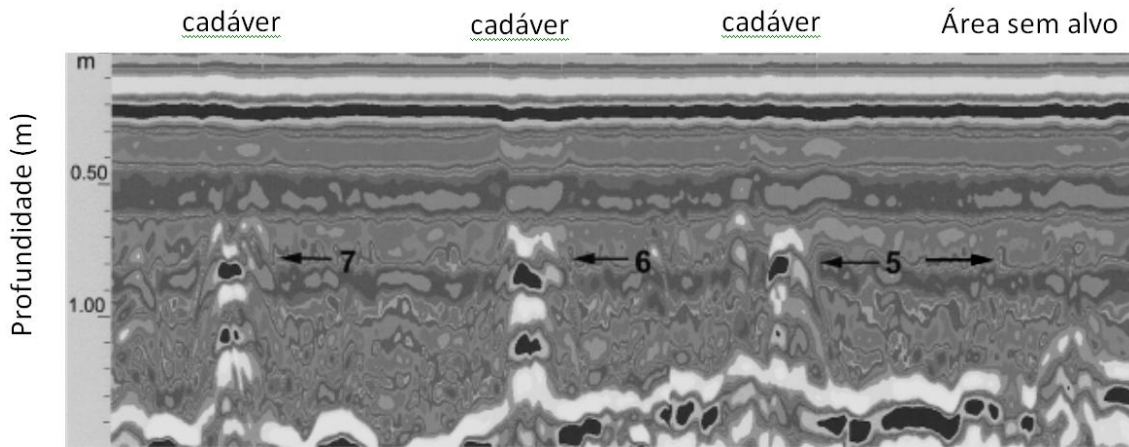
Adaptado de KOPPENJAN et al. (2003).

Figura 3.12 Radargrama obtido após 5 meses. Porco grande, enterramento profundo (100-110 cm) em solo argiloso.



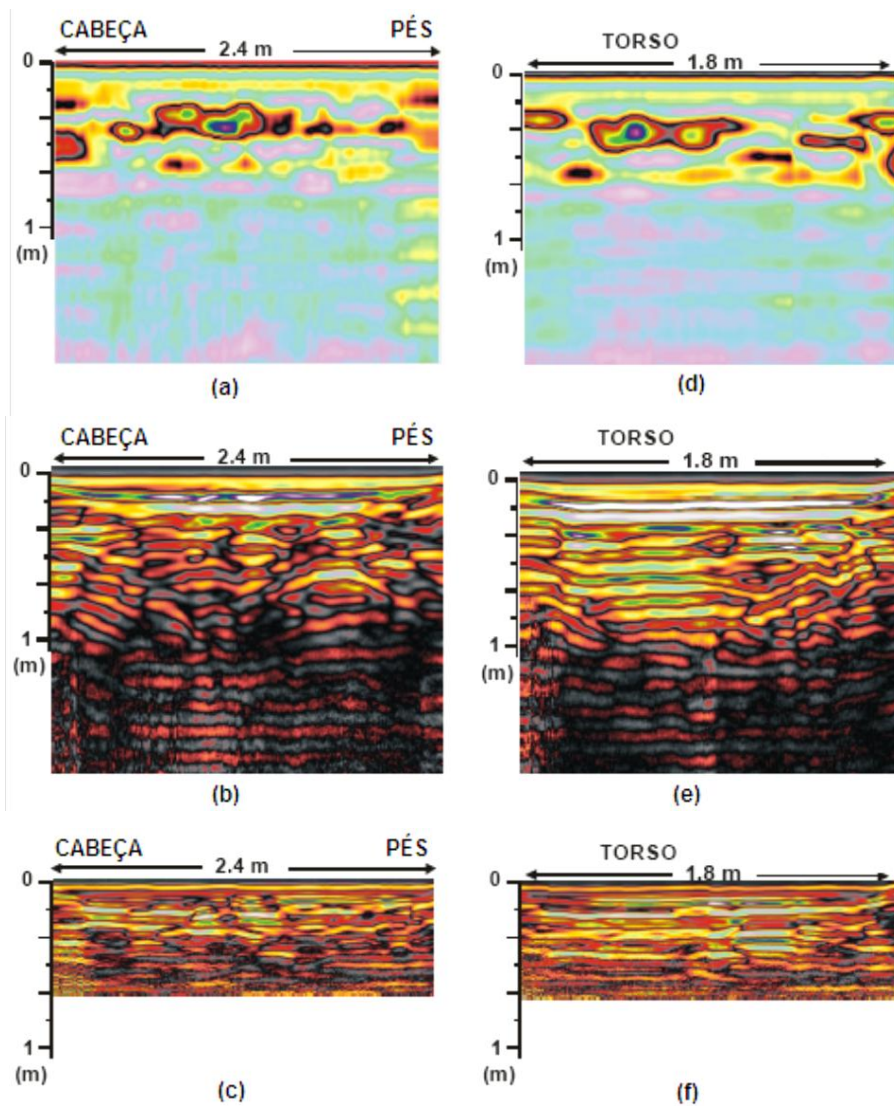
Adaptado de KOPPENJAN et al. (2003).

Figura 3.13 Radargrama com três cadáveres de suínos (5, 6 e 7), coletados após quatro meses, a profundidade de 1m.



Adaptado de SCHULTZ et al. (2006).

Figura 3.14 Radargramas obtidos com: (a) e (d) GPR FM-CW, (b) e (e) GPR SIR-20 antena de 400 MHz e (c) e (f) GPR SIR-20 antena de 900 MHz



Adaptado de FREELAND et al. (2003).

Na Austrália, no campus da Universidade de Adelaide Roseworthy, ao norte da região metropolitana de Adelaide, foi avaliada a eficácia de diferentes métodos geofísicos (radar de penetração no solo PulseEKKO 100 system 200 MHz, método de indução eletromagnética e eletrorresistividade) na detecção de restos de três cangurus, três porcos e um humano enterrados em covas rasas (profundidade entre 0,5 e 1,0 m). As anomalias causadas por porcos com oito meses de enterramento são mostradas com melhor definição usando o GPR quando comparadas aos túmulos dos cangurus com quatro anos, a despeito dos ossos destes serem muito maiores do que o dos anteriores (Figuras 3.15 e 3.16), o que levou à suposição que a aplicação do GPR pode ser eficaz apenas para um certo intervalo de tempo após o enterramento. A Eletorresistividade, por sua vez, também mostrou ser útil. (POWELL, 2004).

O sucesso das técnicas geofísicas para localizar um túmulo clandestino depende de alguns fatores: variações no tipo de solo e distribuição de material, conteúdo de água no solo, clima local, época, quantidade e fase de decomposição do cadáver (variando de incompleta à fase de esqueletização). A Geofísica Forense usada em ambientes urbanos é particularmente difícil de interpretar devido à natureza heterogênea desse meio, muitas vezes, nos locais de pesquisa (NUZZO et al., 2007).

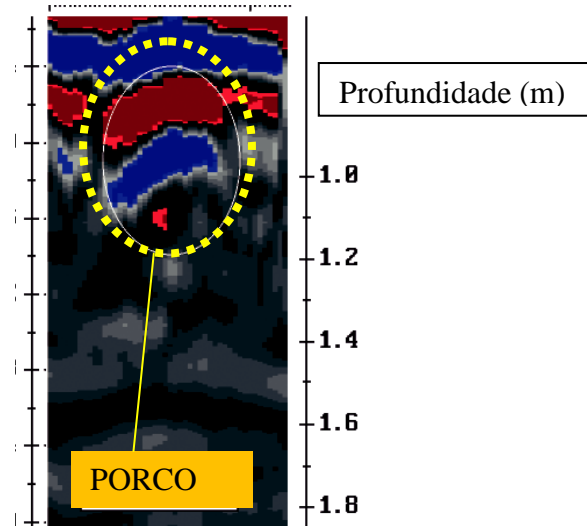
Para Dupras et al.(2006) há uma série de desvantagens que irá limitar ou impedir a utilização do GPR como uma ferramenta de busca. Em primeiro lugar, o equipamento é caro e requer um operador experiente para interpretar os dados. Além disso, a área de pesquisa deve ser nivelada, suave e aberta, com poucas árvores e deve ter relativamente poucos objetos de metal enterrados. Uma variedade de objetos enterrados pode produzir uma anomalia semelhante ao de um corpo enterrado ou uma sepultura. Por exemplo, se as anomalias são detectadas perto de uma grande árvore, as raízes da árvore podem encobrir o alvo. A Tabela 3.3 resume vantagens e desvantagens da utilização de GPR em contextos forenses.

Atualmente, o preço do equipamento já é relativamente atrativo e a operação cada vez mais simples. Além disso, há equipamentos que permitem realizar levantamento rápidos com velocidade relativamente elevada. Por outro lado, ainda que os resultados sejam vistos ainda durante o levantamento, em real time, a interpretação dos mesmos não raramente demanda processamento e correlações com outros dados que é feito no escritório demandando, pois, tempo maior.

No Brasil, pesquisas pioneiras em campo de testes envolvendo cadáver humano foram realizadas no cemitério do Tapanã, região metropolitana de Belém, por estudantes do curso de pós-graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará (UFPA). No Campo de Testes controlados para Geofísica Forense, Ambiental e de Resgate (FORAMB), dentro de uma área de 52 m², foram enterrados um cadáver humano cedido pelo IML, uma caixa de madeira oca

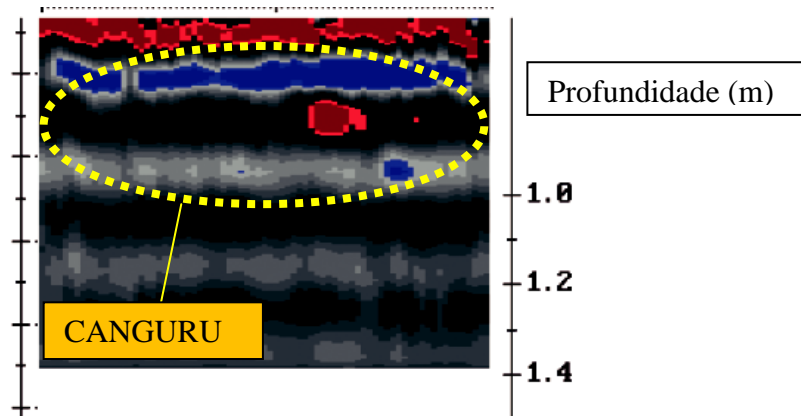
para simular um túnel e uma caixa menor com metais para simular armamentos. Os alvos são monitorados com métodos geofísicos diversos desde 2007(NASCIMENTO, 2009; CATETE, 2010). Alguns dos resultados serão vistos posteriormente.

Figura 3.15 Radargrama obtido sobre cadáver de um porco, oito meses após o enterro. Profundidade de 0,5 m



Adaptado de POWELL (2004).

Figura 3.16 Radargrama obtido sobre cadáver de canguru de 4 anos. Profundidade 0,75 m



Adaptado de POWELL (2004).

Tabela 3.3 Tabela de vantagens e desvantagens do uso do GPR para fins forenses

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Visualização em tempo real	Despesa de equipamentos
Resultados imediatos na área	Requer operador experiente
Excelente resolução	Topografia deve ser relativamente nivelada, lisa e aberta
Deteção de sepulturas e objetos metálicos ou não	Baixa penetração em solos saturados
Estimativa da profundidade em metas forenses	Levantamento com baixa velocidade
Penetração em concreto e asfalto	

Adaptado de DUPRAS et al 2006

4. INVESTIGAÇÃO NO CAMPO DE TESTES CONTROLADOS PARA GEOFÍSICA FORENSE, AMBIENTAL E DE RESGATE (FORAMB)

4.1 DESCRIÇÃO

O cemitério do Tapanã, em Belém, possui cerca de 10 hectares e cerca de 24 mil sepulturas no que teria sido chamada fase inicial do cemitério (Figura 4.1). Apesar das sepulturas rotativas, o cemitério apresenta superlotação (seriam cerca do dobro de sepulturas), agravada pela impossibilidade da exumação dentro do prazo legal de 5 anos, em consequência da saponificação (preservação cadavérica).

O primeiro trabalho geofísico realizado na área mostrou que a porção mais a leste daquele cemitério é inadequada ao sepultamento (DAMASCENO, 2001), o que tem sido respeitado pela Prefeitura Municipal de Belém, apesar da superlotação do cemitério, um problema crônico.

As áreas pesquisadas neste trabalho no Cemitério do Tapanã, FORAMB (alvo deste capítulo) e zonas de sepultamento (capítulo 5), são mostradas pelas imagens de satélite apresentada na Figura 4.1 e, em detalhe, na Figura 4.2.

Com 4x13 m² centrais, a área de testes do FORAMB oferece um espaço único, no Brasil, para pesquisas científicas e estudos que podem abordar diversas áreas de interesse da Geofísica, como a Ambiental, Forense, de Resgate e, ainda, a Geofísica Antropológica (NASCI-MENTO, 2009). Outra contribuição de grande relevância para a Geofísica é a oferta de um novo espaço de treinamento e aulas práticas com métodos geofísicos diversos (SILVA et al. 2008).

A área selecionada para o campo de testes (Figura 4.3) tem subsolo argiloso e está há um desnível de aproximadamente 7 m da parte mais alta do cemitério. O solo argiloso e bastante encharcado em certos períodos do ano, devido às chuvas, representa um fator que pode dificultar a visualização dos alvos (Figura 4.4) na subsuperfície por meio do GPR, no entanto, neste trabalho não inviabilizou a aplicação deste método e permitiu trabalhar de acordo com as condições encontradas no ambiente amazônico.

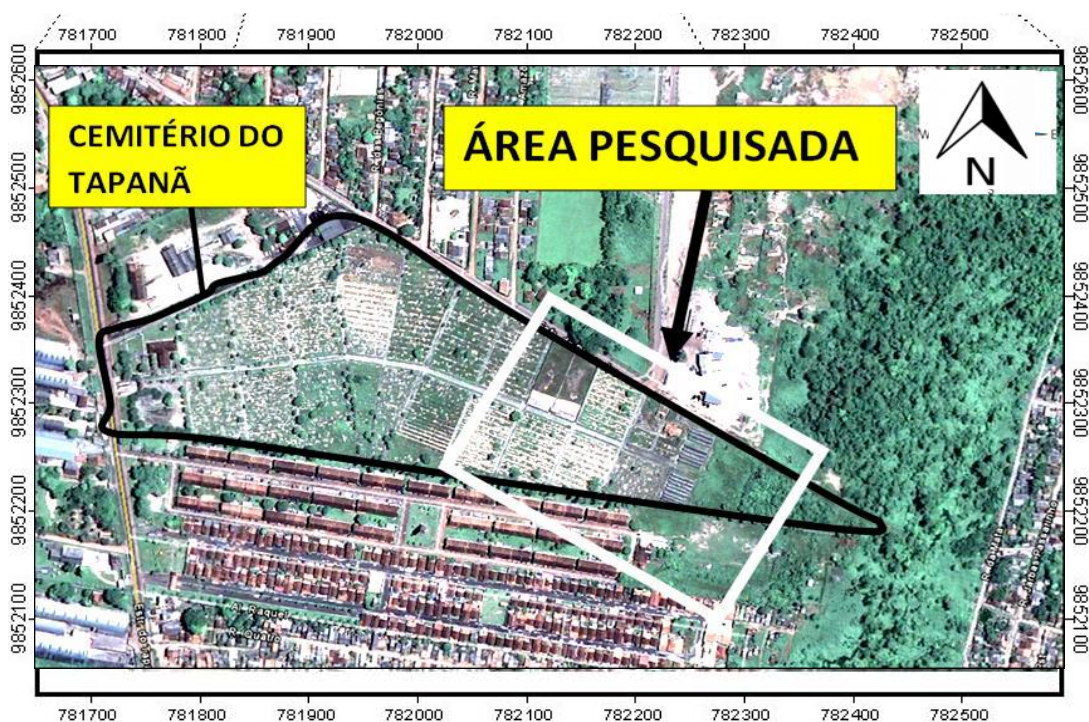
O FORAMB possui três alvos: um cadáver, um simulado de túnel e um simulado de caixa com armamentos mostrados em detalhe na figura 4.5.

O cadáver de 55 kg de massa e 1,60 m de altura foi enterrado no dia 5 de outubro de 2007 em uma cova de 0,8 m de profundidade e 0,60 m de largura, localizada entre as posições 3,8 m e 4,4 m do perfil. Profundidade de sepultamento rasa, como já foi anteriormente men-

cionado, é o comum em alvos forenses. O cadáver foi disposto em um saco plástico aberto. O túnel foi simulado por uma caixa oca de madeira com 0,5 m x 0,5 m x 2,2 m (largura x altura x comprimento), que foi enterrada em uma cova de 1 m de profundidade entre as posições 7,5 m e 8,0 m do perfil. A caixa com metais possui ferros retorcidos amarrados e separados simulando três tipos de armamentos: granada de massa igual a 540 g, pistola com massa de 1300 g e fuzil de massa igual a 4100 g. As dimensões da caixa são: 0,80 m de comprimento, 0,30 m de largura e 0,45 m de altura. A fenda onde a caixa foi depositada tem 0,8 m de profundidade e está localizada no perfil entre as posições 11,9 m e 12,2 m.

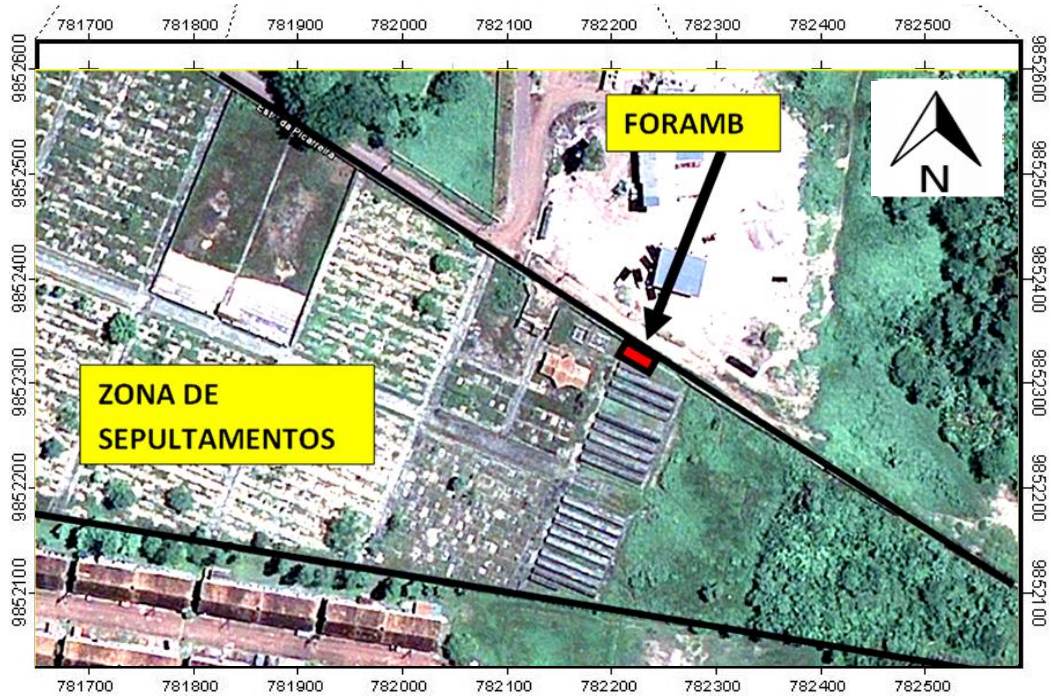
Além desses alvos, ocorre um artefato anterior ao enterramento dos alvos estudados, em torno de 1,1 m de comprimento do perfil, a cerca de 0,50 m de profundidade, que serve de referência.

Figura 4.1 Localização do cemitério do Tapanã e área pesquisada, em Belém.



Adaptado de Nascimento, 2009.

Figura 4.2 Localização do FORAMB na área pesquisada.



Adaptado de Nascimento, 2009.

Figura 4.3 Área do FORAMB no cemitério do Tapanã.

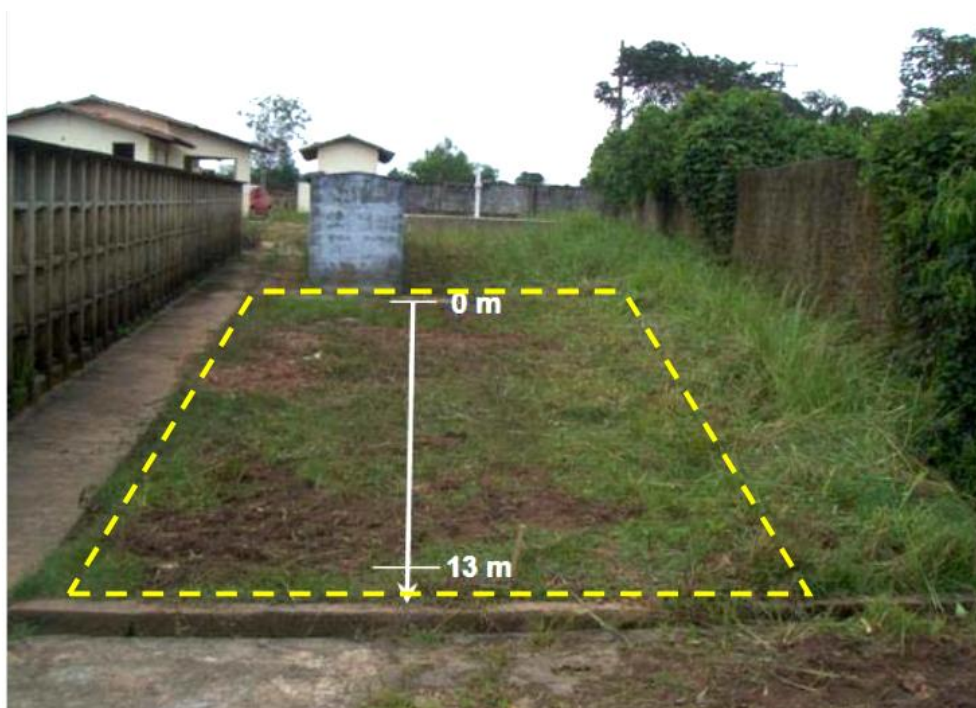


Figura 4.4 Ilustração conceitual da disposição dos alvos na área do campo de testes (FORAMB).

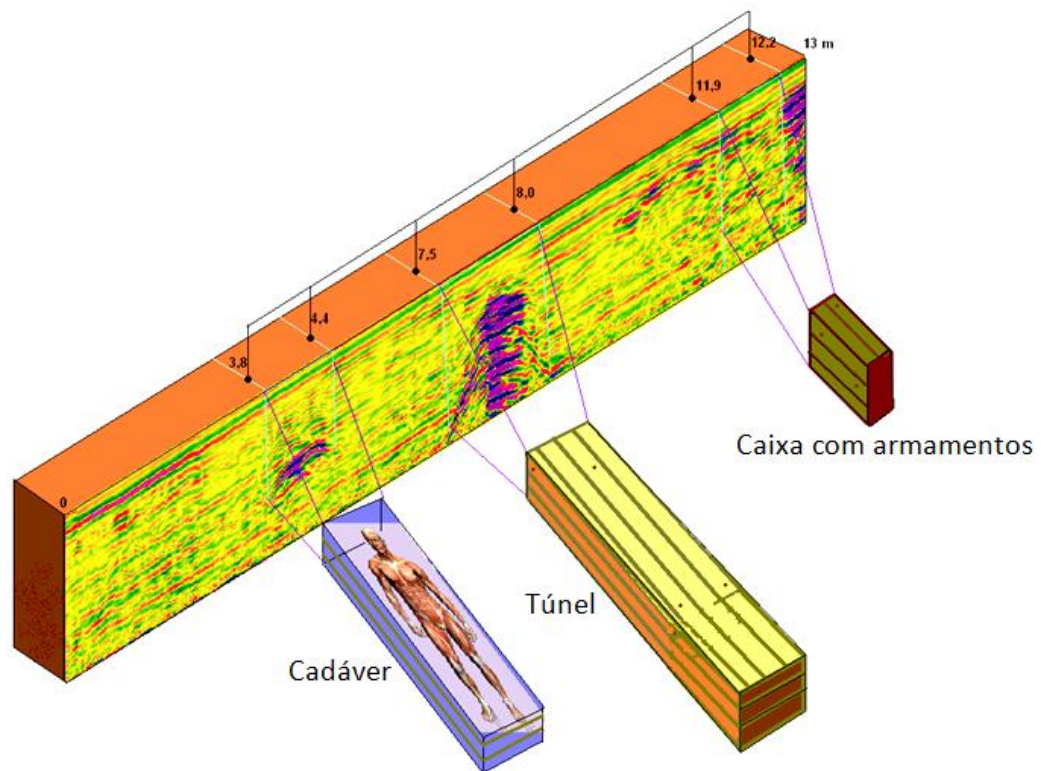
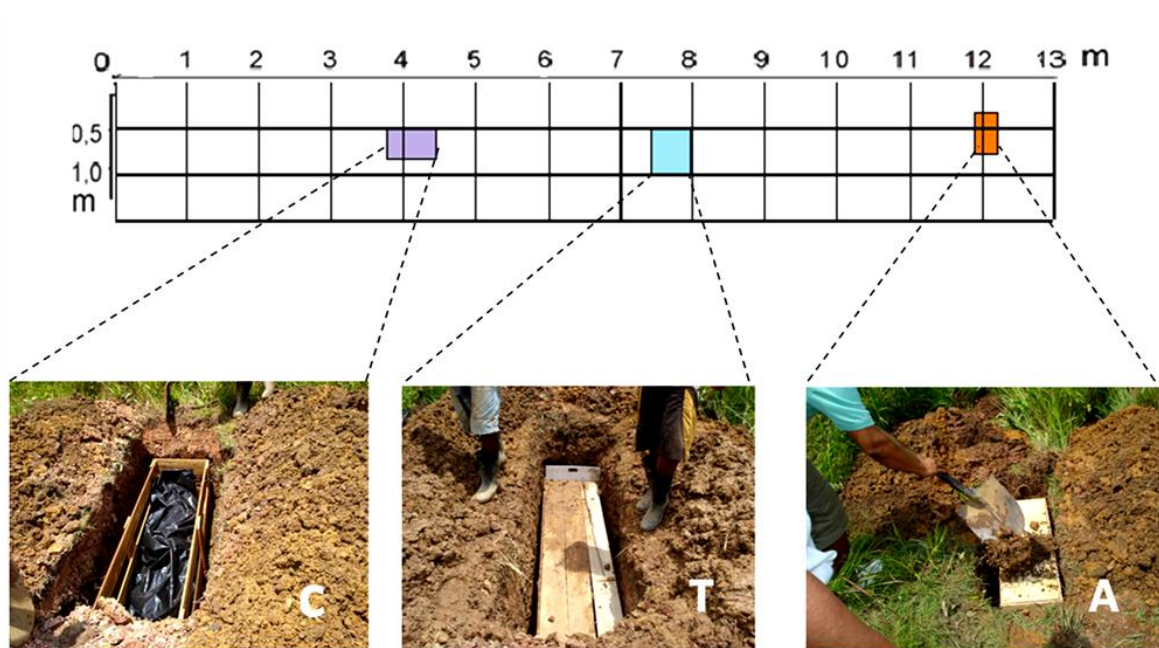


Figura 4.5 Localização dos alvos na área do FORAMB. As letras C, T e A indicam o cadáver, o túnel e a caixa de armamentos, respectivamente.



Adaptado de NASCIMENTO, 2009.

4.2 TRABALHOS DE GEOFÍSICA ANTERIORES

No primeiro trabalho geofísico realizado no FORAMB foram feitos levantamentos com dois métodos de prospecção: o radar e o Slingram (método eletromagnético indutivo), na sua versão para baixo número de indução (LIN). O primeiro (Figura 4.6 B) foi realizado com equipamento GPR SIR-3000 da *Geophysical Survey Systems, Inc.* (GSSI) com uma antena biestática blindada de 400 MHz (Modelo 5103). O monitoramento foi mensal e os levantamentos foram todos realizados por meio do *afastamento comum*, no modo tempo, e com marcações a cada 2 m (NASCIMENTO, 2009).

Na aplicação do Slingram (Figura 4.6 A), o equipamento utilizado foi o EM34-3, com cabo de referência de 10 m e medições a cada 1 m. Os resultados obtidos com o Slingram não foram conclusivos devido a pouca profundidade dos alvos em relação à profundidade de investigação, maior, do modelo de equipamento disponível. A metodologia geofísica foi aplicada inicialmente em julho de 2007, antes do enterramento dos alvos no sítio controlado; em 5 de outubro de 2007, os alvos foram enterrados e vários levantamentos geofísicos realizados repetidamente entre outubro de 2007 e março de 2008.

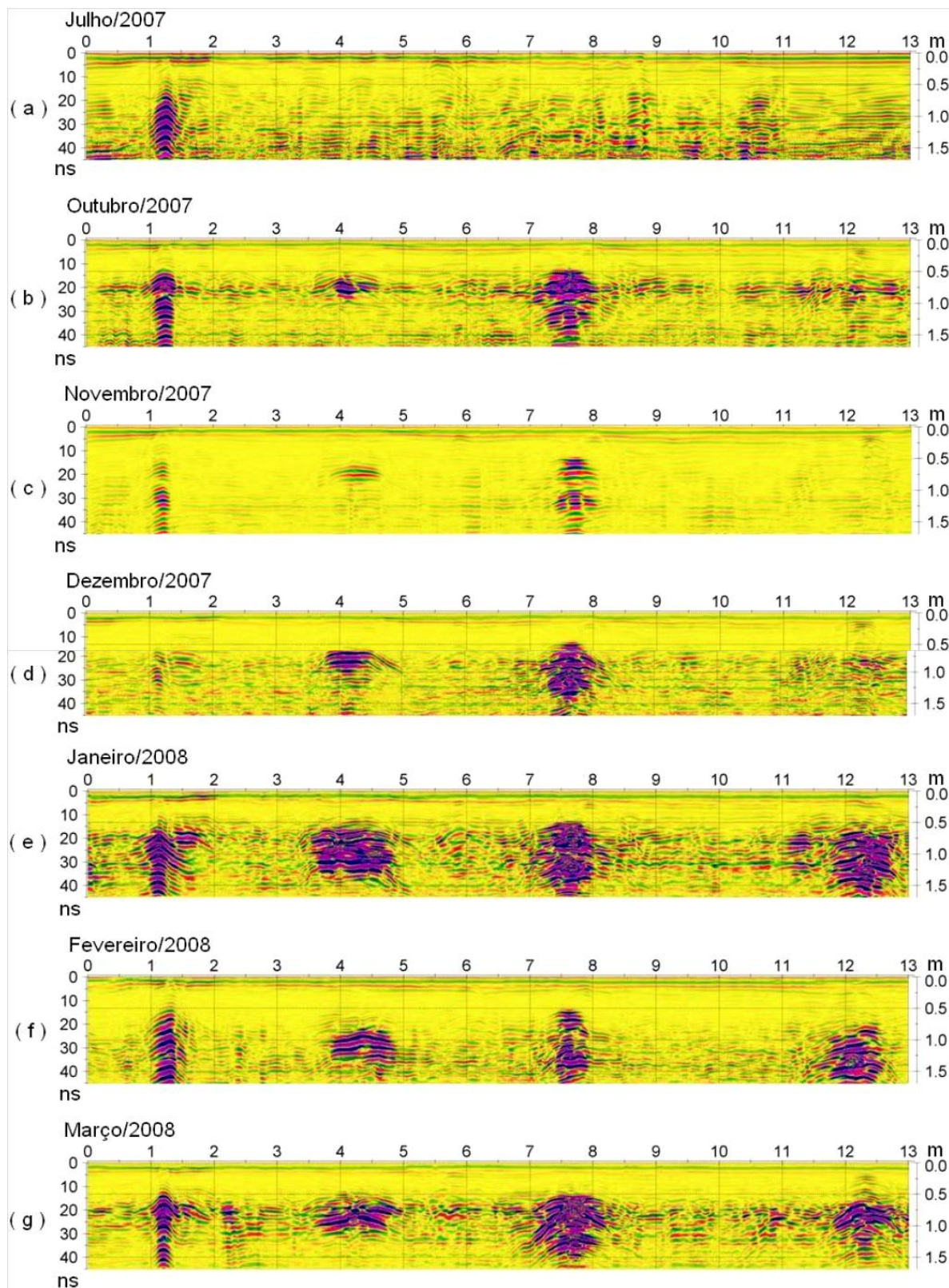
Resultados do GPR são apresentados na Figura 4.7. O GPR localiza bem cadáveres e túneis em condições amazônicas, ou seja, a despeito do solo rico em argila e umidade, logo de baixa resistividade elétrica. A caixa de armaria não foi detectada nos primeiros meses dos trabalhos, mas, começando as chuvas, passou a fornecer sinal claro, que permite a sua localização (NASCIMENTO, 2009).

Figura 4.6 (A) Levantamento com o LIN EM34-3 e (B) Levantamento com o GPR



Adaptado de NASCIMENTO, 2009.

Figura 4.7 Radargramas processados obtidos (a) antes da colocação dos três alvos e (b) a (g) após o enterramento dos alvos. Da esquerda para a direita, na posição 1,15 m aparece um sinal de referência, cadáver entre 3,8 e 4,4 m, simulado de túnel entre 7,5 e 8 m e simulado de caixa de armas entre 11,9 e 12,2 m.



Adaptado de NASCIMENTO, 2009.

No aspecto Ambiental, a umidade e a presença de argila, independente da profundidade do nível hidrostático, provocam a saponificação que retarda o processo de putrefação e prolongam a contaminação no cemitério. Para Nascimento (2009), na Amazônia, o tempo de exumação deve ser urgentemente revisto, pois, não leva em consideração as condições amazônicas que, por sua vez, mostram claramente que a Amazônia tem vocação para crematórios.

No campo de testes do FORAMB, apesar das condições adversas do meio, foi possível obter dados de radar com alta resolução na área pesquisada, demonstrando a viabilidade da técnica de radar de penetração no solo, em aplicações forenses, na região Amazônica.

No período de 2007 a 2008, foi realizado um estudo no FORAMB com Polarização Induzida e Eletroresistividade. O levantamento de IP/Resistividade foi realizado com um Imageador modelo IRPI-1000 da GEOTEST de 1kw e 20 canais. Foram utilizados 20 eletrodos de cobre espaçados de 0,7 m ao longo dos 13 m do perfil com 7 níveis investigação. O arranjo utilizado no levantamento foi Wenner-Schlumberger. Os dados de IP e eletroresistividade (Figura 4.8) evidenciaram a presença do corpo e do túnel; o levantamento não passou sobre o armamento. Segundo Catete (2010) pode-se afirmar que com esses métodos, em especial a Eletroresistividade, podem ser obtidos resultados de interesse da Geofísica Forense no ambiente amazônico.

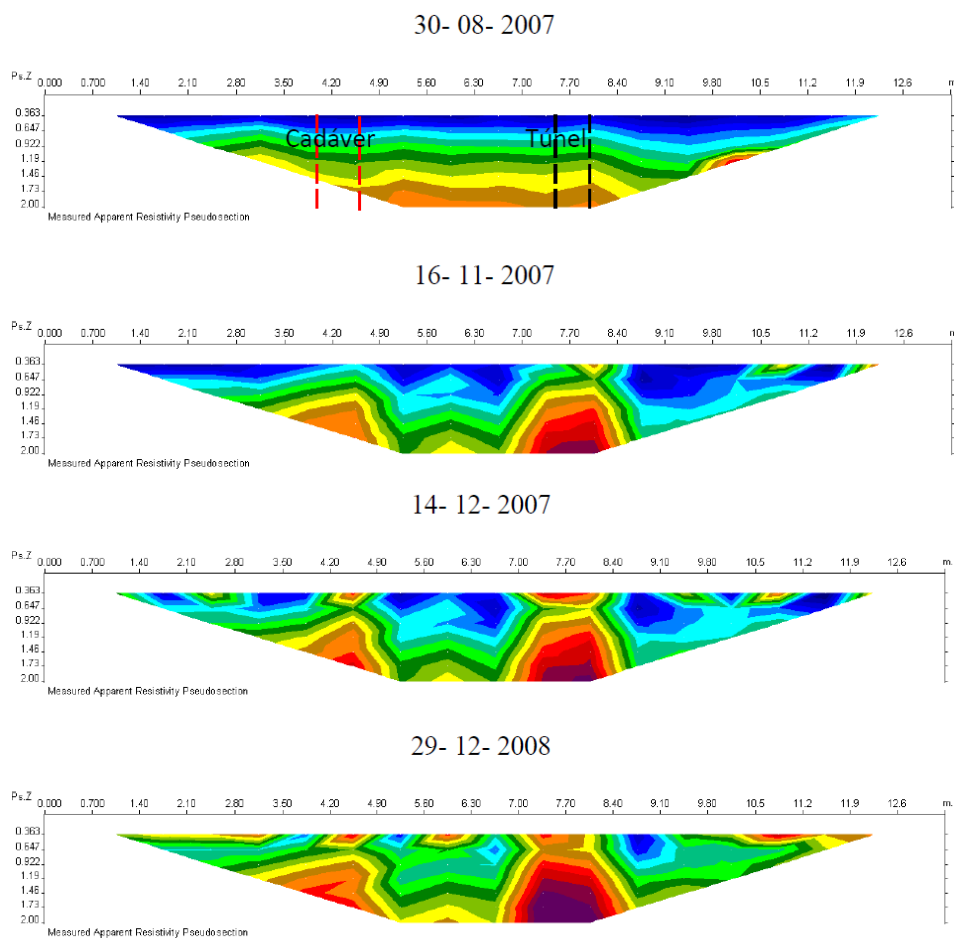
Esses trabalhos, iniciados em julho de 2007, trazem informações importantes, dada a riqueza de detalhes nos procedimentos adotados, para o desenvolvimento de novas pesquisas na área.

4.3 TRABALHOS DESENVOLVIDOS NESTA PESQUISA

A continuidade dos estudos no FORAMB permitiu o monitoramento das anomalias produzidas pelo cadáver ao longo do processo de decomposição, considerando o clima de nossa região, com solo úmido e rico em argila. O interesse é tanto do âmbito Forense quanto do âmbito da Geofísica de Resgate bem como da Geofísica Ambiental. Nesta dissertação optou-se por fazer esse estudo com uma única metodologia Geofísica, o GPR, otimizando a apresentação dos dados adquiridos para facilitar a interpretações dos resultados.

Primeiramente, contudo, foi realizado um levantamento para a determinação de velocidade.

Figura 4.8 Pseudo-seções de resistividade aparente medida. Cadáver: entre 3,8 e 4,4 m. Simulado de túnel: entre 7,5 e 8 m. Simulado de caixa de armas, entre 11,9 e 12,2 m, não foi pega pelo arranjo



4.3.1 Determinação de velocidade

Para a obtenção da velocidade da onda eletromagnética no meio, foi enterrada uma “cabeça” de machado, objeto maciço de metal com 10 cm de comprimento a 30 cm de profundidade próximo da área estudada (Figura 4.9). Sobre este objeto foi efetuado um pequeno perfil de GPR com a antena de 400 MHz (Figura 4.10); conhecendo-se a profundidade real do mesmo, bem como o evento hiperbólico relacionado, obteve-se a velocidade propagação da onda eletromagnética no meio usando-se a equação $v = 2h/t$, sendo h a profundidade do alvo, e t o tempo duplo de trânsito da onda eletromagnética no meio. A velocidade obtida foi de 0,075 m/ns, utilizada na conversão dos dados de tempo para profundidade.

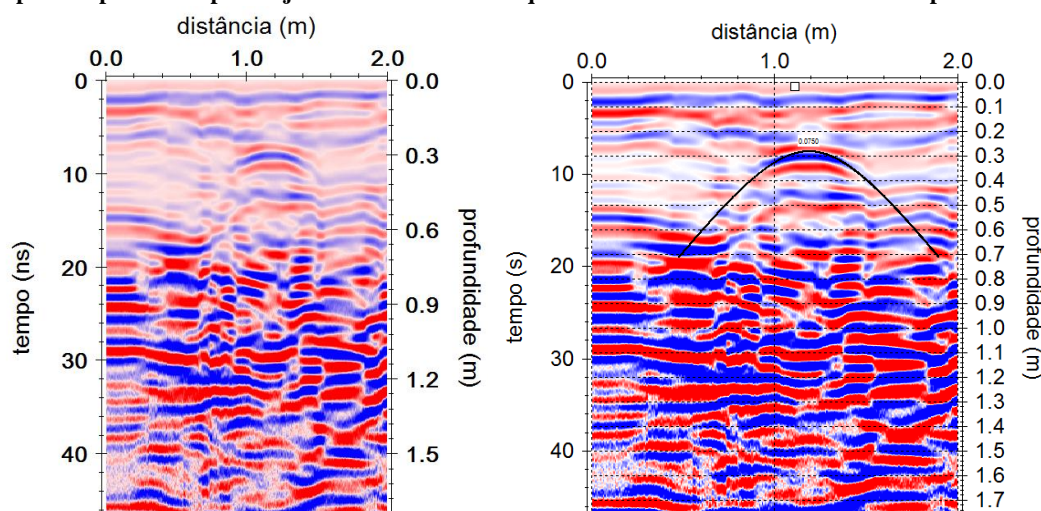
No FORAMB, apesar de ser conhecida a localização e profundidade dos alvos no subsolo, o teste de velocidade realizado serviu para confirmar medidas obtidas em trabalhos anteriores nesse campo de testes. Este tipo de teste é recomendado para prospecções a baixa pro-

fundidade, onde as variações nas propriedades físicas do meio podem ser consideradas pequenas.

Figura 4.9 (A) Objeto metálico de 10 cm de comprimento (“cabeça” de machado).
(B) Medida da profundidade (30 cm) de seu enterramento para o teste de velocidade no FORAMB.



Figura 4.10 Radargrama obtido com o teste de velocidade no FORAMB com antena de 400 MHz, mostrando a hiperbole produzida pelo objeto enterrado. Lado esquerdo: Processado. Lado direito: Interpretado.



4.3.2 Levantamento de dados

O levantamento foi realizado no dia 30 de março de 2010, quase três anos após o enterramento dos alvos, com o mesmo equipamento anteriormente utilizado (GPR SIR-3000 da GSSI, Modelo 5103), com uma antena biestática blindada de 400 MHz e janela temporal de 50 ns. A posição das estações foi registrada manualmente a cada 1 m.

Na área investigada de 4m x 13m, foram realizados 17 perfis espaçados de 0,25 m (Figura 4.11). O registro começou cerca de 0,25 m após os registros realizados nos trabalhos com GPR anteriores.

Figura 4.11 (A) Aquisição de dados GPR com antena biestática blindada de 400 MHz e (B) Espaçamento entre linhas de 0,25 m.



4.3.3 Processamento e interpretação de dados

Os dados foram processados com o software ReflexW, versão 5.0 (SANDMEIER, 2009). Inicialmente foi realizada a conversão de formato do arquivo. No pré-processamento, foi feita interpolação de marcas, markerinterpol e o ajuste do tempo zero (static correction). Foram também aplicados filtros temporais e ganho, na sequência: dewow (subtract-mean), aplicado ganho (*energy decay*), removido o background (background removal), usado filtro passa-banda (bandpassfrequency), migração em tempo (*fk migration – Stolt*) e conversão do tempo em profundidade, usando-se a velocidade encontrada de 0,075 m/ns (4.3.1).

Com a janela temporal de 50 ns utilizada no levantamento de campo, foi possível investigar até a profundidade aproximada de 1,6 m, usando-se a velocidade de 0,075 m/ns.

4.3.3.1 Visualização 2D

Um dos radargramas obtidos é mostrado na Figura 4.12 e em detalhe com o alvo relacionado nas Figuras 4.13, 4.14 e 4.15..

O cadáver, cerca de 3 anos após o enterramento, apresenta sinal visível a 0,8 m de profundidade. Devido ao longo tempo de enterramento e clima da região, a estrutura de madeira pode já ter sofrido alguma decomposição e o túnel sofrido desmoronamentos, mas, mesmo assim, o simulado de túnel mostra-se bem definida nos radargramas.

A caixa com metais, simulando armamentos enterrados, por sua vez, mostrou-se pouco perceptível no radargrama. No levantamento GPR realizado em novembro e dezembro de 2007, a caixa de armamentos permaneceu sem sinal e não foi possível destacá-la dos demais alvos (NASCIMENTO, 2009). O enriquecimento em argila, até ali trazido como aterro, devido a sua alta permeabilidade, reteria água das chuvas que começaram neste período, sendo responsável pela atenuação do sinal (op. cit.).

O valor da frequência da antena escolhido para esta aquisição é coerente com a proposta do trabalho, que é de investigar anomalias causadas por objetos e corpos enterrados a poucos metros de profundidade. A visualização dos alvos do campo de testes foi bem sucedida, apesar dessa área do cemitério do Tapanã sofrer constantes alagamentos durante o ano, devido a sua topografia. Na ocasião em que foram levantados os dados deste trabalho, a área tinha excesso de umidade no solo, próximo a caixa de armamentos.

Figura 4.12 Radargrama da área do FORAMB: A) Processado e B) Interpretado.
C: corpo. T: túnel. A: caixa com armas.

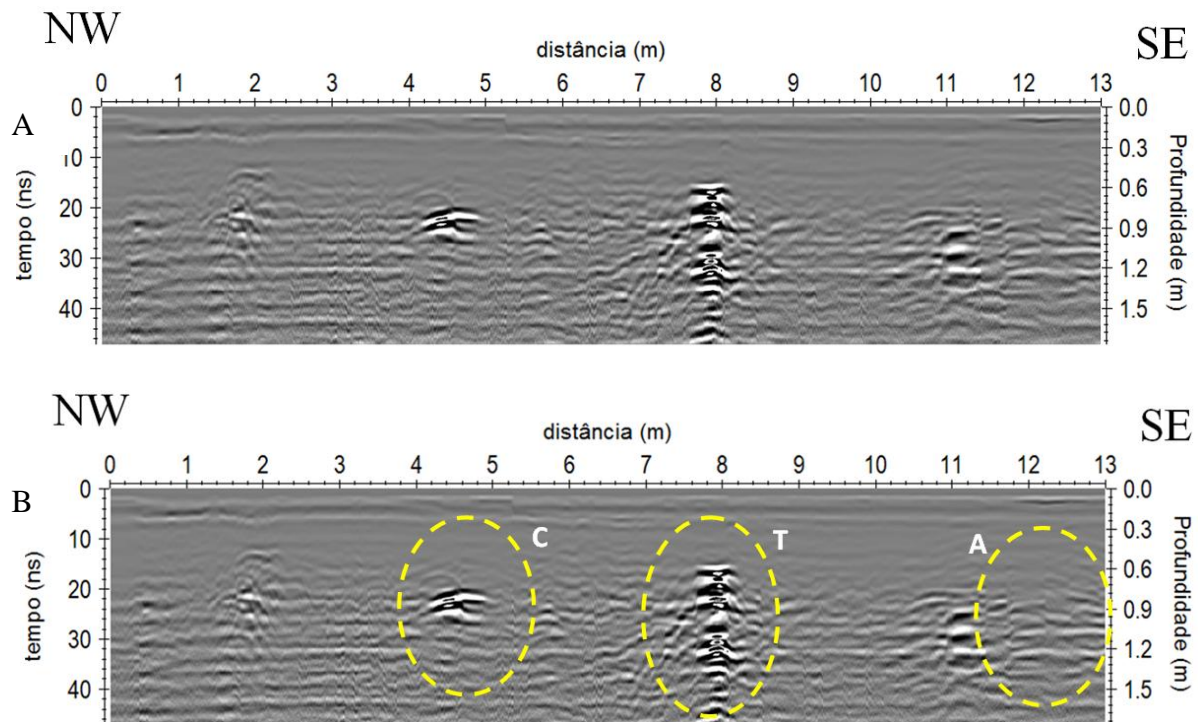


Figura 4.13 Radargrama do cadáver (FORAMB) com antena de 400 Mhz, realizada em 30/07/2010.

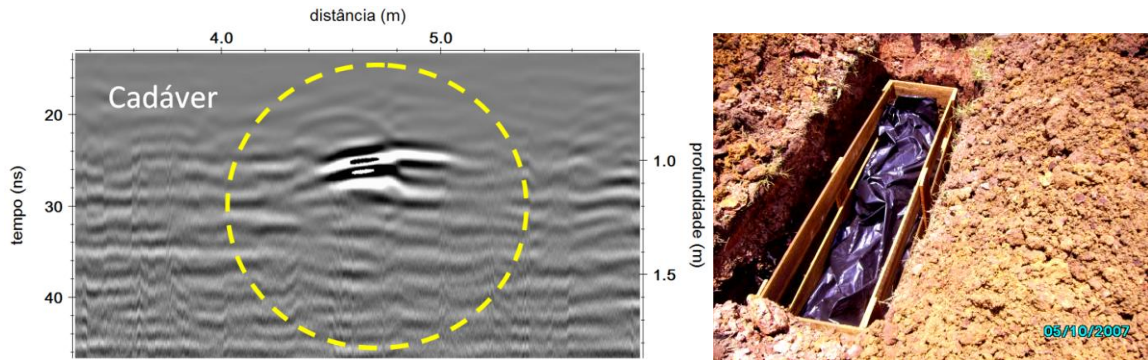


Figura 4.14 Radargrama do túnel (FORAMB) com antena de 400Mhz, realizada em 30/07/2010.

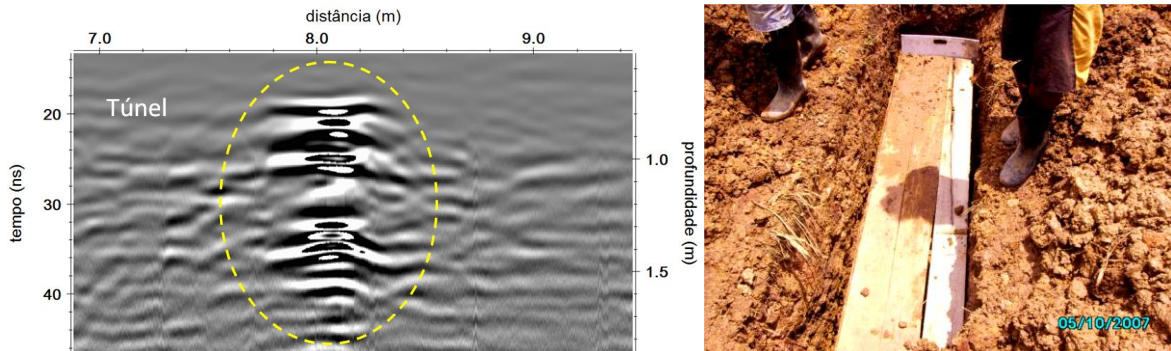
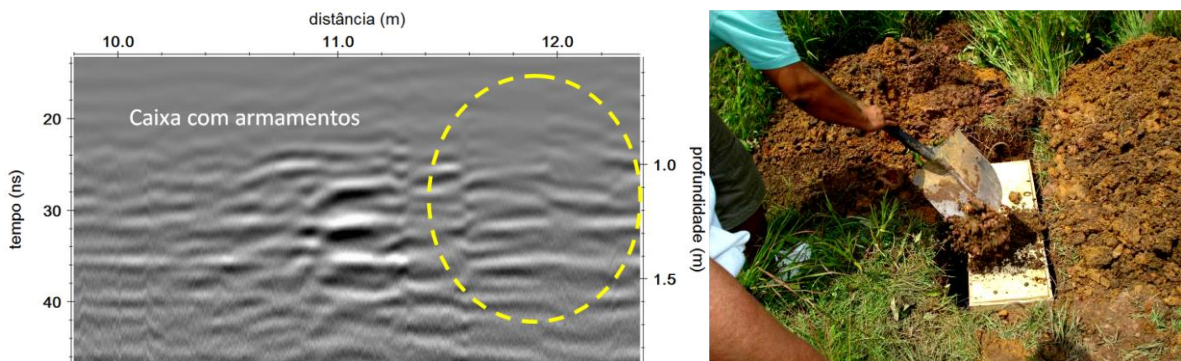


Figura 4.15 Radargrama da caixa com armamentos, pouco visível (FORAMB), aquisição realizada em 30/07/2010.



4.3.3.2 Visualização 3D

A reunião dos radargramas permitiu construir o bloco 3D mostrado na Figura 4.16 e na Figura 4.17, nesta última com seção à profundidade de 1,2 m (Figura 4.17A) e detalhe de corte à profundidade de 0,86 m (Figura 4.17B). Percebe-se na figura 4.17 B as dimensões dos alvos dentro da área: o cadáver possui 1,60 m de comprimento e o túnel, 2,20 m.

Figura 4.16 Visualização em volume (cubo 3D) dos resultados da interpolação de perfis GPR, da área do FORAMB onde estão os alvos.

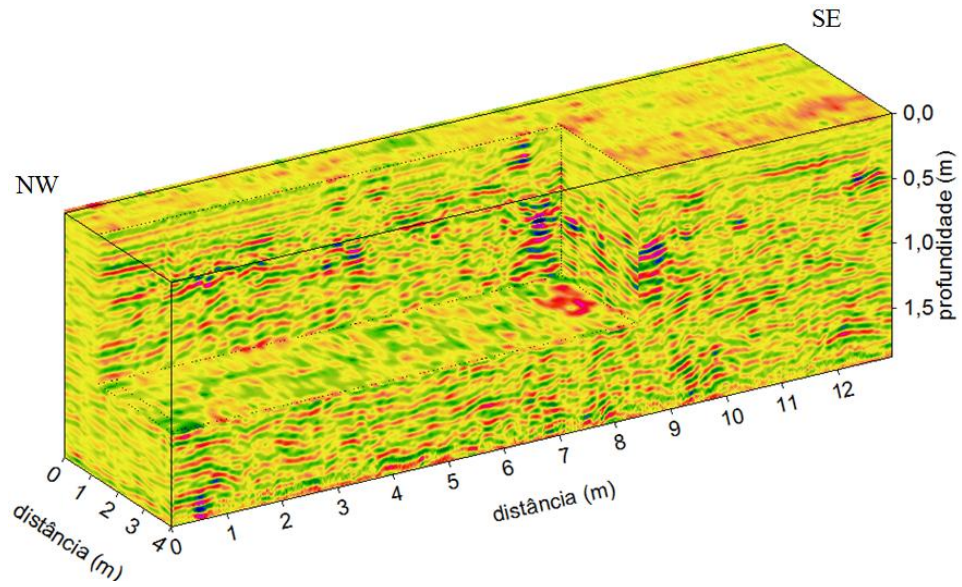
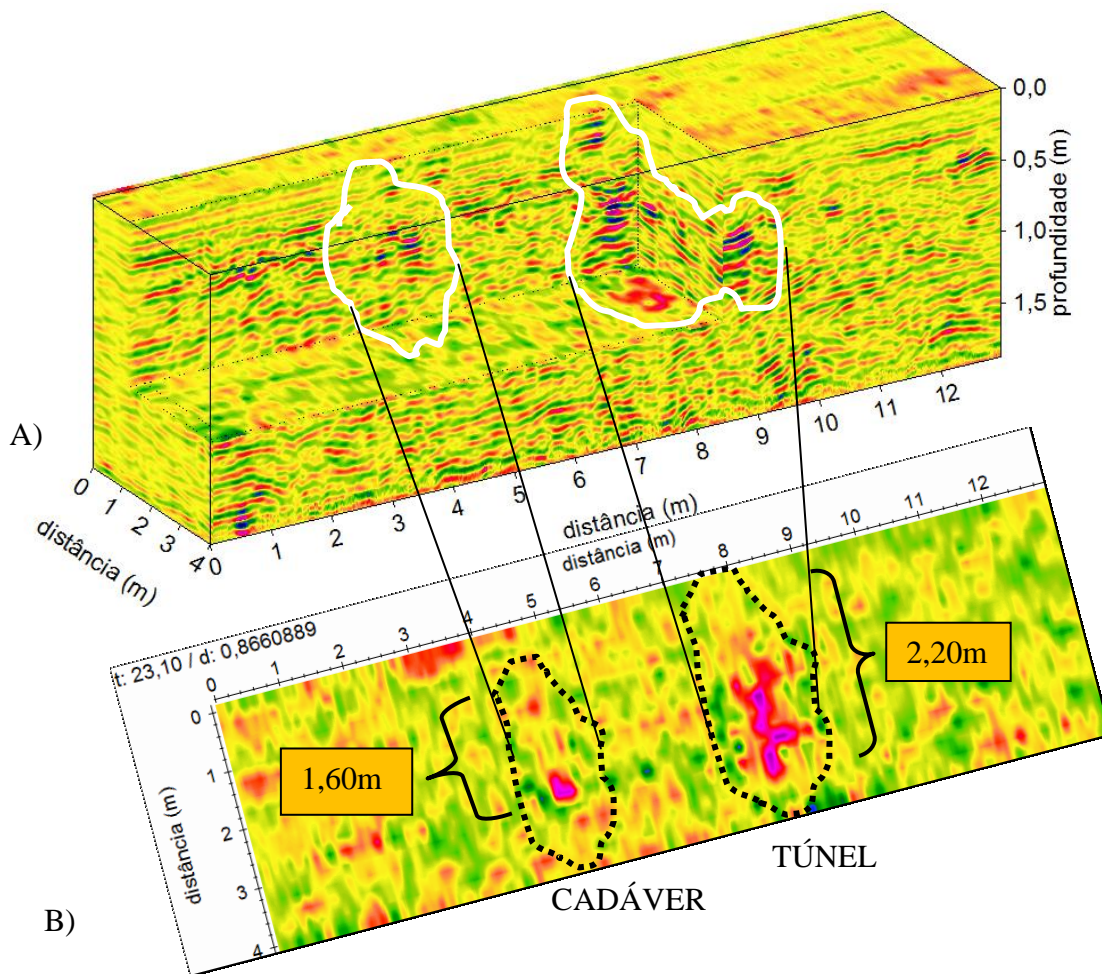


Figura 4.17 Detalhe das anomalias causadas pelo cadáver e o túnel na área do FORAMB (A) bloco 3D de dados GPR com um corte de 1,2 m de profundidade e na figura (B) corte em profundidade de 0,86 m.



Os cortes do bloco 3D a cada 10 cm de profundidade, no modo de visualização da amplitude instantânea ou envoltória (envelope) dos traços, que possibilita uma melhor visualização e reconstrução da imagem (BORGES, 2007), são mostrados nas Figuras 4.18, 4.19 e 4.20. A interpretação para cada um desses cortes é dada na Tabela 4.1.

Nas Figuras 4.21, os dados 3D são mostrados fatiados verticalmente na abscissa 2,75 m.

Nas Figuras 4.22A, os dados 3D estão representados com a opção de sombreamento (shading) ativada, que possibilita olhar através de certas partes do volume de dados 3D (SANDMEIER, 2006). Na Figura 4.22B, os resultados do sombreamento são correlacionados com os do radargrama. Essa visualização alternativa mostrou-se especialmente útil para o simulado de túnel.

Finalmente, a Figura 4.23 mostra uma outra opção de sombreamento.

Figura 4.18 Visualização de blocos de laterita na área do FORAMB até 0,20m de profundidade

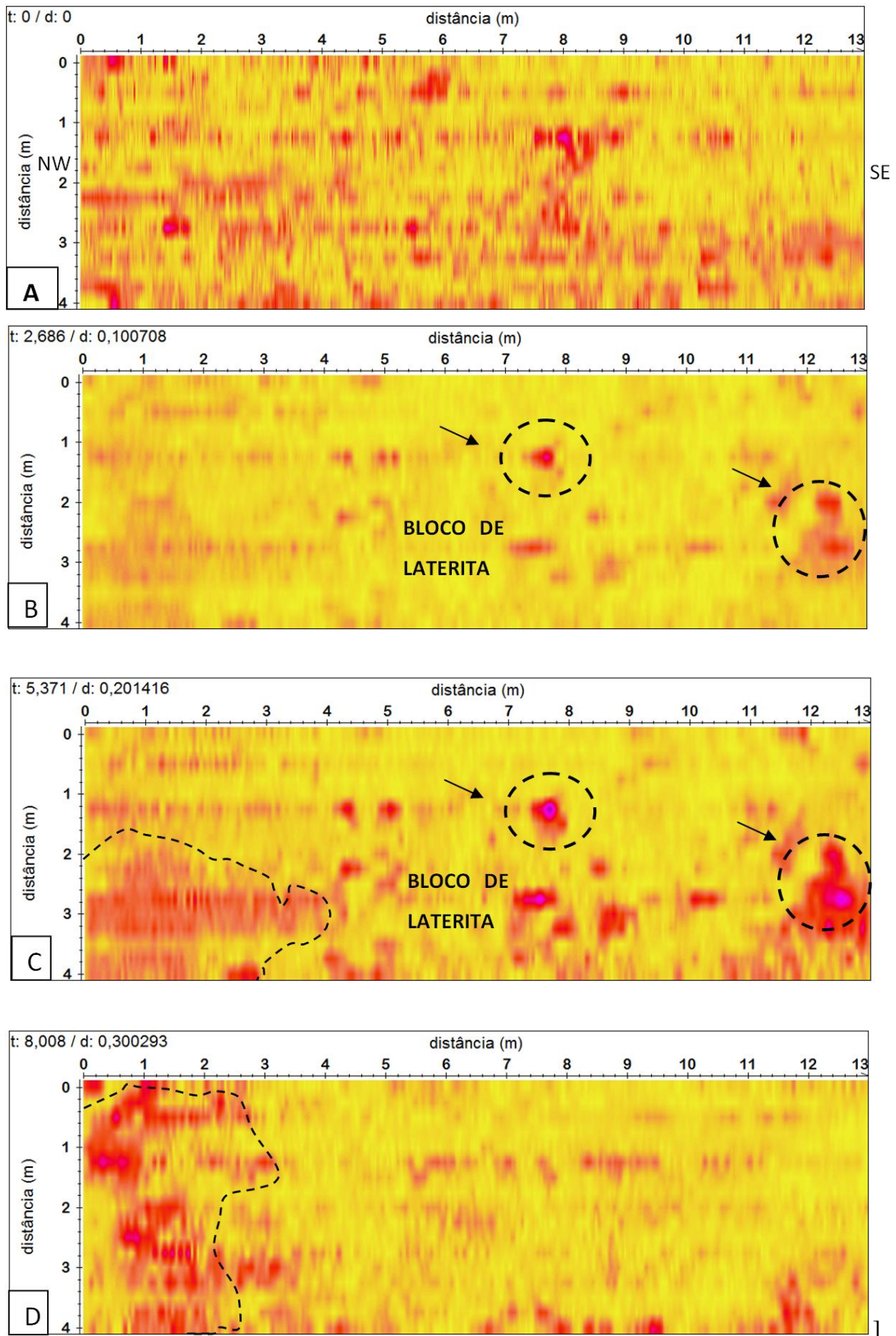


Figura 4.19 Visualização dos alvos do FORAMB entre 0,50 e 0,70 m de profundidade

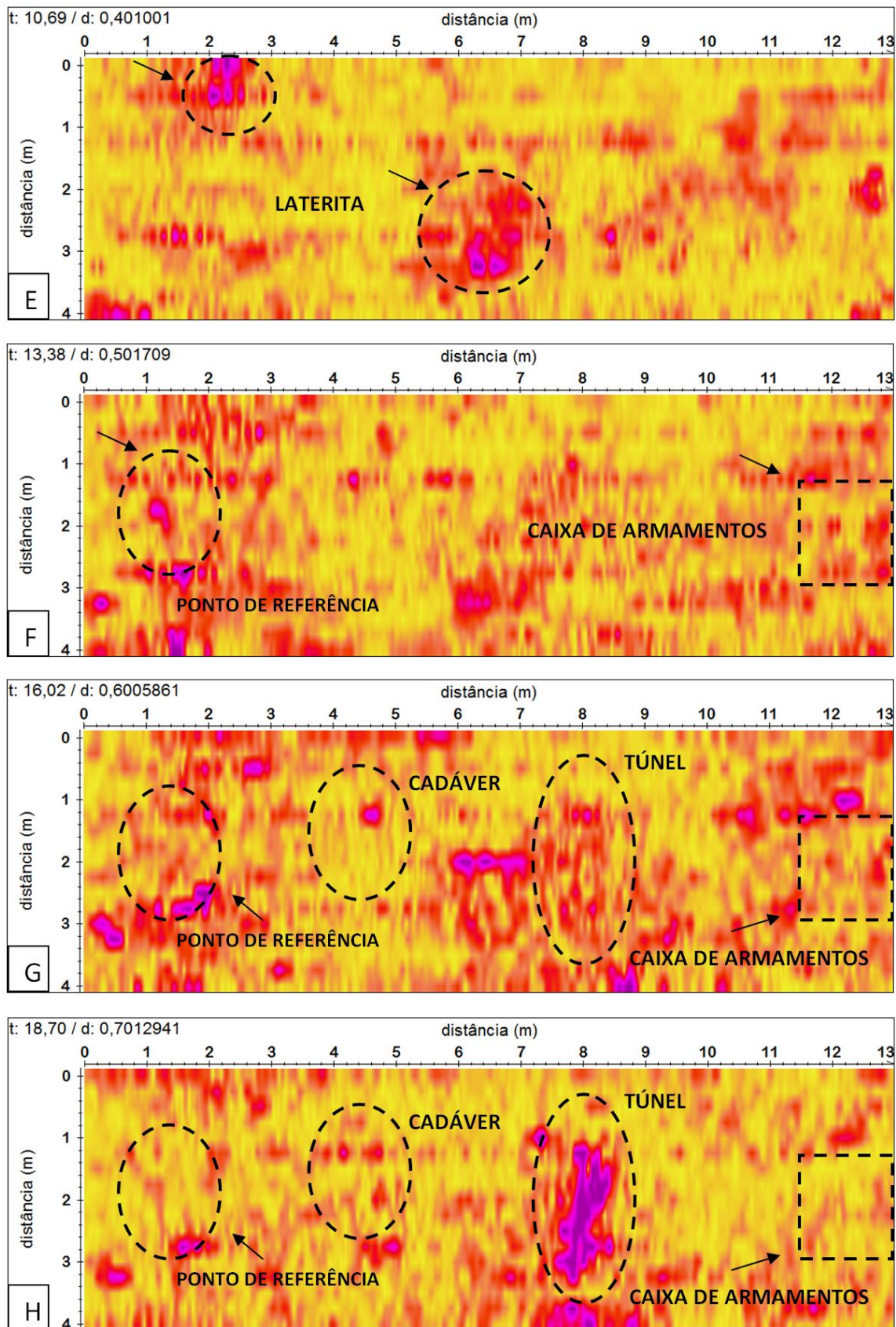


Figura 4.20 Visualização da diminuição dos contrastes dos alvos do FORAMB, entre 0,80 e 1,00 m de profundidade.

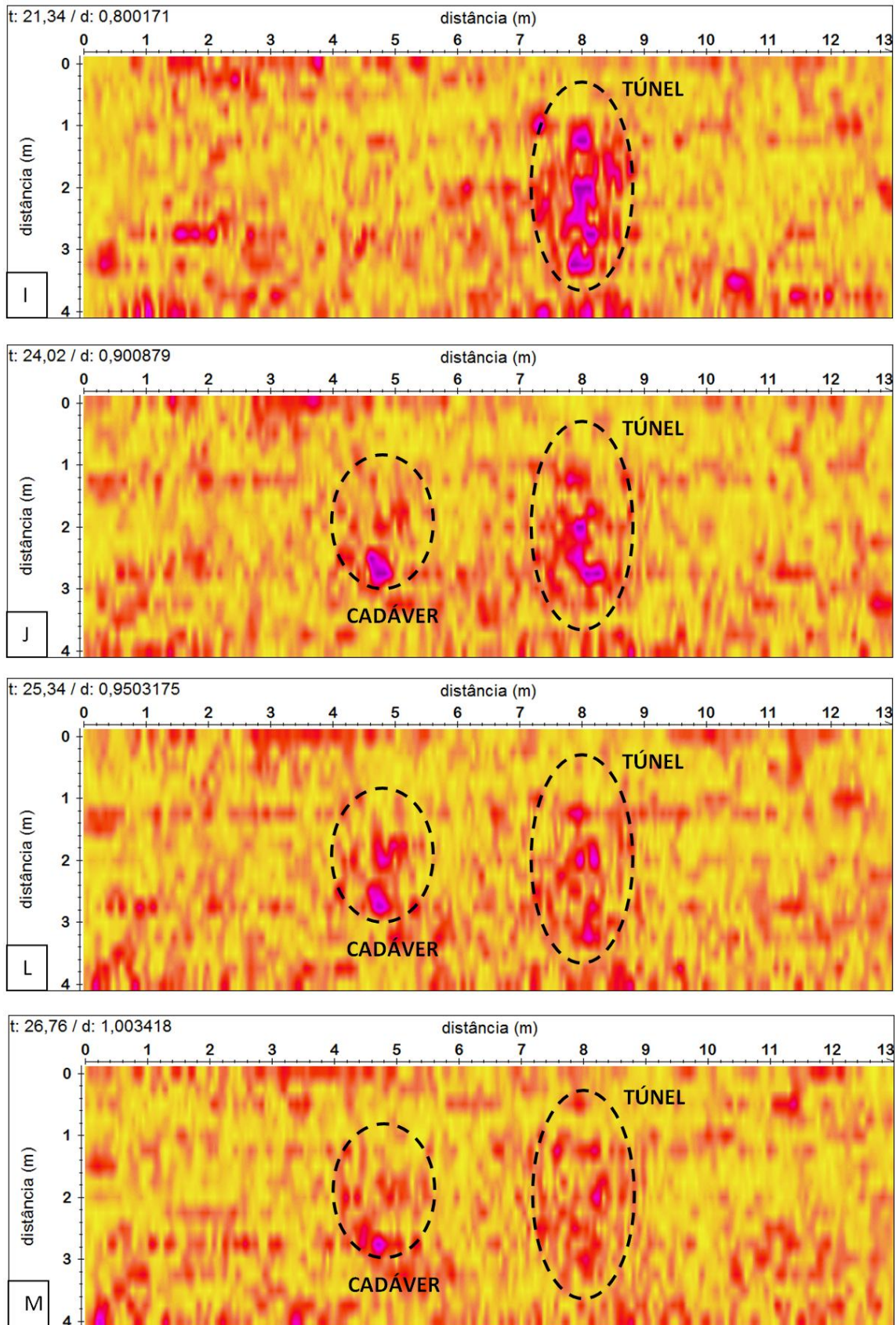


Tabela 4.1 Aquisição em cortes em profundidade, (Figuras 4.20; 4.21; 4.22), análise a cada 10 cm de profundidade na área do FORAMB.

FIGURA	INTERPRETAÇÃO	PROFUNDIDADE
(A)	Contrastes da superfície.	0
(B)	Anomalias causadas por blocos de lateritas (Grês do Pará) com algumas em destaque.	0,10 m
(C)	Aumento nas dimensões das anomalias anteriores, devido ao maior contraste com meio circundante. A W contrastes litológicos.	0,20m
(D)	Ausência de anomalias significativas. A NW, contrastes litológicos.	0,30 m
(E)	Anomalias nas posições 0,2;2,2 e 3,4;6,4 podendo se tratar de lateritas.	0,40 m
(F)	Anomalia no ponto referência, posição (1,4;1,8 m). A posição ocupada pela caixa de armamentos é mostrada, mas a correlação com anomalias é difícil. A seção apresenta vários pontos de contraste, provavelmente indicativas de aumento de restos de grês do Pará.	0,50 m
(G)	A posição de cada um dos três alvos e a do ponto de referência são mostradas. Apenas o túnel forma uma continuidade de sinais. A seção apresenta vários pontos de contraste, como a anterior. esenhar círculo	0,60 m
(H)	Posição de alvos e referência são mostrados. Há algum sinal na posição do cadáver e da referência, um aumento do sinal do túnel e a atenuação do sinal na área correspondente à caixa de armamentos.	0,70 m
(I)	O sinal do túnel é o único que persiste, até este alvo é o único a atingir a profundidade da seção que é de 0,80 m.	0,80 m
(J), (L) e (M)	O sinal do túnel aparentemente continua, ainda que menos acentuado, até 1 m. Por outro lado, aparece sob o cadáver sinal que talvez possa ser correlacionado com parte mais gordurosa de pluma já migrada de necrochorume.	0,90; 0,95 e 1,0 m

Figura 4.21 Fatiamento vertical da imagem 3D. A) Processado. B) Interpretado.

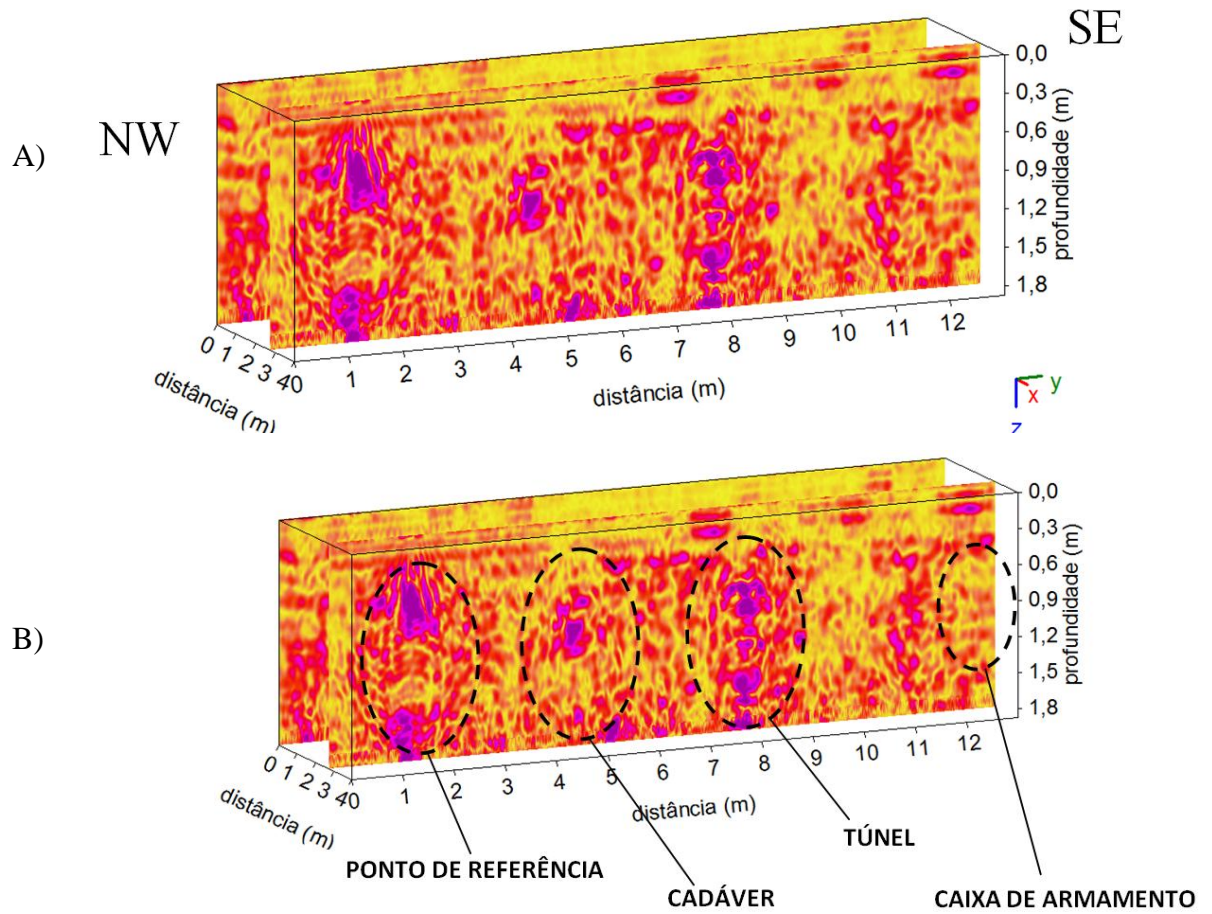


Figura 4.22 Imagem 3D com sombreamento.

A) Processado. B) Interpretado mostrando sua correlação com radargrama.

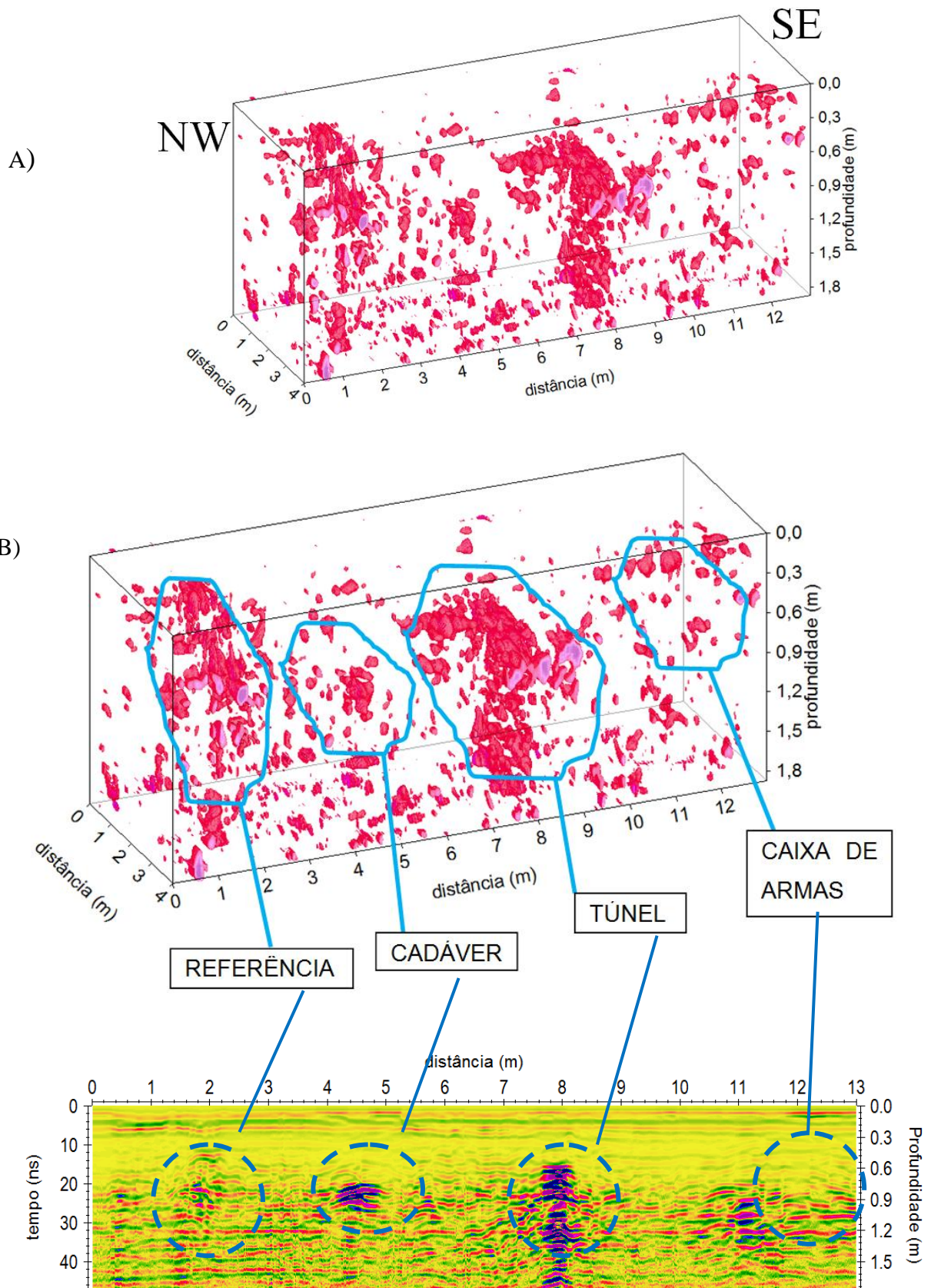
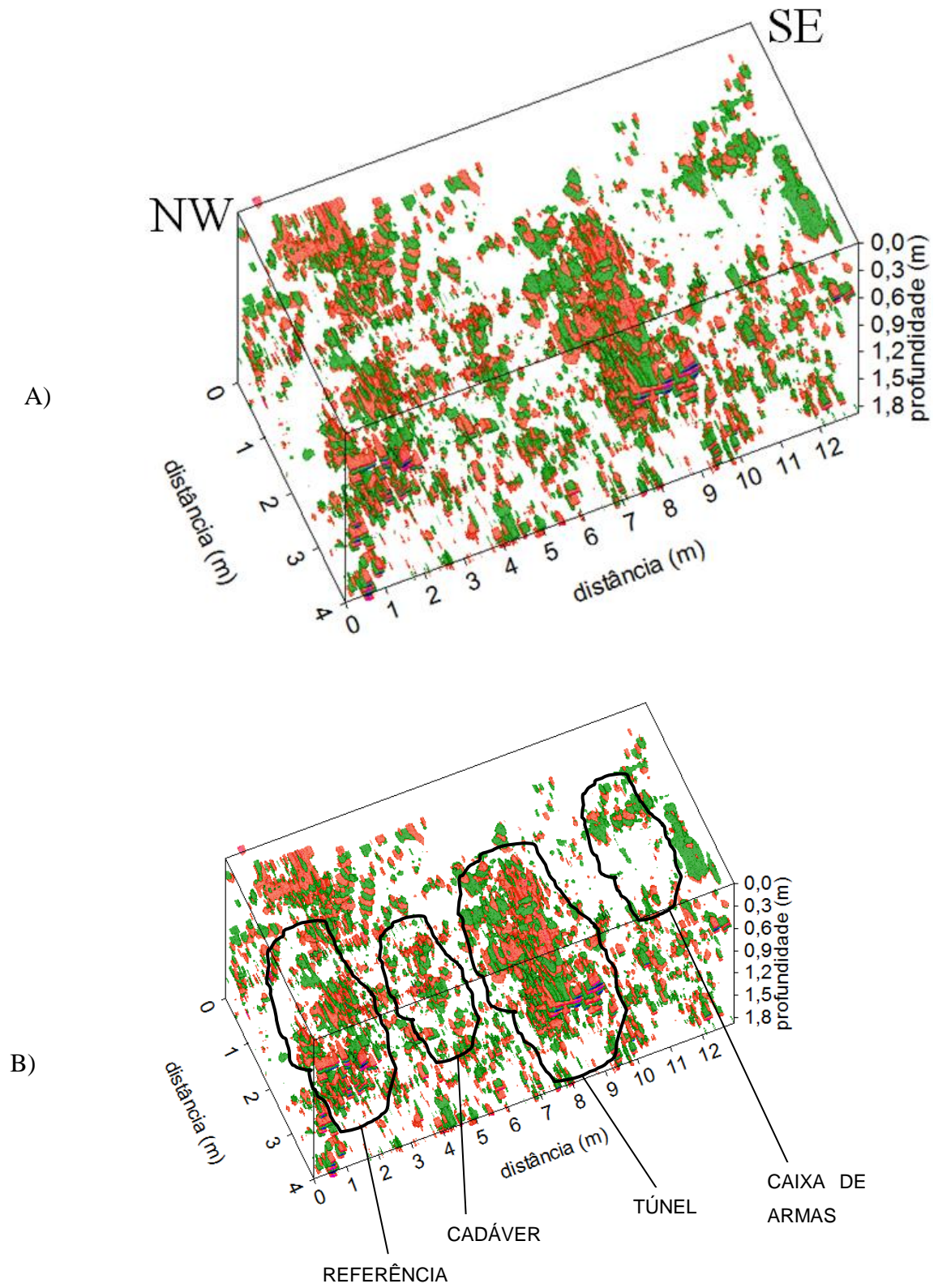


Figura 4.23 Imagem 3D com outra opção de sombreamento.
A) Processado. B) Interpretado.



5. INVESTIGAÇÃO EM ÁREA DE SEPULTAMENTOS COBERTOS COM CONCRETO

5.1 DESCRIÇÃO

Uma área do cemitério do Tapanã, a NW do FORAMB com sete túmulos, foi escolhida para o levantamento GPR. A localização dessa área é mostrada na Figura 5.1.

As datas prováveis dos enterramentos, segundo informações de funcionários do cemitério, é mostrada na Tabela 5.1. Não foram usados caixões nos enterramentos.

Figura 5.1 Área do FORAMB no cemitério do Tapanã.



Tabela 5.1 Túmulos levantados e suas características

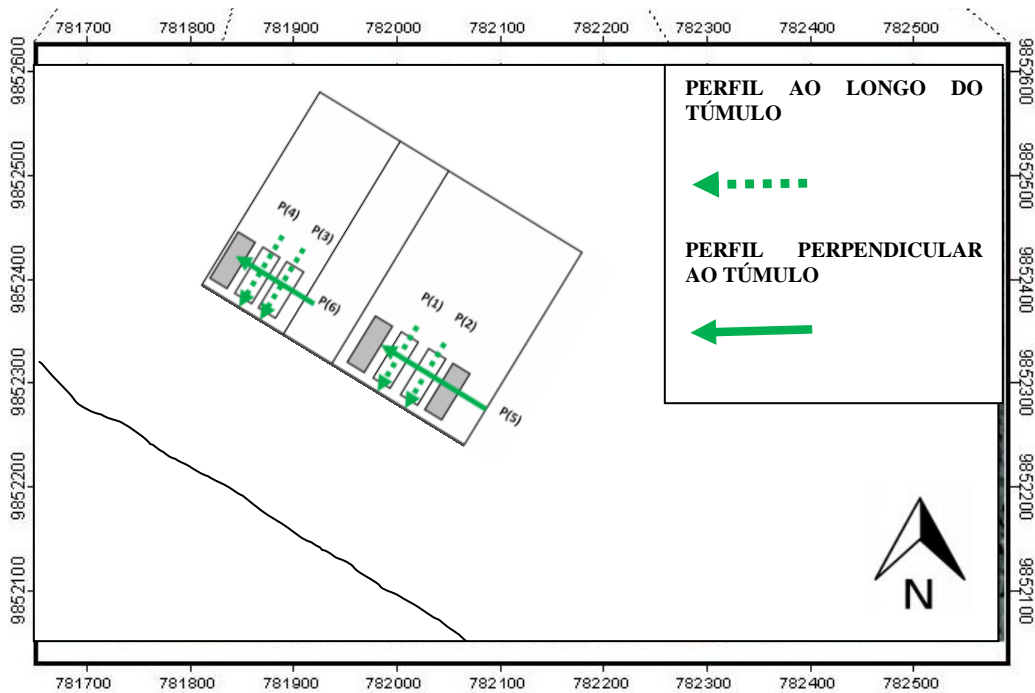
Túmulos	Idade (tempo de enterramento)	Cobertura
(1)	3 meses	Concreto
(2)	4 meses	Concreto
(3)	6 meses	Concreto
(4)	1 ano	Concreto

5.2 TRABALHOS DESENVOLVIDOS NESTA PESQUISA

5.2.1 Levantamento de dados

O levantamento de dados GPR sobre quatro túmulos cobertos por uma camada de concreto foi realizado no dia 3 de abril de 2009, segundo as linhas P(1), P(2), P(3) e P(4) que passam pelo centro das sepulturas na direção de seu comprimento e ao longo das linhas P(5) e P(6), perpendicular às mesmas (Figura 5.2). Nessa área foi utilizado o mesmo equipamento utilizado no FORAMB, com antenas de 200 MHz e 400 MHz e janelas de tempo de 90 ns, sendo obtidos doze radargramas. A posição das medidas foi registrada manualmente tomando como referência a posição central de cada túmulo.

Figura 5.2 Zona de sepultamentos a NW do FORAMB. Os retângulos demarcam sepulturas de 2 m x 0,80 m. As flechas designam a direção do levantamento dada pelas linhas tracejadas ao longo dos túmulos P(1), P(2), P(3), P(4) e pelas linhas cheias P(5) e P(6), perpendicular aos túmulos.



5.2.2 Processamento e interpretação dos resultados

A sequência de processamento foi a mesma utilizada na área do FORAMB (item 4.3.3), mas sem ganho porque este realçava também feições acima do cadáver sem interesse,

bem como sem a remoção do background para manter informações sobre o concreto. Preferiu-se não fazer a migração dos dados, porque esta não acrescentou informação valiosa sobre o alvo como se pode verificar no anexo 2; aliás, cabe mencionar que, usando-se o ganho, obtém-se uma imagem migrada muito ampla, não colapsada. A velocidade de propagação da onda eletromagnética foi modificada para 0,08 m/ns, baseado na Tabela 3.1, devido à presença de concreto saturado.

5.2.2.1 Visualização 2D

Os resultados são mostrados da seguinte maneira: radargrama processado à esquerda e radargrama interpretado à direita com círculos e elipses tracejadas localizando os alvos. (Figuras 5.3 a 5.14). A interpretação aparece reunida na Tabela 5.2.

Os radargramas obtidos apresentam os sinais de cadáveres cobertos por uma camada de cerca de 1 m de areia e sobre ela concreto; por se tratarem de sepulturas fechadas não foi possível estabelecer a espessura do concreto.

Os radargramas obtidos ao longo dos corpos enterrados mais recentemente mostram anomalias localizadas (Figuras 5.3, 5.4, 5.9 e 5.10), enquanto aqueles obtidos ao longo dos corpos mais antigos, anomalias com ramificações mais profundas (Figuras 5.6, 5.7, 5.12 e 5.13). Algumas, como é o caso mostrado na Figura 5.7, parecendo tratar-se de duas anomalias geradas por dois corpos. As sepulturas, contudo, são de apenas um corpo.

Como havia sido antecipado por Hammon et al. (2000) e foi aqui sumarizado no item 3.2.1, a mudança da composição do solo e a decomposição tornam mais complexo o radargrama.

A antena de maior frequência mostra que acima de 1,40 m existe material mais argiloso; essa é a profundidade exigida por lei para as covas e argila seria material fácil para a cobertura local das mesmas. A interface de variação litológica, no entanto, não aparece nas figuras 5.3 a 5.5.

A decomposição cadavérica simulada por Hammon et al., por sua vez, pode explicar as reflexões no topo e também na base do alvo bem como múltiplas reflexões, Hammon et al., convém notar não simulou a dispersão pelo solo do necrochorume que estaria ocorrendo de forma mais intensa nos corpos que foram enterrados há mais tempo, explicando o maior contraste por eles oferecido.

As Figuras de KOPPENJAN et al. (2003) mostram, também, uma certa analogia com os resultados aqui apresentados (Figuras 3.9 a 3.12), assim como os de SCHULTZ et al. (2006) (Figuras 3.13) e os de Freeland et al. (2003) (Figuras 3.14). O monitoramento no FORAMB ao longo do tempo por NASCIMENTO (2009) também embasa essa interpretação (Figura 4.7).

A cobertura de concreto não dificultou a identificação dos alvos na subsuperfície e a janela temporal de 90 ns mostrou ser suficiente para a visualização dos alvos.

No topo de cada radargrama é possível visualizar pequenas hipérboles abaixo da grossa camada de cimento, característico para concreto armado contendo ferro e arame, que sustenta esse tipo de estrutura (vide, por exemplo, Figura 5.3). Elas são evidenciadas pela migração (vide anexo B).

As duas frequências usadas neste estudo sobre os túmulos mostraram-se eficientes na identificação dos alvos, apesar da falta de informações com relação aos corpos serem de adultos, jovens ou de crianças. A antena com frequência de 400 MHz forneceu radargramas com imagens de maior definição e detalhamento dos alvos condições tipicamente amazônicas, sendo indicada para prospecções rasas em várias superfícies, inclusive o concreto que recobre os túmulos, como também descrito no trabalho de FREELAND (2003).

Figura 5.3 Cadáver com três meses (profundidade 1m) perfil P(1) ao longo do corpo, antena de 400 MHz.

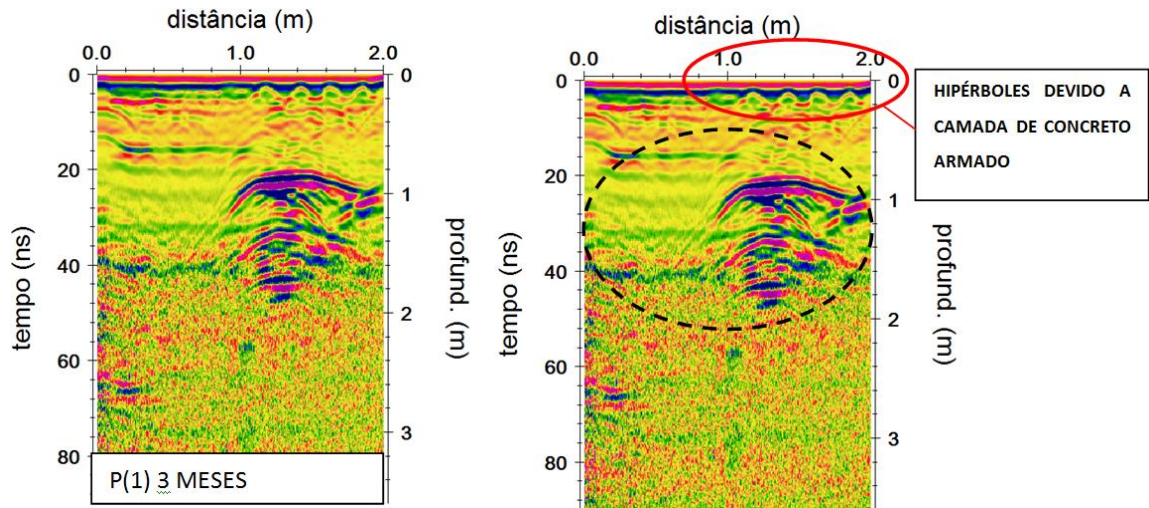


Figura 5.4 Cadáver com quatro meses (profundidade 1m) perfil P(2) ao longo do corpo, antena de 400 MHz.

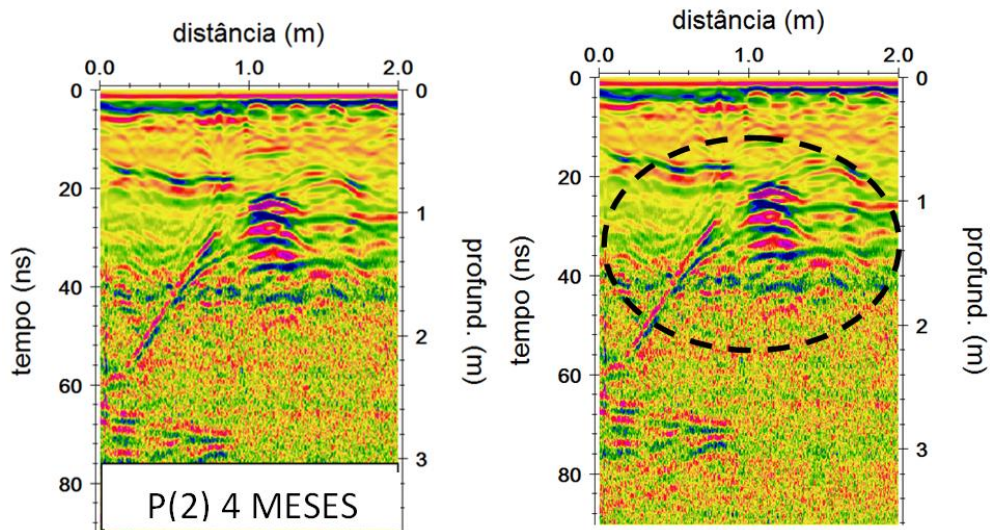


Figura 5.5 Cadáveres com quatro e três meses (profundidade 1m) perfil (5) perpendicular, antena de 400 MHz.

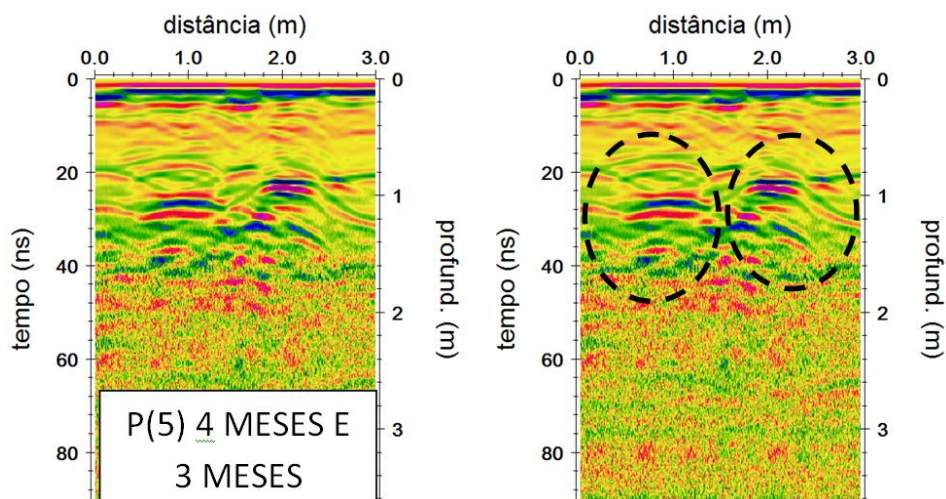


Figura 5.6 Cadáver com seis meses (profundidade 1m) perfil (3) ao longo do corpo, antena de 400 MHz.

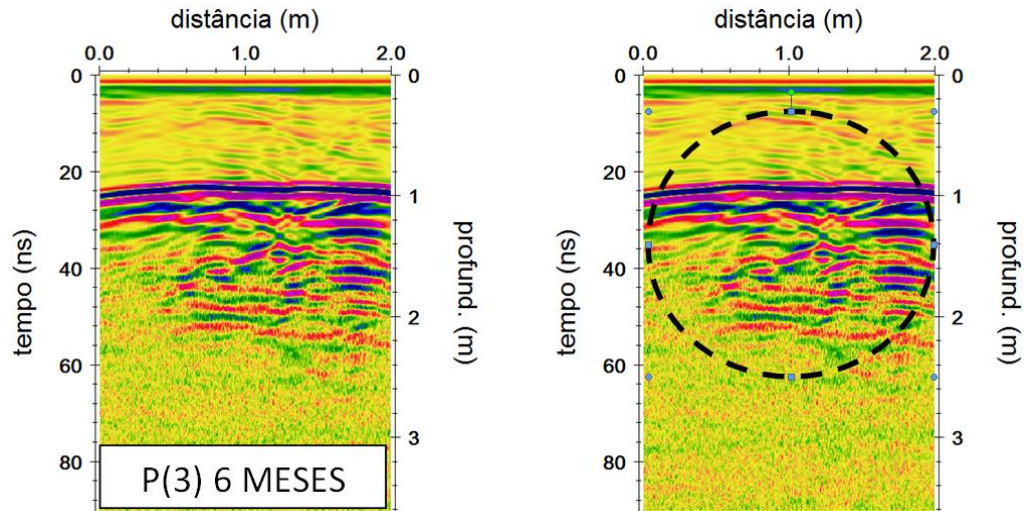


Figura 5.7 Cadáver com um ano (profundidade 1m) perfil (4) ao longo do corpo, antena de 400 MHz.

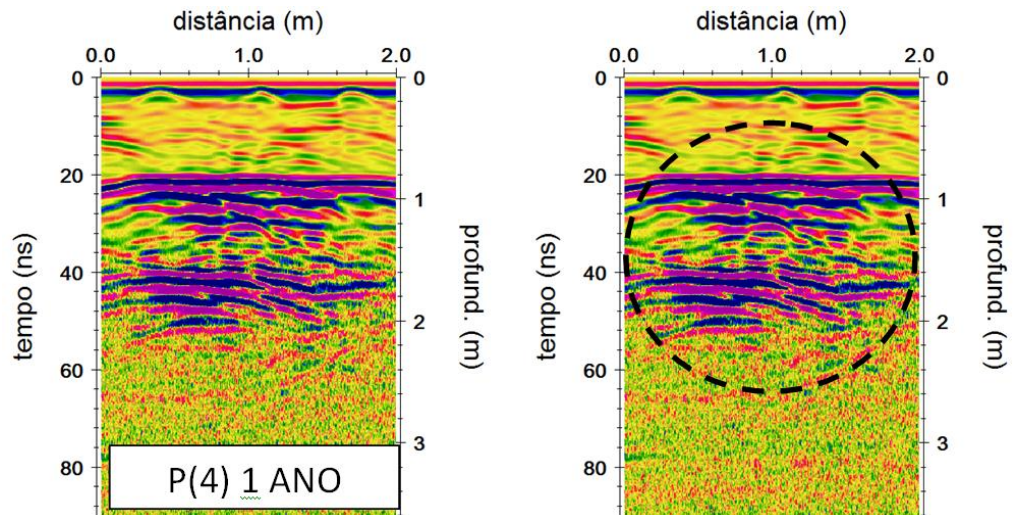


Figura 5.8 Cadáveres com seis meses e um ano (profundidade 1m) perfil (6) perpendicular, antena de 400 MHz

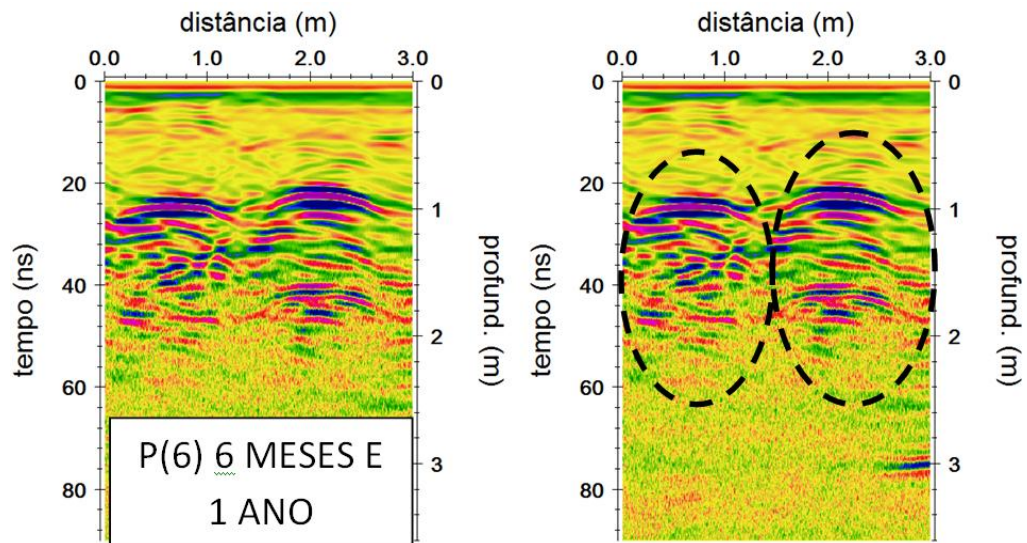


Figura 5.9 Cadáver com três meses (profundidade 1m) perfil (1) ao longo do corpo, antena de 200 MHz.

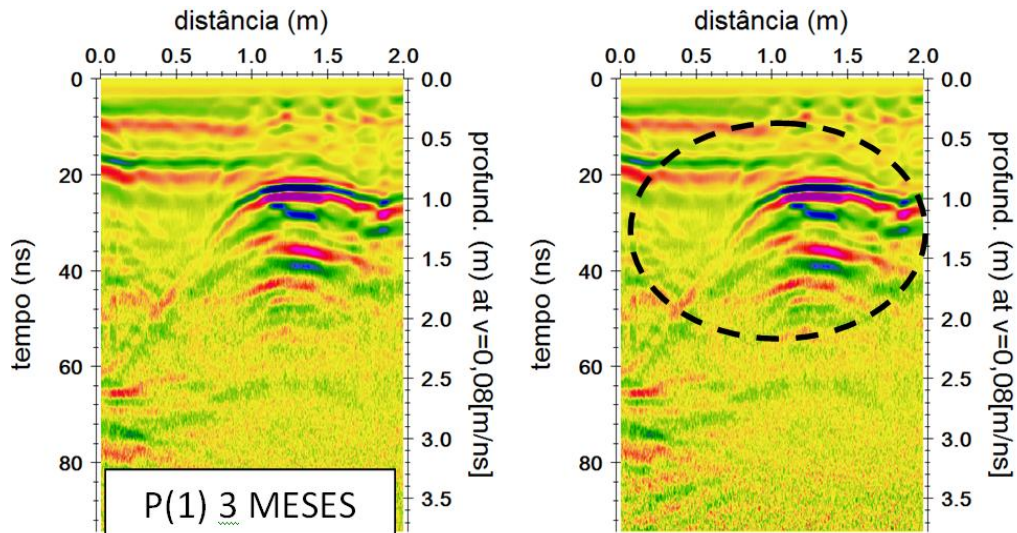


Figura 5.10 Cadáver com quatro meses (profundidade 1m) perfil (2) ao longo do corpo, antena de 200 MHz.

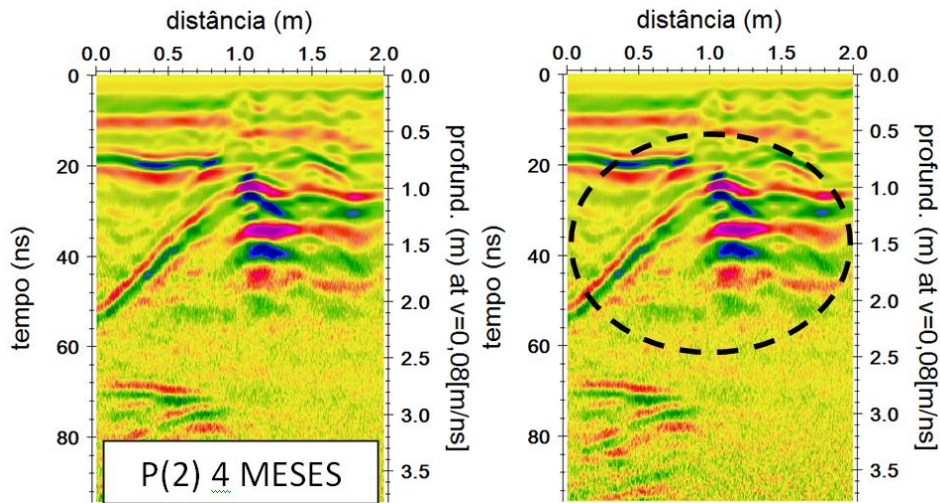


Figura 5.11 Cadáveres com quatro e três meses (profundidade 1m) perfil (5) perpendicular, antena de 200 MHz

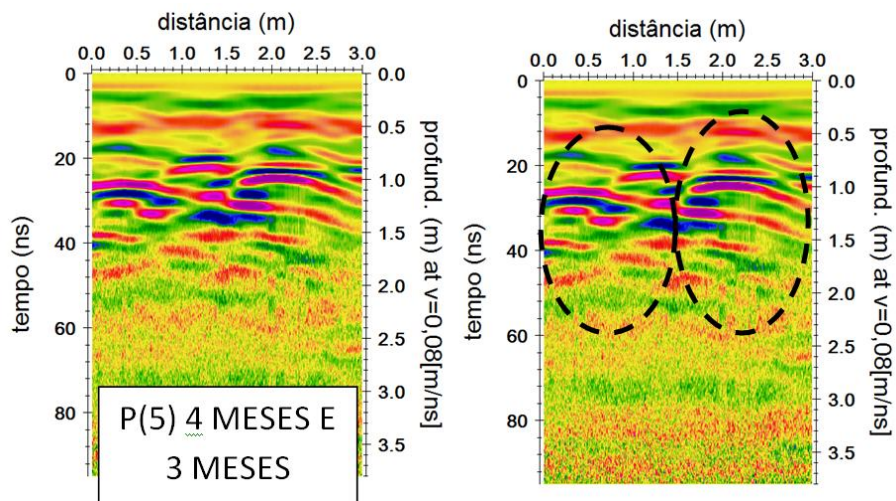


Figura 5.12 Cadáver com seis meses (profundidade 1m) perfil (3) ao longo do corpo, antena de 200MHz.

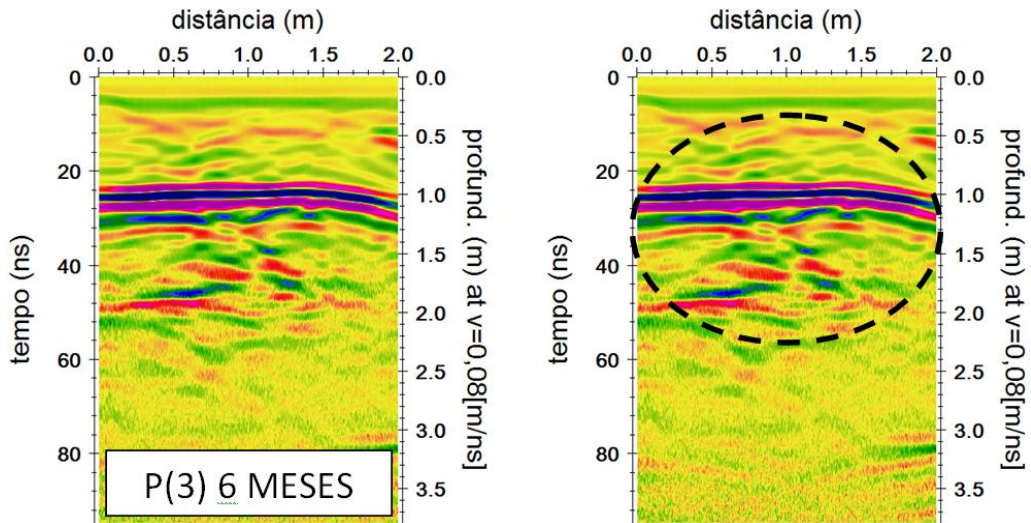


Figura 5.13 Cadáver com um ano (profundidade 1m) perfil (4) ao longo do corpo, antena de 200MHz.

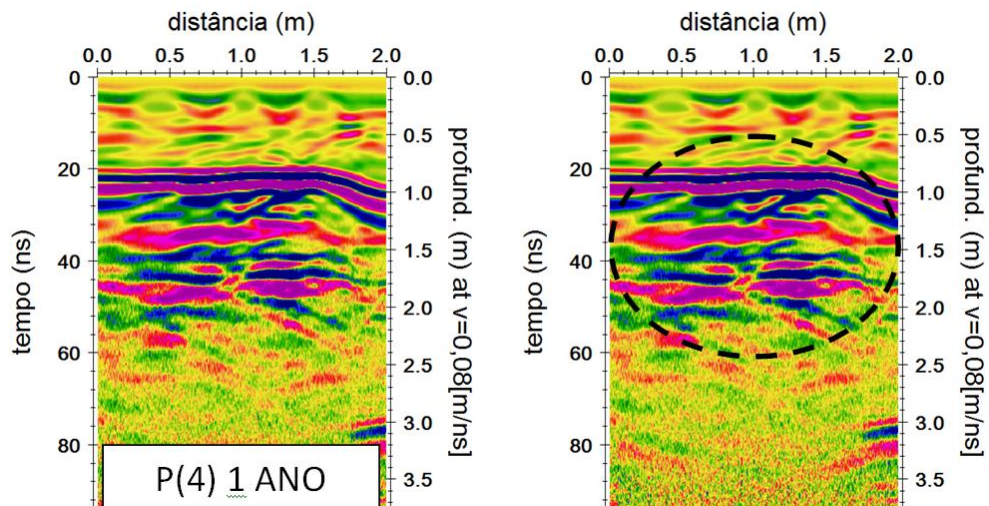


Figura 5.14 Cadáveres com seis meses e um ano (profundidade 1m) perfil (6) perpendicular, antena de 200MHz

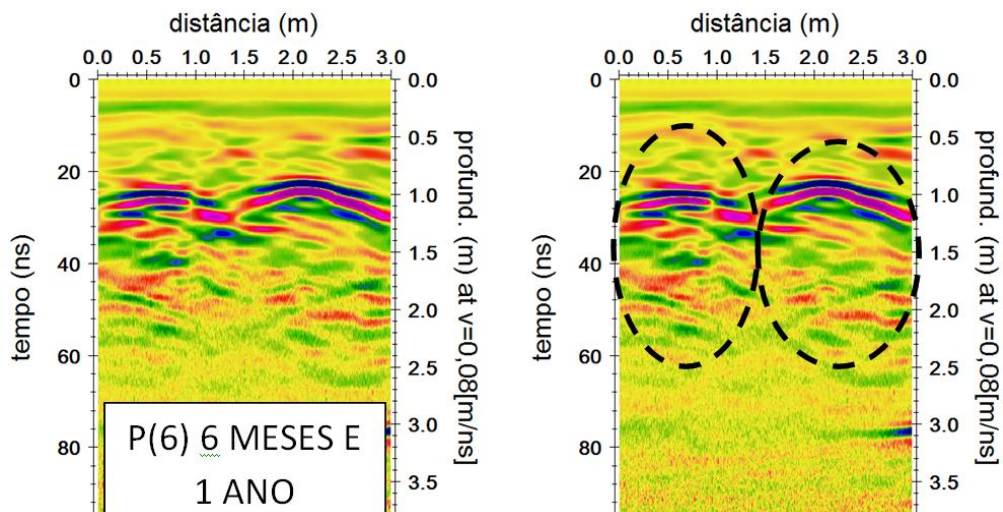


Tabela 5.2 Interpretação dos radargramas obtidos na zona de sepultamentos com cobertura de concreto

AQUISIÇÃO COM ANTENA DE 400 MHz		
RADARGRAMA	TEMPO DE ENTERRAMENTO	INTERPRETAÇÃO
Figura 5.3 perfil P(1) ao longo de corpo	3 meses	Anomalia concentrada entre 1-2 m com forte atenuação ao redor devido à presença de argila.
Figura 5.4 perfil P(2) ao longo de corpo	4 meses	Anomalia concentrada no centro do radargrama. com linhas horizontais. Feição inclinada entre 0-1 m denota provavelmente parede lateral do túmulo.
Figura 5.5 perfil P(5) perpendicular a dois corpos	3 e 4 meses	Duas anomalias, cerca de 40 cm uma da outra..
Figura 5.6 perfil P(3) ao longo de corpo	6 meses	Forte anomalia de sinal contínuo ao longo do corpo por volta de 1 m de profundidade.
Figura 5.7 perfil P(4) ao longo de corpo	1 ano	Forte sinal contínuo por volta de 1 m de profundidade. que se repete por volta de 1,7 m de profundidade.
Figura 5.8 perfil P(6) perpendicular a dois corpos	6 meses e 1 ano	Duas anomalias, mostrando certa continuidade em profundidade.
AQUISIÇÃO COM ANTENA DE 200 MHz		
Figura 5.9 perfil P(1) ao longo de corp	3 meses	Idem a Figura 5.3, nas com a anomalia mais acentuada e a atenuação ao redor maior.
Figura 5.10 perfil P(2) ao longo de corpo	4 meses	Idem a Figura 5.4, nas com a anomalia mais acentuada e a atenuação ao redor maior
Figura 5.11 perfil P(5) perpendicular a dois corpos	3 e 4 meses	As anomalias devidas aos dois corpos, devido a menor resolução da antena amalgam-se, tornando difícil sua separação.
Figura 5.12 perfil P(3) ao longo de corpo	6 meses	Idem a Figura 5.6, nas com a anomalia mais acentuada e a atenuação ao redor maior.
Figura 5.13 perfil P(4) ao longo de corpo	1 ano	Anomalia bem definido a partir de 1 m de profundidade, estendendo-se a té 2 m de profundidade.
Figura 5.14 perfil P(6) perpendicular a dois corpos	6 meses e 1 ano	Duas anomalias, como na Figura 5.8 com maior atenuação ao seu redor.

6. INVESTIGAÇÃO NO ARQUIPÉLAGO DE MOSQUEIRO

6.1 DESCRIÇÃO

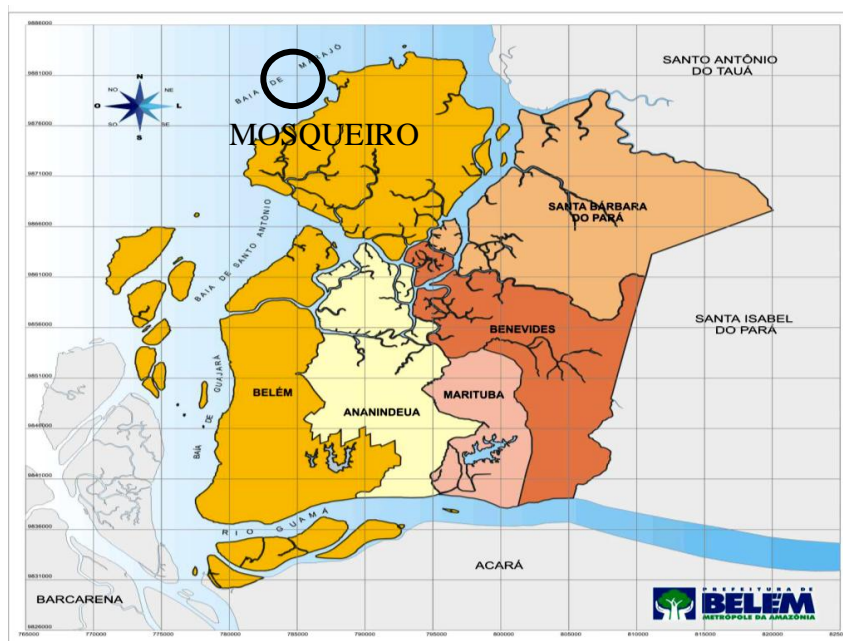
De acordo com a Lei Municipal nº 7.682 de 1994, o município de Belém está dividido em oito distritos administrativos, dentre eles o distrito Administrativo de Mosqueiro (DAMOS).

Mosqueiro está situado em uma ilha a nordeste da cidade de Belém, da qual dista 70 km entre 01°03' e 01° 05' de latitude Sul e entre 48°29' e 48°18' de longitude Oeste (W) de Greenwich. A ilha é limitada pelas baías do Guajará, Santo Antônio e Marajó em suas porções sudoeste, oeste e noroeste; a norte e nordeste pela baía do Sol e ao sul e sudeste pelos furos do Maguari e das Marinhas (Figura 6.1). Fisiograficamente faz parte do conjunto hidrográfico do rio Pará, o qual é formador das citadas baías, na sua foz, em forma de estuário.

A verificação de mapas do século XVII, produzidos pelos primeiros navegadores europeus a visitar a região, mostra que ela era conhecida como a Província dos Tupinambás. Habitantes do estuário amazônico, os tupinambás estavam na região há cerca de 12.000 anos e constituíram uma civilização e uma cultura intimamente ligadas à natureza (BRANDÃO, 2006). Os tupinambás eram uma nação indígena que habitava várias áreas do litoral brasileiro. As diversas tribos tupinambás possuíam uma língua comum, conhecida como tupi, porém não mantinham uma unidade e chegavam até mesmo a guerrear entre si. Os tupinambás fizeram parte da Confederação dos Tamoios, entre 1556 e 1567, na luta contra os colonizadores portugueses.

Além de índios, colonizadores portugueses e escravos trazidos pelos mesmos, Mosqueiro teria abrigado os cabanos dizimados em uma das últimas escaramuças com os portugueses (com. oral BRANDÃO).

Na década de 80, como consequência da abertura de ruas, foram encontrados restos de ossadas humanas na região do igarapé do Cajueiro, próximo à Praia do São Francisco (Figura 6.2). Dos relatos de antigos moradores da região faz parte um cemitério perdido dos registros oficiais, de cujos vestígios fariam parte os restos de ossadas humanas encontradas. O cemitério já teria deixado de ser utilizado há mais de 80 anos e poderia ter sido o destino final dos cabanos dizimados, bem como de escravos e índios.



Fonte: Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão - SEGEP
Baseado na Cartografia digital de 1998, da Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém - CODEM
Escala: 1:250.000

Fonte: CODEM, 1998

Figura 6.2 Área provável do cemitério, próximo à praia do São Francisco e ao igarapé do Cajueiro na ilha de Mosqueiro, marcada pela elipse em vermelho.



Foto: cortesia professor Brandão.

6.2 TRABALHOS DE GEOFÍSICA ANTERIORES

Em 1986, com o objetivo de verificar a veracidade da descoberta de restos mortais em um Cemitério Perdido, os pesquisadores Brandão e Lúcia e estudantes de Geologia estiveram no local, tendo descoberto pela sua condição sub-aflorante, uma ossada. Os métodos da Mag-

netometria (gradiômetro) e da Eletrorresistividade foram testados sem quaisquer resultados positivos.

6.3 TRABALHOS DESENVOLVIDOS NESTA PESQUISA

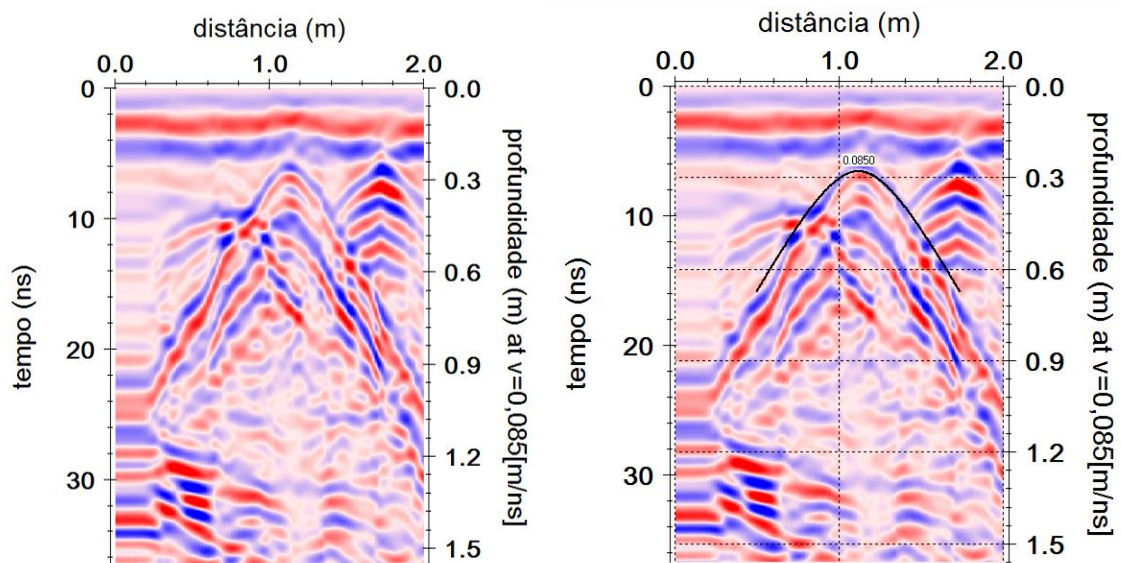
6.3.1 Determinação de velocidade

Em Mosqueiro, igualmente como no FORAMB, foi realizado um perfil de GPR com a antena de 400 MHz e janela temporal de 40 ns sobre um alvo de 30 cm (“macaco” metálico para erguer carros) enterrado a uma profundidade de 30 cm, próximo ao local da pesquisa (Figura 6.3). A velocidade de propagação da onda EM obtida foi de 0,085 m/ns (Figura 6.4).

Figura 6.3 (A) Objeto metálico de 30 cm de comprimento (“macaco” de carro). (B) Medida da profundidade (30 cm) de seu enterramento para o teste de velocidade em Mosqueiro.



Figura 6.4 Radargrama obtido com o teste de velocidade na Ilha de Mosqueiro com antena de 400 MHz, mostrando a hipérbole produzida pelo objeto enterrado. Lado esquerdo: Processado. Lado direito: Interpretado.



6.3.2 Levantamento de dados

O levantamento foi realizado ao longo de um perfil de reconhecimento F1 de 64 m de comprimento de SE para NW pela rua Luís Camões (Figura 6.5). Nesta rua foi encontrada a primeira ossada humana em 1986. Duas escavações durante este trabalho nas imediações do local onde teria sido realizada a primeira descoberta permitiram encontrar partes de um crânio, dentes e outros ossos a 10 cm de profundidade (Figura 6.6). Tais fragmentos foram, posteriormente, analisados pela antropologia forense do GTT, que confirmou se tratarem de ossos humanos. As escavações permitiram, também, encontrar blocos de laterita (Grês do Pará) (Figura 6.7), que, como é já conhecido, promove sinal frequente nos radargramas, muitas vezes, hipérboles bem formadas.

Nesse local das escavações foi feito um levantamento de detalhe numa malha de 10 m de comprimento por 4 m de largura (Figura 6.5, 6.8). No total foram levantados 17 perfis de 10 m de NW para SE espaçados de 0,25 m. Como o sentido do levantamento foi o contrário do levantamento de reconhecimento, as estações 0 e 10 da malha coincidiram, respectivamente, com as estações 23 e 13 do perfil F1 (Figura 6.9).

Figura 6.5 Localização do perfil de reconhecimento F1 com 64 m de extensão e da malha na área do cemitério perdido da ilha de Mosqueiro. Linha branca: limites prováveis do cemitério segundo relatos colhidos dos moradores. Seta amarela: Perfil F1. Retângulo vermelho: Malha de detalhe. Círculos

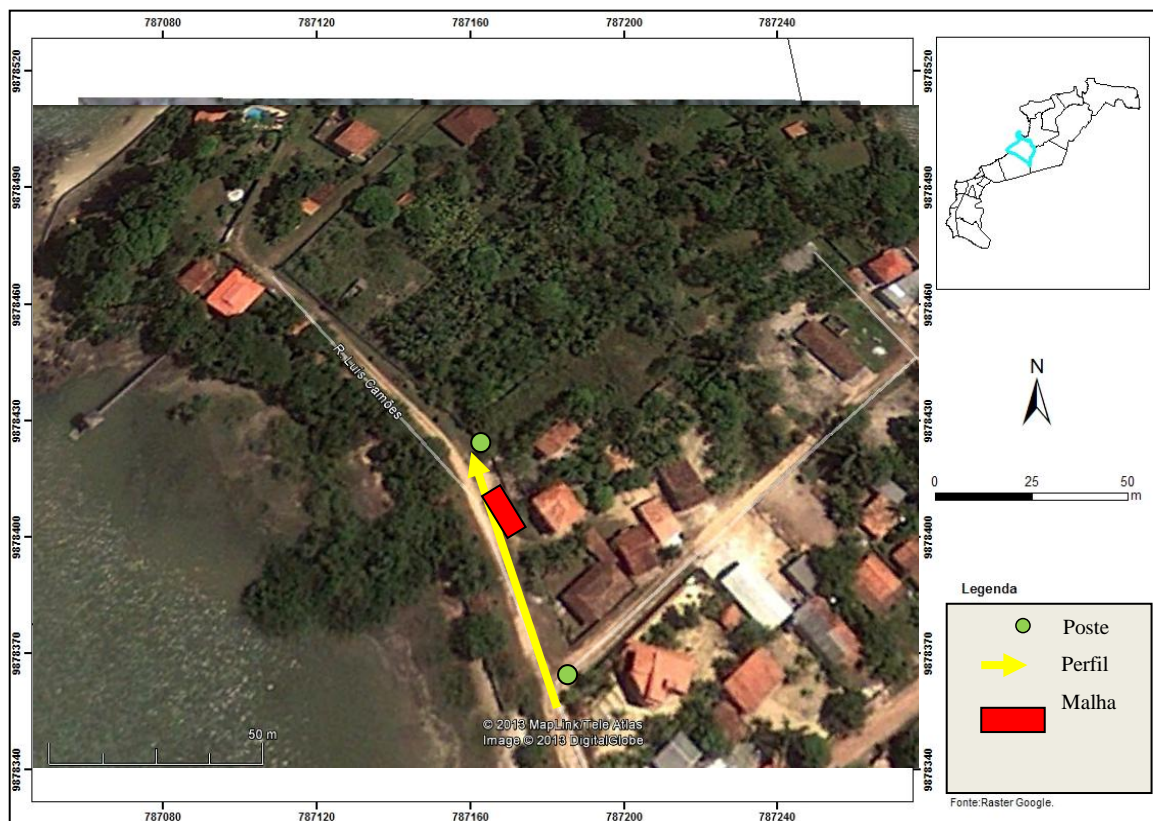


Figura 6.6 Fotos da primeira (E) e segunda (F) escavação na área de estudo, partes de ossos encontrados crânio (G) e dentes (H).



Figura 6.7. Bloco de laterita (Grês do Pará)

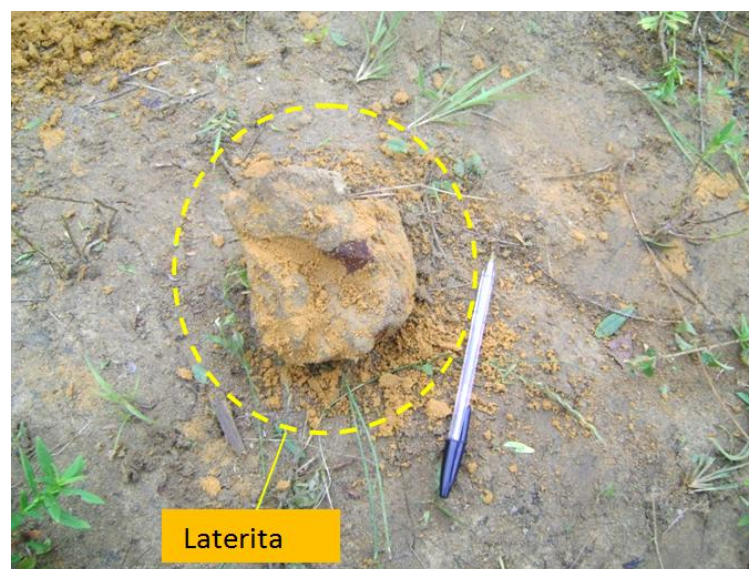


Figura 6.8 Localização da área de escavações (1) e (2), onde foram encontrados restos humanos.

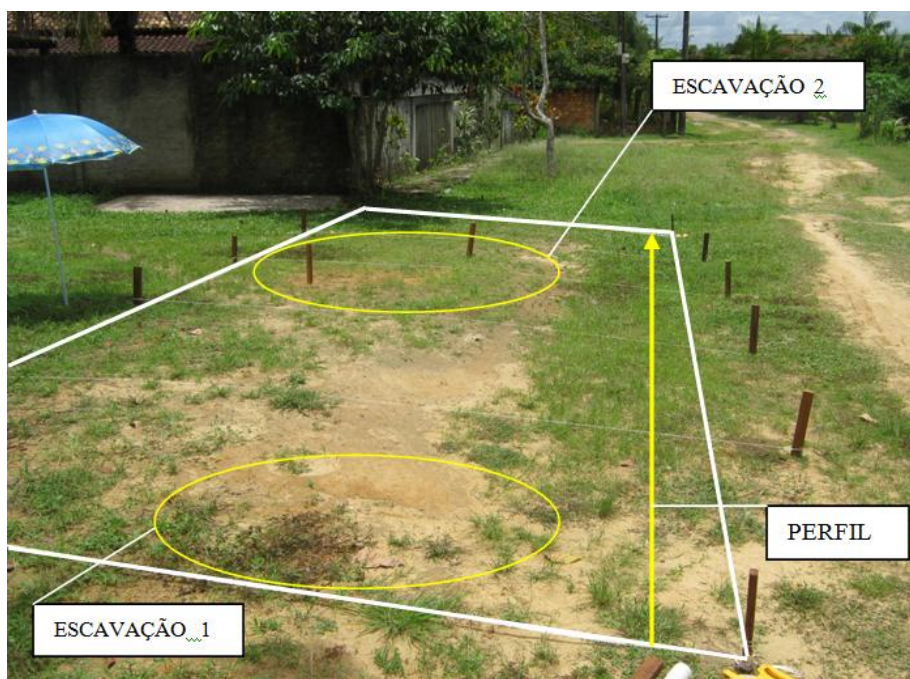
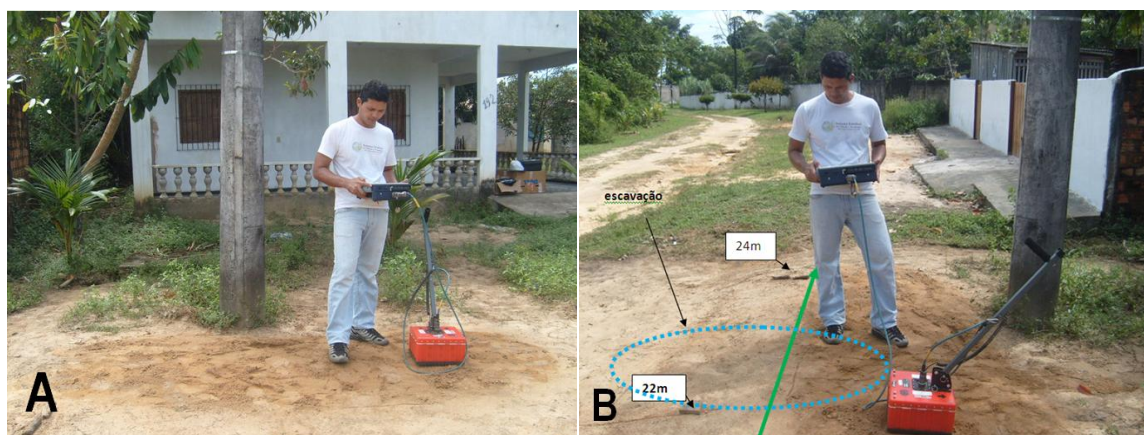


Figura 6.9 (A) e (B) Fotos da área investigada em detalhe com o método GPR. Flecha verde assinala perfil F1. Círculos azuis assinalam onde foram encontrados ossos.



Os levantamentos GPR foram realizados no dia 30 de junho de 2009 com o equipamento SIR-3000 da GSSI com uma antena biestática blindada de 400 MHz, modelo 5103 e a janela temporal de 50 ns, permitindo uma visualização até 2,2 m de profundidade. A posição

das medidas foi registrada manualmente a cada 2 m no caso de F1 e a cada 1 m nos perfis da malha.

6.3.3 Processamento e interpretação de dados

Neste trabalho, o processamento dos dados de GPR foi realizado com o programa Reflex-Win 5.0 da Sandmeier Software. A seguinte sequência de processamento foi utilizada: interpolação das marcas de posicionamento, correção estática, ganho, aplicação do filtro 1D (DEWOW), aplicação de filtro passa banda, migração em tempo (*fk migration – Stolt*) e conversão do tempo em profundidade.

6.3.3.1 Visualização 2D

O radargrama obtido sobre o perfil de reconhecimento F1, cujo objetivo era verificar as respostas do local onde foram encontrados os ossos e possíveis indícios de sepultamentos sobre sepultamentos ao longo do tempo de ocupação do cemitério, é apresentado na Figura 6.10.

Para melhor descrição dos alvos visualizados em subsuperfície, o radargrama F1 de 64 m foi dividido em sete menores.

Na Figura 6.11A é mostrado em detalhe o trecho do radargrama F1 entre 0 e 9,4 m. Observa-se possível alternância entre laterita (contrastes fortes) e argila com areia (zonas atenuadas).

No trecho seguinte que é apresentado na Figura 6.11B, destaca-se a presença de refletores fortes, a uma profundidade que varia de 0,3 a 0,6 m, às vezes, aflorando na superfície do terreno. A superfície irregular do refletor e a sua variação na espessura combinam com o modo de ocorrência da Grês do Pará.

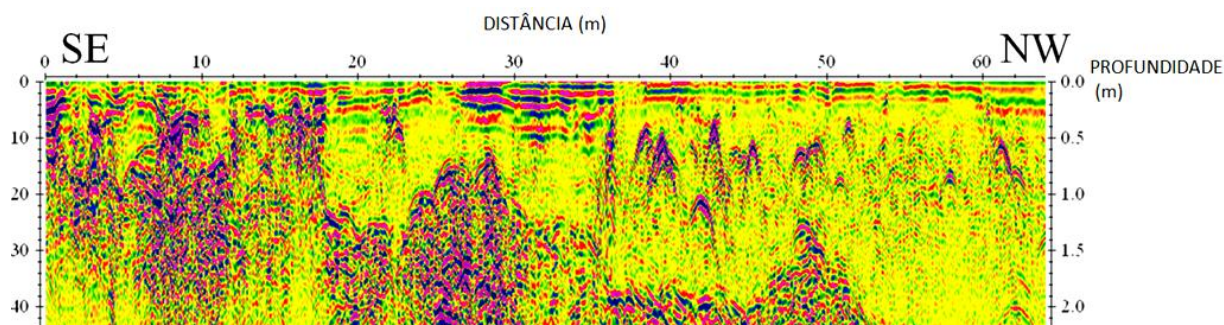
No trecho mostrado pela Figura 6.11C, a camada com refletores fortes mergulha afastando-se da superfície (entre 0,6 e 1,2 m) (linha preta) e sobre ela aparece uma zona de marcante atenuação, entre 18 e 27 m, provavelmente relacionada à presença de material argilo-arenoso. Um conjunto de hipérboles próximo à superfície e do local da primeira escavação é observado, logo abaixo de 15 cm, entre as posições 21 e 23 m (marcado na figura com a linha branca). A origem dessas hipérboles pode estar relacionada a blocos lateríticos. A existência de sepultamento sobre sepultamento é hipótese que pode ser descartada devido ao contraste intenso da resposta a menos que este tenha sido feito com material que pudesse explicar tal

contrastes (presença de utensílios, partes de caixão de metal, correntes, etc.). Não houve escavação abaixo dos ossos (linha paralela ao topo em branco). Chama a atenção, por outro lado, a continuidade das camadas superficiais próximas da zona das descobertas de restos humanos, ainda que em seu centro (cerca de 22,4 m) haja uma minúscula concavidade, esta sim, podendo indicar o formato de uma cova sendo atravessada perpendicularmente. Ressalta-se que a primeira ossada descoberta estava completa e na posição original.

No trecho da Figura 6.11D é mostrada subsuperfície que guarda analogia com o trecho anterior, mas aparecem refletores próximos à superfície (linha branca), abaixo dos quais aparece a camada de atenuação do sinal e entre cerca de 0,5 e 1,2 m de profundidade, refletores mais ou menos contínuos, acamados, que podem refletir aterro com brita trazido para a rua coberto por camada argilo-arenosa.

O radargrama fica mais próximo das residências no trecho mostrado na Figura 6.12E. Tubulações de esgoto atravessando o perfil são possivelmente geradoras das hipérboles mais marcantes, cujas profundidades variam de 0,4 a 0,6 m, que ocorrem em uma zona em que o sinal é mais atenuado sobreposta, à zona com sinais fortes que vem sendo associada ao enriquecimento em Grês do Pará, por volta de 2 m de profundidade. Uma hipérbole mais profunda indicando alvo de menor velocidade, pode indicar cano com maior conteúdo de água, o que seria de se esperar devido a sua maior profundidade. A hipérbole relativamente rasa em 36,2 m tem assinatura mais propícia à sua identificação como bloco de Grês do Pará. Na superfície destaca-se em alguns trechos, descontinuamente, o contraste produzido pelos possíveis restos do aterro usado na rua sobreposto por fina camada de argila. Finalmente, é possível que mínimas hipérboles, como a observada no piquete de 37 m bastante superficial, sejam indicativas de ossadas.

Figura 6.10 Radargrama F1 de 64 m de comprimento.



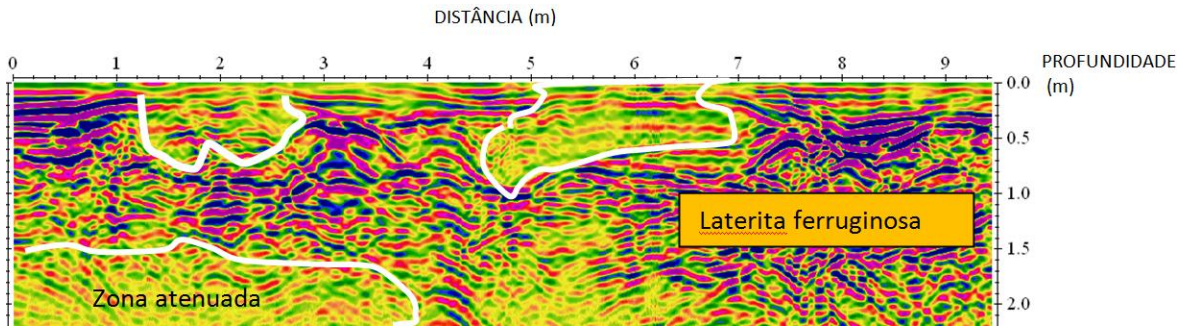
No trecho seguinte, mostrado na Figura 6.12F, da mesma forma, aparecem hipérboles por volta de 0,5 m de profundidade que podem representar tubulações. A camada de grande atenuação do sinal, a partir de 1,5 m de profundidade, dá lugar a Grês do Pará.

No trecho final do radargrama, apresentado na Figura 6.12G, até a profundidade investigada de 2 m destaca-se apenas a camada de forte atenuação do sinal. Há poucas hipérboles duas mais acentuadas que a hipérbole entre 60 e 62 m que chama a atenção pelas suas laterais prolongadas (divisão?), em especial na direção da hipérbole bem marcada com centro em 61 m.

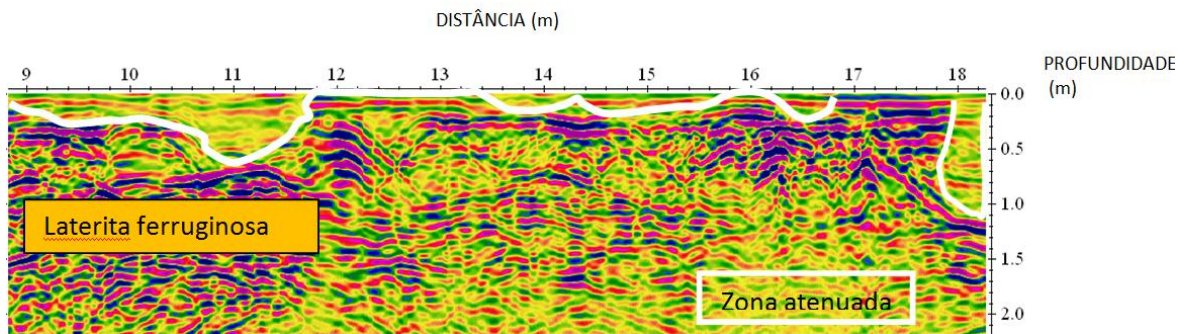
É possível supor que as áreas mais propícias aos sepultamentos são aquelas onde o sinal aparece atenuado, pois coincidiriam com litologia mais propícia à escavação.

Por outro lado, a idade dos corpos sugere que as hipérboles prováveis de estarem relacionadas aos mesmos são aquelas menores e de pouco contraste com o meio. Por outro lado, antes da procura de hipérboles, como os ossos já devem possuir as mesmas propriedades elétricas que o meio dado seu atual estágio, pode ser mais significativo observar quebras no acamamento resultantes da escavação, a exemplo do que ocorre entre 10,4 e 11,8 m (linha branca, Figura 6.11b) ou menores, cobertas ou não pelo material utilizado na estrada de terra.

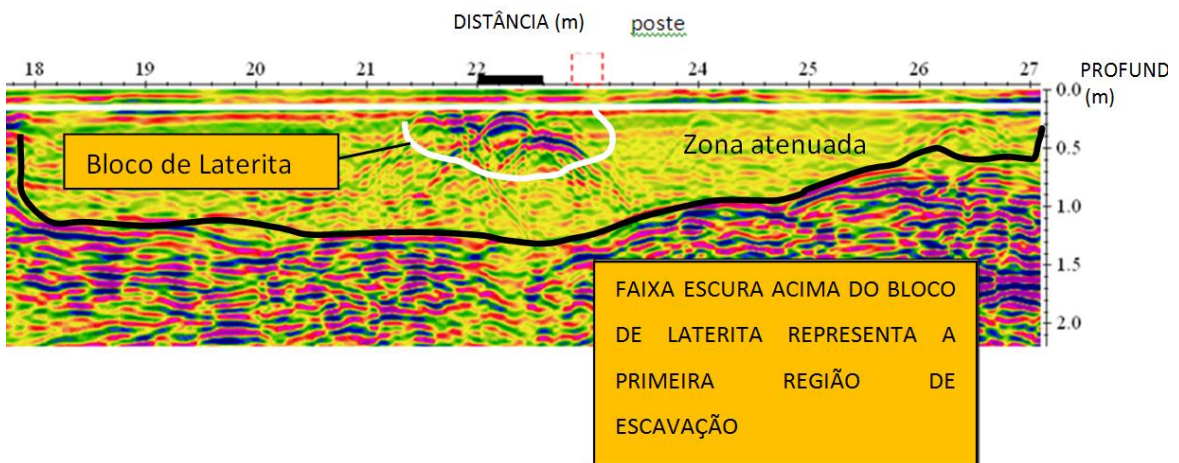
Figura 6.11 Trechos do radargrama F1 entre as posições: A) 0 e 9,4 m; B) 8,8 e 18,2 m; C) 17,8 e 27 m; D) 26,6 e 36m.



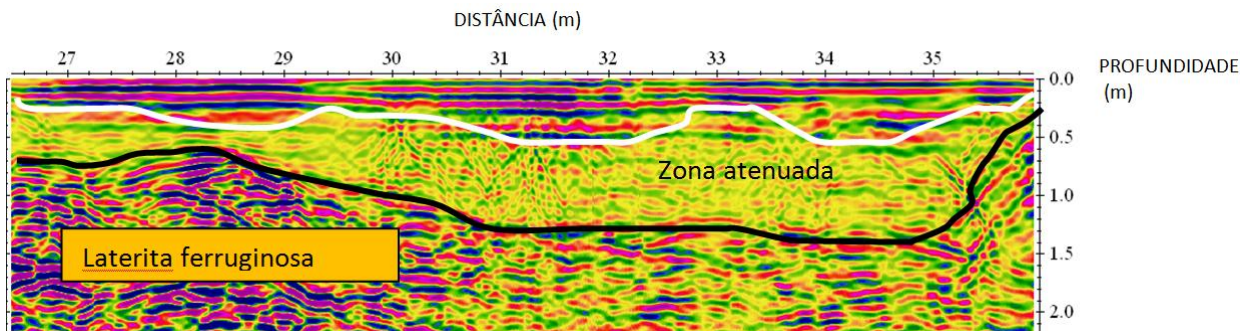
a)



b)

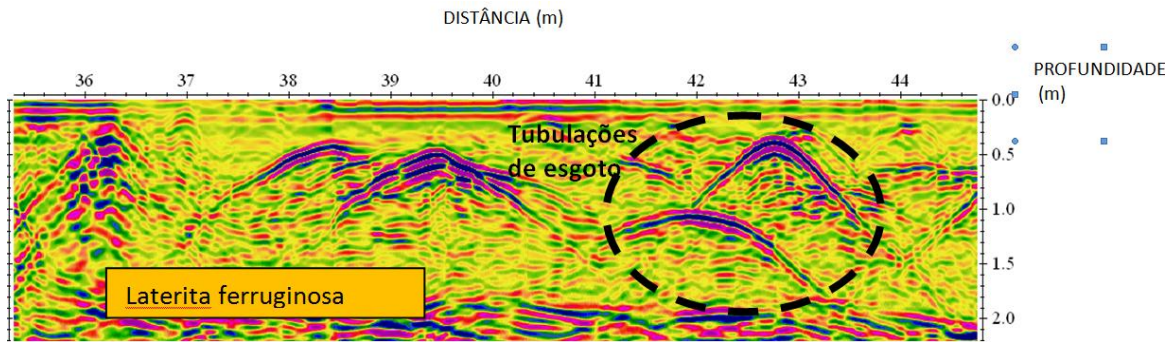


c)

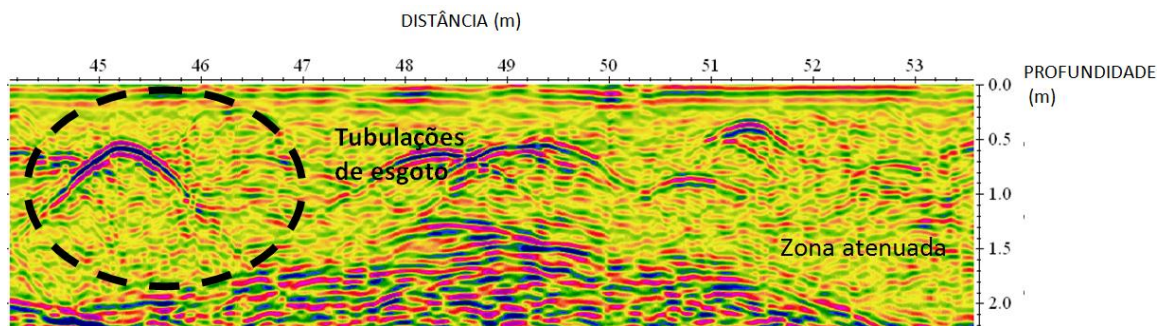


d)

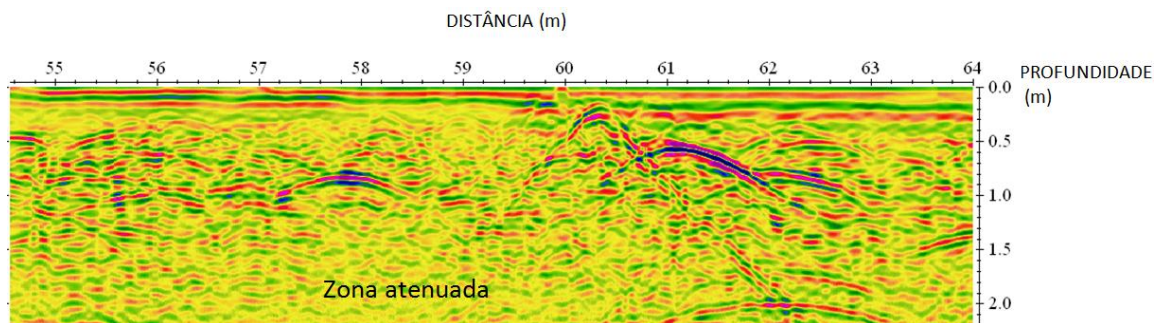
Figura 6.12 Trechos do radargrama F1 entre as posições: E) 35,4 e 44,7m; F) 44 e 53,6 m e G) 54,6 e 64 m.



e)



f)



g)

6.3.3.2 Visualização 3D

A reunião dos dados obtidos na malha de 17 perfis de detalhe são apresentados sob a forma de cortes nas profundidades permitiram 0,10, 0,15, 0,27 e 0,34 m nos radargramas da Figura 6.13.

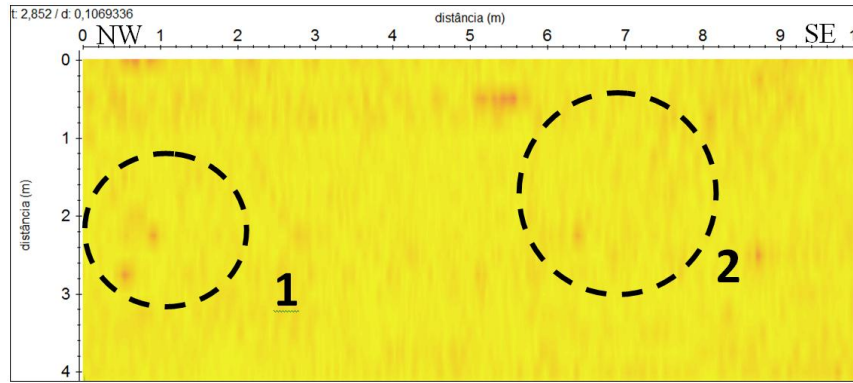
Na Figura 6.13a, obtida na profundidade de 10 cm, na qual foram encontrados os ossos na ocasião das escavações, observa-se uma área de forte atenuação do sinal que pode indicar a presença de argila e a limitação da antena de 400 MHz de fornecer imagens a esta profundidade. Os círculos (1) e (2) marcam as duas áreas escavadas.

Na Figura 6.13b, na profundidade de 15 cm, continua a forte atenuação do sinal e não se observa nenhuma anomalia significativa.

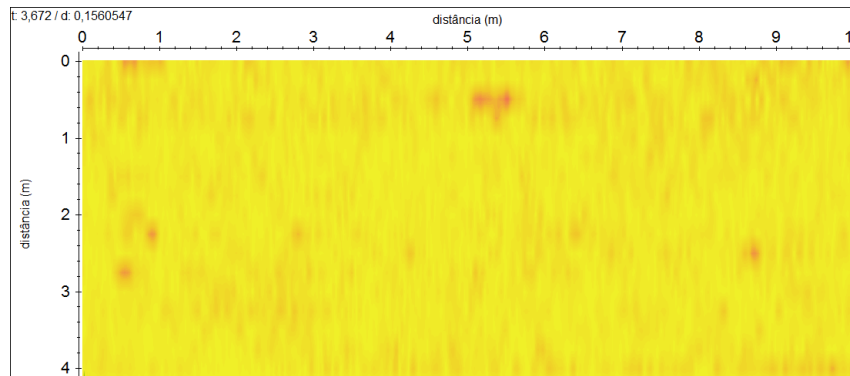
Na Figura 6.13c, observa-se que praticamente as mesmas condições anteriores se repetem a uma profundidade de 27 cm.

Na Figura 6.13d, na profundidade de 34 cm, observa-se o início de anomalias dentro da área do círculo (2) e fora dele; alguns sinais mais contínuos podem indicar o topo da camada de Grês do Pará, como mostrado especialmente no radargrama (6.11b).

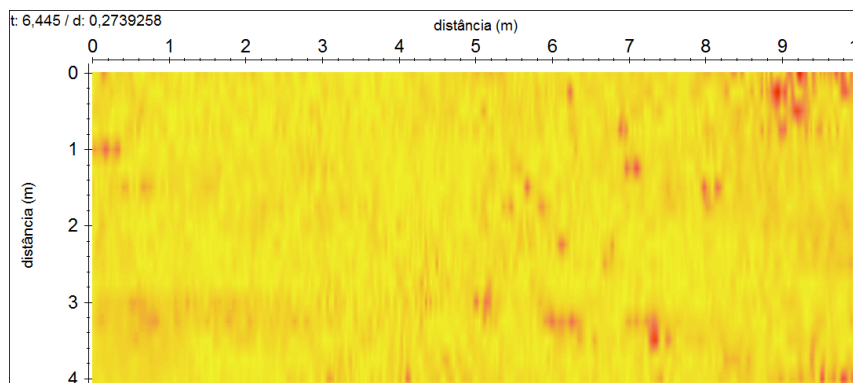
Figura 6.13 Cortes em profundidade da área de escavações nas profundidades: a) 0,10 m; b) 0,15; c) 0,27 e 0,34 m.. Os círculos 1 e 2, tracejados, marcam os locais das escavações



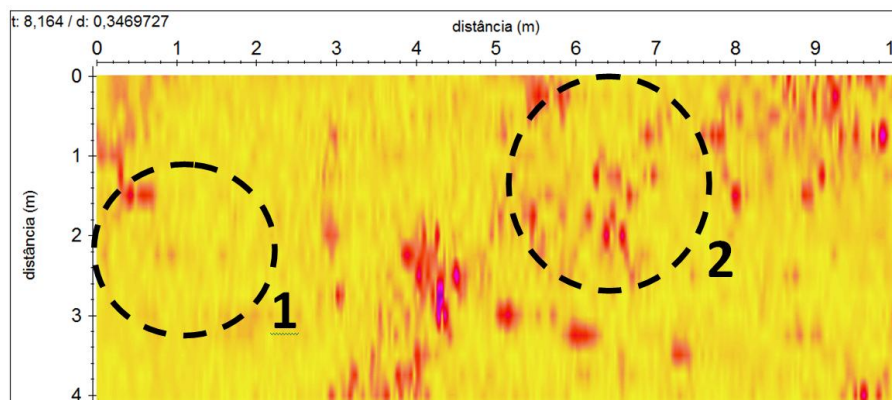
a)



b)



c)



d)

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Numa investigação Forense, saber previamente as dimensões do alvo procurado, pode significar economia de tempo na interpretação dos radargramas e na comparação das anomalias presentes, como por exemplo, na investigação de enterramentos criminosos em grandes áreas, as anomalias com comprimentos superiores ao de um cadáver humano podem ser descartadas ou analisadas posteriormente.

Os resultados obtidos no cemitério do Tapanã, em Belém, na área do FORAMB e na zona de sepultamentos sob concreto demonstraram a grande eficiência da metodologia GPR na visualização de alvos rasos sob variadas condições de campo, como a cobertura do solo argiloso e saturado ou abaixo de uma camada de concreto.

O presente estudo permitiu uma comparação do desempenho de técnicas de visualização diferentes de dados GPR em ambientes relativamente complexos, reforçando a utilização conjunta da visualização 2D e 3D dos dados na interpretação dos resultados.

O campo de testes FORAMB, demonstra sua importância científica e seu caráter didático, quando viabiliza a realização de aulas e de treinamentos, contribuindo com a formação de estudantes de graduação e pós-graduação, assim como no desenvolvimento de futuras pesquisas.

Em especial a zona de sepultamentos mostrou uma variedade de respostas, em parte previstas teoricamente e observadas em outros experimentos, em parte exigindo o avanço dos estudos na área.

O estudo realizado na ilha de Mosqueiro mostrou que alvos muito antigos, nas condições climáticas e geológicas investigadas, não deixam registro que permitam sua detecção fácil à baixa profundidade, cerca de 10 cm, ou abaixo desta, como esperado, uma vez que se trata de cemitério com provável longa história de sepultamentos. A frequência de 400 MHz utilizada não forneceu muitos detalhes até a profundidade de 30 cm no solo. Recomenda-se uma antena de frequência mais elevada para esta profundidade, mas o conteúdo de argila, por sua vez, é impeditivo de frequências elevadas.

A idade dos corpos enterrados no cemitério de Mosqueiro sugere que as hipérbolas prováveis de estarem relacionadas aos mesmos são aquelas menores e de pouco contraste com o meio. Por outro lado, antes da procura de hipérbolas, como os ossos já devem possuir as mesmas propriedades elétricas que o meio dado seu atual estágio, pode ser mais significativo observar quebras no acamamento resultantes da escavação. Assim como é possível que a Geofísica não seja ferramenta a ser recomendada para esse tipo de investigação em condições amazônicas como as de Mosqueiro.

REFERÊNCIAS

- ANNAN, A. P. **Ground penetration radar workshop notes. Sensors & Software, Inc., Internal Report**, p. 130. 2001.
- BEVAN, B.W. **The search for graves. Geophysics**. V. 56, p. 1310-1319. 1991
- BORGES, W.R. **Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente**: Estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP. Tese (doutorado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, SP, 256 p. 2007.
- BLUM, M. L. B. Uso da geofísica em perícias de crimes ambientais. **Revista Perícia Federal**, v. 8, n. 25, set/2006-maio/2007, p. 30-32. 2006.
- BRANDÃO, E. J. C. **Mosqueiro**: a história de um arquipélago singular amazônico. Ilhas amazônicas. ed. 1. Belém: [s.n], 2006. 10 p.
- CONYERS, L. B. **Ground-penetrating radar techniques to discover and map historic graves**. v. 40, n.3, p. 64-73. 2006.
- CONYERS, L. B. **Ground-penetrating radar for antropological research. Antiquity**, v. 84, p. 1-11. 2010.
- CATETE, C. P. **Investigações ambiental e forense com os métodos geofísicos radar de penetração do solo, polarização induzida e eletrorresistividade no cemitério do Tapanã**, Belém/Pará. 2010. 89f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém. 2010.
- COSTA, A. S. **Resistividade, potencial espontâneo e radiometria aplicados a investigação ambiental e forense no campo de testes do cemitério do Tapanã (Belém-PA)**. 2009. 43 f. TCC (Graduação) – UFPA, IG, Curso de Graduação em Geofísica, Belém, 2009.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM (CODEM). **Ortofotos do município de Belém** – áreas urbana e de expansão urbana. Prefeitura municipal de Belém/Pará. 1998. Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/app/c2ms/v/?id=18&conteudo=2672>. Acesso em dez. 2010.
- DANIELS, D. J. **Ground Penetrating Radar**. 2nd ed. London, U.K: The Institution of Electrical Engineers, IEE Radar, 2004. 735 p. (Sonar and Navigation Series 15).
- DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. **Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting**, v. 37, p. 531-551. 1989.
- DUPRAS, T. L., SCHULTZ, J. J., WHEELER, S. M.; WILLIAMS, L. J. **Forensic recovery of human remains**: Archaeological approaches. Boca Raton, FL: CRC Press. 2006. 232 p.
- DAMASCENO, F. F. **Levantamento geofísico do cemitério do Tapanã**. 2001. 67 f. TCC (Graduação) - DGF/CG/UFPA, Belém, 2001.
- ECKERT, William G. **Introduction to forensic sciences**, second editon/ William G. Eckert Originally published: New York: Elsevier, 385 p.1992.

FENNING P.J. and DONNELLY L.J.: **Geophysical techniques for forensic investigation**, Geological Society, London, Special Publications, 232 p. 11-20. 2004.

FREELAND, R. S.; MILLER, M. L.; YODER, R. E.; KOPPENJAN, S. K. **Forensic applications of FM-CW and pulse radar**. Journal Environmental Engineer Geophysics; v.8: p. 97–103. 2003.

GSSI - GEOPHYSICAL SURVEY SYSTEMS, INC. **Manual do TerraSIRch SIR System-3000**. 2003. 71 p. 119

GSSI. **LifeLocator III+**. GSSI. Salem, New Hampshire, USA. 2 p. 2010.

HAMMON III, W. S.; MCMECHAN, G. A.; ZENG X. **Forensic GPR: Finite-Difference Simulations of Responses from Buried Human Remains**. Journal of Applied Geophysics, 45: 171-186. 2000.

LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. C. **Geofísica de Prospecção** (volume 1). Belém: Universidade Federal do Pará; CEJUP, 311 P. 1995.

KOPPENJAN, S. K.; SCHULTZ, J. J.; FALSETTI, A. B.; COLLINS, M. E.; ONO, S. & LEE, H. **The application of GPR in Florida for detecting forensic burials**. SAGEEP 2003 635-649

MILSOM, J. **Field Geophysics**. John Milsom.– 3rd ed. Chichester, John Wiley. 174p. 2003.

NUZZO, L.; CASSIDY, N. J.; JERVIS, J.; PRINGLE, J.K. **Forensic Geophysics Over Simulated Urban Clandestine Burials: Preliminary Results From Gpr and Resistivity Surveys**. 26° Convegno Nazionale. Gruppo Nazionale di Geofisica Della Terra Solida. Roma. p 455 – 459. 2007.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 3 – Eletromagnetismo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 323 p. 1997.

NASCIMENTO, W. G.; **Investigação geofísica ambiental e forense com os métodos radar e LIN nos cemitérios do Bengui e do Tapanã (Belém, Pa)**. Versão inédita de Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém. 153 p.2009.

NETO, P. X. **Processamento e interpretação de dados 2D e 3D de GPR: Aplicações no imageamento de feições karsticas e estruturas de dissolução no campo de petróleo de Fazenda Belém-CE**. Tese (doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, 107p. 2006.

OLHOEFT, G. R.; MODROO, J. J. **Locating and identifying avalanche victims with GPR. The Leading Edge**. 306 – 308 pp. 121. 2006.

OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA PÚBLICA. **Superintendência da Polícia Técnico-Científica**. São Paulo. S.d. Disponível em: <<http://www.observatoriodeseguranca.org/dados/estrutura+policial/cientifica>>. Acesso em: 3.out.2010.

- POWELL, K. **Detecting Buried Human Remains Using Near- Surface Geophysical Instruments**, Exploration Geophysics, vol. 35, n°. 1, pp. 88-92. 2004.
- PORSANI, J.L.; BORGES, W.R; RODRIGUES, S.I. & HIODO, F.Y. **O Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP: Instalação e Resultados GPR 2D-3D**. Revista Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, v. 24, p. 49-61, 2006.
- PYE, K. & CROFT, D. J. (eds) 2004. **Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications**. Geological Society, London, Special Publications, 232, 1-5. _9 The Geological Society of London, 2004.
- PIRES, A. C. B. **Pesquisando em subsuperfície**. Revista de Perícia Federal, Ano III, nº10, 24-29 pp. Set. 2001
- PORSANI, J. L.; BORGES, W. R. ; ELIS, V. R. ; DIOGO, L. A.; HIODO, F. Y.; MARRANO, A.; BIRELLI, C. A. **Investigações Geofísicas de Superfície e de Poço no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG-USP**. Revista Brasileira de Geofísica, 22(3): 245-258. 2004.
- REITZ, J.R.; MILFORD, F.J.; CHRISTY, R.W. **Fundamentos de Teoria Eletromagnética**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 516 p. 1982.
- SANDMEIER, K. J. REFLEXW Version 4.2, Windows 9x/2000/NT. **Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data**. Manual do Software, Karlsruhe, Germany. 209p. 2006.
- SCHULTZ, J. J. **Using Ground-Penetrating Radar to Locate Clandestine Graves of Homicide Victims Homicide Studies**. Sage Publications, Vol. 11, No. 1, 15-29. 2007.
- SCHULTZ, J. J.; COLLINS, M. E.; FALSETTI, A. B. **Sequential Monitoring of Burials Containing Large Pig Cadavers Using Ground-Penetrating Radar**. Journal of Forensic Sciences, Vol. 51, nº 3, 607-616 pp. 2006.
- STRONGMAN, K. B.: **Forensic applications of ground penetrating radar; in Ground penetrating radar**, ed. J. Pilon; Geological Survey of Canada, Paper 90-4, p. 203-911. 1992
- STRATTON, J. A. **Electromagnetic Theory**. New York: McGraw-Hill, 615 p. 1941.
- SILVA, L. M. C.; NASCIMENTO, W. G.; LUIZ, J. G.; COSTA, A. A. S.; CATETE, C. P. **FORAMB: campo de testes controlados para Geofísica Forense, Ambiental e de Resgate, Belém/PA**. III Simpósio Brasileiro de Geofísica. Belém, 2008.
- TAVARES JÚNIOR, Gilberto da S. **A papiloscopia nos locais de crime: dactiloscopia, quiroscopia, podoscopia**. São Paulo: Ícone, 1991. 159 p. ISBN 8527401703.
- VISIBLEBODY. Disponível em: <http://www.visiblebody.com/start>. Acesso em: 10 out. 2010.
- WIKIPÉDIA. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_visível. Acesso em: 24 jun. 2012.

ANEXOS

ANEXO A-MÉTODOS GEOFÍSICOS

Geofísica é uma Ciência interdisciplinar relacionada com a natureza física da Terra que aplica os conhecimentos de Física, Matemática, Geologia e Química para compreender a estrutura e o comportamento dinâmico do planeta.

As propriedades físicas dos materiais terrestres, como densidade, magnetização e condutividade elétrica são inferidos a partir de medições dos campos físicos correspondentes: gravidade, campo magnético e campos elétricos.

A Geofísica é dividida em duas grandes áreas de atuação, a Geofísica de Prospecção que é também conhecida como Geofísica de Exploração e a Geofísica Global (LUIZ & SILVA, 1995).

Na Geofísica de Prospecção são aplicados princípios físicos para procura e avaliação de recursos como petróleo, gás, minerais, água e ainda materiais de construção, bem como investigados problemas ambientais associados, entre outros, enquanto com a Geofísica Global são estudadas feições maiores da Terra.

A aplicação da geofísica pode ser direta ou indireta. No primeiro caso, a feição procurada pode ser detectada porque possui contraste em suas propriedades físicas com relação ao meio. Na aplicação indireta da Geofísica, quem fornece o contraste é alguma feição sem interesse que permite, contudo, chegar ao material de interesse, por exemplo, as armadilhas estruturais que permitem descobrir petróleo. Vale ressaltar que na Geofísica, a Terra é investigada a partir do seu efeito nos campos físicos ou na propagação de ondas, deste modo, a interpretação geofísica lida sempre com problemas inversos; uma das características desses problemas é possuírem mais de uma solução, sendo que a correta deve ser procurada com base em informações adicionais sobre a subsuperfície (op. cit.).

Os métodos Geofísicos desenvolvidos e utilizados pela Geofísica de Prospecção são os métodos: Sísmico, Gravimétrico, Magnético, Elétricos e Eletromagnéticos (EM), entre outros.

O Método Sísmico baseia-se na emissão de ondas geradas artificialmente através de explosões e impactos mecânicos. Essas ondas penetram a certas profundidades no interior da Terra, que serão maiores à medida que a energia liberada no impacto for maior. Durante esse trajeto, as ondas irão atravessar diferentes camadas geológicas que apresentam características elásticas diferentes e, por essa razão, vão sofrer reflexão, refração e difração. As ondas que voltam trazem consigo informações sobre a subsuperfície.

O Método Gravimétrico baseia-se na medição das variações do campo gravitacional terrestre resultante das diferenças de densidade entre as diversas rochas localizadas na crosta

terrestre que, conseqüentemente, permite obter informação sobre as rochas que provocaram aquelas variações.

No Método Magnético, a interpretação de imagens de anomalias magnéticas apresentadas por algumas rochas que contêm minerais magnéticos trazem informações à respeito da constituição do local investigado.

Os Métodos Elétricos e EM lidam com o fluxo de corrente na subsuperfície terrestre. Os primeiros trabalham, comumente, com corrente contínua, enquanto os Métodos EM com corrente alternada e tem como base o fenômeno de indução eletromagnética.

Há três Métodos Elétricos: Eletroresistividade, Potencial Espontâneo e Polarização Induzida. O primeiro permite calcular a resistividade do terreno a partir da voltagem e corrente estabelecida artificialmente. O Potencial Espontâneo lida com correntes naturais subsuperficiais que podem ter inúmeras fontes (presença de condutor metálico, movimento de eletrólitos, etc.). Finalmente, o Método da Polarização Induzida está relacionado ao bloqueio de corrente iônica nos poros das rochas seja por mineral condutor eletrônico, seja pelo acúmulo de íons ao redor de partículas carregadas.

Os Métodos Eletromagnéticos (EM) são baseados no princípio da indução eletromagnética. Ao invés de eletrodos, tais técnicas utilizam, geralmente, uma bobina (transmissor) onde circula uma corrente elétrica que gera campo magnético que induz nos condutores por ventura existentes na subsuperfície corrente elétrica; esta, por sua vez, gera um campo magnético secundário que faz circular corrente, em geral, em outra bobina (receptor), cujo sinal pode ser amplificado, trazendo consigo informações sobre a subsuperfície.

O método Radar de Penetração no Solo, usado neste trabalho, é o único Método Eletromagnético que não é baseado no princípio de indução acima mencionado. Ele guarda grande analogia com o Método Sísmico que usa as ondas refletidas (Sísmica de Reflexão).

ANEXO B – RADARGRAMA DA ZONA DE SEPULTAMENTO DO CEMITÉRIO DO TAPANÃ

Figura 7.1 Radargrama do cadáver com 1 ano de enterramento A) Processado sem migração e B) Processado com migração (fk stolt).

