



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

WALDEMIR GONÇALVES NASCIMENTO

**INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA AMBIENTAL E FORENSE NOS
CEMITÉRIOS DO BENGUI E DO TAPANÃ (BELÉM - PA)**

BELÉM
2009

WALDEMIR GONÇALVES NASCIMENTO

INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA AMBIENTAL E FORENSE NOS
CEMITÉRIOS DO BENGUI E DO TAPANÃ (BELÉM - PA)

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 Ciências.

Área de Concentração: Métodos Eletromagnéticos

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

BELÉM
2009

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

Nascimento, Waldemir Gonçalves

N244i Investigação geofísica ambiental e forense nos cemitérios
do Bengui e do Tapanã (Belém – PA). – 2009
153 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Programa de Pós-
Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

Orientadora, Lúcia Maria da Costa e Silva.

1. Contaminação por cemitérios. 2. Geofísica Forense. 3.
GPR. 4. LIN. 5. Slingram. 6. Campo de testes geofísicos
rasos. 7. FORAMB. 8. Belém (PA). I. Universidade Federal do
Pará. II. Silva, Lúcia Maria da Costa e, orient. III. Título.

CDD 20º ed.:363.75098115

WALDEMIR GONÇALVES NASCIMENTO

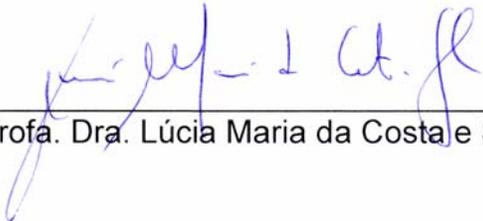
INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA AMBIENTAL E FORENSE NOS
CEMITÉRIOS DO BENGUI E DO TAPANÃ (BELÉM, PA)

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 Ciências.

Área de Concentração: Métodos Eletromagnéticos

Data de aprovação: 06/ 04/ 2009

Banca Examinadora:



Prof. Dra. Lúcia Maria da Costa e Silva (Orientadora)



Prof. Dr. José Gouvêa Luiz



Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges

BELÉM
2009

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a minha orientadora, Profa. Dra. Lúcia Maria da Costa e Silva, pela paciência e dedicação que teve comigo, principalmente pela troca de idéias que possibilitou um melhor desenvolvimento desta dissertação.

Ao Prof. Dr. José Gouvêa Luis, pela colaboração nas atividades de campo, bem como sugestões oportunas para o enriquecimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcos Welby, pelos esclarecimentos na parte computacional e sugestões.

À equipe de professores de Física da Escola Tenente Rego Barros (ETRB), pelo apoio na minha liberação para a realização do curso de mestrado, sem o qual eu não teria sido aceito neste programa de pós-graduação.

Ao Pesquisador Welitom Borges, pelos primeiros passos na utilização do Software Reflexw.

A Sra. Meyre Esther Mendes Chagas, diretora do Departamento de Necrópoles da Prefeitura Municipal de Belém Departamento de Necrópoles (DANE) e Dr. Oséas Batista da Silva Junior Secretário Municipal de Administração (SEMAD), pela concessão da área para os testes.

Ao Dr. Luis Carlos de Araújo Loureiro, coordenador de Perícia no Morto do Instituto Médico Legal (IML), pela liberação de material para o estudo.

Aos colegas da Pós-Graduação, Clístenes Catete, Marcos Leão e Walleson Gomes, pelo apoio e todos os momentos vivenciados.

Também não posso deixar de agradecer aos alunos da Graduação de Geofísica Alex Raiol, Anderson Santiago e Danusa Mayara, pela ajuda nas coletas de dados e também nos primeiros passos para com alguns softwares.

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.

A Profa. Aurora Mota pelo fornecimento dos dados de precipitação, da área em estudo, durante o período que ocorreram os levantamentos.

A Profa. Catarina Costa pelos esclarecimentos e sugestões relativas ao desenvolvimento deste trabalho.

Finalmente não posso esquecer-me de agradecer as duas coisas mais importantes da vida, minha amiga e companheira Tatiana Tavares Veloso e o meu querido filho Wellerson Veloso Nascimento, que me apoiaram e souberam compreender minha ausência na convivência do lar.

RESUMO

A Geofísica é uma ferramenta útil no estudo da contaminação de água provocada por cemitérios, assim como na investigação criminalística. A contaminação provocada por cemitérios é um tema ainda pouco estudado. Por outro lado, Geofísica forense é quase desconhecida no Brasil. Para estudar esses dois temas – cemitérios e alvos forenses - foram eleitos dois cemitérios públicos: o cemitério do Bengui, já desativado, e o cemitério do Tapanã. A investigação geofísica nos dois Cemitérios foi realizada por meio dos métodos eletromagnéticos ground penetrating radar (GPR) e Slingram de baixo número de indução (low induction number - LIN). No Cemitério do Bengui, testou-se o GPR na detecção do nível hidrostático, visto que, na implantação de um Cemitério, a informação mais importante é a profundidade do aquífero. No Cemitério do Tapanã, onde foi implantado o Campo de Testes controlados para Geofísica Forense, Ambiental e de Resgate, denominado FORAMB, utilizou-se GPR e Slingram em levantamentos mensais a fim de detectar o nível hidrostático, monitorar o desenvolvimento da contaminação e, especialmente, encontrar alvos forenses (um cadáver, uma caixa simulando um túnel e uma caixa com ferros simulando armas). O GPR mostrou-se eficaz em todos os estudos, especialmente na delimitação dos alvos forenses. O Slingram não forneceu informações úteis.

Palavras-chave: Contaminação por Cemitérios. Geofísica Forense. GPR. LIN. Slingram. Campo de testes geofísicos rasos. FORAMB. Belém (PA).

ABSTRACT

The Geophysics is an useful tool in the study of the contamination of water caused by cemeteries, and in the forensic investigation as well as. The contamination caused by cemeteries is still a theme little studied. Besides, forensic Geophysics is almost unknown in Brazil. To study those two themes - cemeteries and forensic targets - two public cemeteries were chosen: the cemetery of Bengui, already disabled, and the cemetery of Tapanã. The geophysical investigation in the two cemeteries was accomplished with two electromagnetic methods: ground penetrating radar (GPR) and Slingram of low induction number (low induction number - LIN). In the cemetery of Bengui, the GPR method was tested for the detection of the ground-water level because in the implantation of a cemetery, the most important information is the depth of the aquifer. In the Cemetery of Tapanã, where the Controlled Test Site for Forensic Geophysics, Environmental and of Rescue, denominated FORAMB, was implanted, GPR and Slingram were used in monthly surveys in order to detect the ground-water level, monitoring the development of the contamination and, especially, to find forensic objectives (a corpse, a box simulating a tunnel and a box with iron metal pieces simulating weapons). The GPR method was shown effective in all of the studies, especially in the delineation of the forensic objectives. The Slingram didn't supply useful information.

Key words: Contamination for Cemeteries. Forensic Geophysics. GPR. LIN. Slingram. Shallow geophysical test site. FORAMB. Belém (PA).

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1 - Aplicação do GPR na detecção de restos humanos (DANIELS, 2004). | 37 |
| Figura 3.2 - Radargrama do túnel escavado por detentos (PIRES, 2001). | 38 |
| Figura 4.1 - (a) Princípio básico de operação do GPR. (b) Exemplo de Scan. | 48 |
| Figura 4.2 – Radargrama | 48 |
| Figura 4.3 – Relação entre a velocidade e frequência para diferentes condutividades (Adaptado de DAVIS e ANNAN, 1989). | 51 |
| Figura 4.4 - Variação da velocidade da onda EM com a constante dielétrica (modificada de REYNOLDS, 1997) | 51 |
| Figura 4.5 – (a) Mudança da constante dielétrica com a espessura da zona capilar. (b) Variação inversa da amplitude do coeficiente de reflexão com a razão da espessura da zona capilar pelo comprimento da onda incidente (adaptado de REYNOLDS, 1997). | 53 |
| Figura 4.6 – Antenas (a) monoestática, e (b) biestática (BORGES, 2002). | 54 |
| Figura 4.7 - Arranjos usados nos levantamentos GPR (modificada de MILSON, 2003) | 55 |
| Figura 4.8 – (a) Propagação das ondas eletromagnéticas, e (b) respectivos tempos de chegada em relação à separação da antena (modificado de HUISMAN <i>et al.</i> , 2003) | 55 |
| Figura 4.9 - Fatores que influenciam o alcance do GPR (modificado de REYNOLDS, 1997). | 57 |
| Figura 4.10 - Esquema simplificado do princípio de operação dos métodos indutivos (Modificada de GRANT E WEST, 1965) | 59 |
| Figura 4.11 – (a) Dipolo vertical. (b) Dipolo horizontal. | 61 |
| Figura 4.12 – (a) gráfico para o modo DH e (b) gráfico para o modo DV | 63 |
| Figura 4.13 – Comparação da sensibilidade relativas para os dipolos vertical e horizontal (McNEILL, 1980). | 64 |
| Figura 4.14 – Resposta acumulativa para os dipolos horizontal (linha vermelha) e vertical (linha azul) (McNEILL, 1980). | 65 |
| Figura 4.15 – Relação entre condutividade real e aparente para os modos DV e DH (McNEILL, 1980). | 66 |
| Figura 4.16 – Representação do EM34-3. | 67 |
| Figura 5.1 - Mapa de localização do cemitério do Bengui (Fonte: CODEM, 1996) | 70 |

| | | |
|---------------|--|----|
| Figura 5.2 - | Seção esquemática do subsolo do cemitério do Bengui. A linha tracejada marca a parte da seção retirada para construção civil (CARVALHO JUNIOR, 1997). | 71 |
| Figura 5.3 - | Rotas de contaminação da água subterrânea por cemitérios (CARVALHO JUNIOR, 1997). | 71 |
| Figura 5.4 - | Acúmulo de água na superfície do terreno. | 72 |
| Figura 5.5 - | Mapa de contornos de Potencial Espontâneo da área do cemitério do Bengui. O limite do cemitério e a cruz que marca a posição da capela aparecem em branco (CARVALHO JUNIOR, 1997). | 74 |
| Figura 5.6 - | Localização dos perfis na área do cemitério. | 77 |
| Figura 5.7 - | Freqüências de corte usadas na elaboração do filtro. Adaptado de Brandwood (2003). | 79 |
| Figura 5.8 - | Mapa de SP mostrando a posição dos radargramas (baseado em CARVALHO JUNIOR, 1997). | 80 |
| Figura 5.9 - | Perfil 3. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado. | 84 |
| Figura 5.10 - | Perfil 4. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado. | 85 |
| Figura 5.11 - | Perfil 2. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado. | 86 |
| Figura 5.12 - | Perfil 1. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado. | 87 |
| Figura 5.13 - | Perfil 5. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado. | 88 |
| Figura 6.1 - | Mapa de localização do cemitério do Tapanã (Fonte: CODEM, 1996). | 90 |
| Figura 6.2 - | Mapa topográfico do cemitério com os valores em relação ao nível do mar (Dados fornecidos pela CODEM, 1999). | 91 |
| Figura 6.3 - | Litoestratigrafia do cemitério do Tapanã (DAMASCENO, 2001). | 92 |
| Figura 6.4 - | Ocorrência de saponificação no cemitério. | 93 |
| Figura 6.5 - | Ocorrência de superlotação no cemitério. | 93 |
| Figura 6.6 - | Banheiro sendo usado como ossuário. | 93 |
| Figura 6.7 - | Localização de sondagens e perfis. A cruz indica a capela (DAMASCENO, 2001). | 94 |
| Figura 6.8 - | Local escolhido para os testes. | 96 |
| Figura 6.9 - | Acima: localização do perfil no cemitério; as letras i e f assinalam início e fim do perfil. Abaixo: localização dos alvos no perfil. As letras C, T e A assinalam a posição exata do cadáver, túnel e caixa de armamentos, respectivamente. | 97 |
| Figura 6.10 - | A foto evidencia o enterro de cadáver humano na área do FORAMB. | 97 |
| Figura 6.11 - | Foto evidencia o enterro de uma caixa simulando um túnel na área do FORAMB. | 98 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.12 – Foto evidencia o enterro de uma caixa com ferros simulando armarias enterradas na área do FORAMB..... | 99 |
| Figura 6.13 – Foto evidencia o levantamento com o GPR na área do FORAMB..... | 100 |
| Figura 6.14 – Foto evidencia o levantamento com o LIN EM34-3..... | 100 |
| Figura 6.15 – Gráfico da precipitação em Belém (INMET, 2008)..... | 101 |
| Figura 6.16 – Resultados do LIN no modo DH (a) e no modo DV (b)..... | 105 |
| Figura 6.17 – Gráfico dos resíduos no modo DH..... | 106 |
| Figura 6.18 - Gráfico dos resíduos no modo DV..... | 107 |
| Figura 6.19 – Dados Brutos..... | 111 |
| Figura 6.20 – Dados processados e convertidos em profundidade..... | 112 |
| Figura 6.21 – Dados interpretados..... | 113 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|-----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 2 | GEOFÍSICA AMBIENTAL..... | 20 |
| 2.1 | CEMITÉRIOS COMO FONTE DE IMPACTOS AMBIENTAIS..... | 21 |
| 2.1.1 | Histórico..... | 21 |
| 2.1.2 | O Processo de Decomposição..... | 25 |
| 2.1.3 | Impactos dos Cemitérios..... | 29 |
| 2.2 | LEGISLAÇÃO REFERENTE AOS CEMITÉRIOS..... | 30 |
| 3 | GEOFÍSICA FORENSE..... | 36 |
| 3.1 | GENERALIDADES..... | 36 |
| 3.2 | CAMPOS DE TESTES..... | 39 |
| 4 | METODOLOGIA GEOFÍSICA..... | 43 |
| 4.1 | FUNDAMENTOS..... | 44 |
| 4.2 | GPR..... | 47 |
| 4.2.1 | Princípios..... | 47 |
| 4.2.2 | Equipamentos e Aquisição de Dados..... | 53 |
| 4.2.3 | Processamento dos Dados..... | 58 |
| 4.3 | MÉTODOS INDUTIVOS..... | 58 |
| 4.3.1 | Princípios..... | 58 |
| 4.3.2 | Equipamentos e Aquisição de Dados..... | 66 |
| 5 | CEMITÉRIO DO BENGUI..... | 69 |
| 5.1 | GENERALIDADES..... | 69 |
| 5.2 | TRABALHOS GEOFÍSICOS ANTERIORES..... | 73 |
| 5.3 | TRABALHO GEOFÍSICO REALIZADO..... | 76 |
| 5.4 | RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL..... | 80 |
| 6 | CEMITÉRIO DO TAPANA..... | 89 |
| 6.1 | GENERALIDADES..... | 89 |
| 6.2 | TRABALHOS GEOFÍSICOS ANTERIORES..... | 94 |
| 6.3 | TRABALHOS GEOFÍSICOS REALIZADOS..... | 95 |
| 6.4 | RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL E FORENSE..... | 101 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 6.4.1 | LIN..... | 101 |
| 6.4.2 | GPR..... | 108 |
| 7 | CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS | 114 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 116 |
| | ANEXOS | |
| | ANEXO 1 - TERMO DE REFERÊNCIA DE PROJETOS PARA IMPLANTAÇÃO DE CEMITÉRIOS HORIZONTAIS | 125 |
| | ANEXO 2 - NORMA TÉCNICA L1.040 (CETESB, 1999) | 133 |
| | ANEXO 3 - RESOLUÇÃO 335 e ALTERAÇÃO 368/CONAMA..... | 138 |
| | ANEXO 4 - RESOLUÇÃO N° 019/04 e ALTERAÇÃO N° 016/05 - SEMA..... | 146 |

1 INTRODUÇÃO

A investigação da subsuperfície, até poucos metros de profundidade, pode ser realizada por meio da Geofísica Rasa. A aplicação da Geofísica Rasa inclui, entre outros, a abordagem de problemas de Meio Ambiente, Geotecnia, Arqueologia e Criminologia.

Podem ser usados vários métodos para esse tipo de investigação, de acordo com o contraste de propriedades físicas existente: o Método Sísmico é usado se o contraste na elasticidade das rochas é esperado; o Método Gravimétrico, por sua vez, detecta contrastes laterais de densidade; o Método Magnético é útil se há variações da susceptibilidade magnética; o Método Radiométrico lida com variações de radioatividade e, finalmente, os Métodos Elétricos e Eletromagnéticos (EM) são usados quando existe contraste nas chamadas propriedades eletromagnéticas – resistividade, especialmente, permissividade elétrica (relevante apenas, quando usadas altas frequências) e a susceptibilidade magnética.

A geofísica ambiental lida com i) mapeamento de poluições e contaminações (em geral de aquíferos e solo), ii) prevenção de poluições e contaminações (o que envolve a seleção de áreas adequadas à implantação de projetos potencialmente poluidores e contaminadores) e iii) monitoramento de plumas de contaminação já descobertas e de projetos com potencial poluidor e contaminador implantados.

Nas proximidades de cemitérios, a água subterrânea, bem como o solo, podem vir a ser contaminados pelo necro-chorume proveniente do processo de decomposição cadavérica. Os trabalhos a esse respeito concentram-se na investigação da geometria (profundidade, em especial) dos aquíferos sob os cemitérios (por exemplo, MARTINS *et al.*, 1991 e DAMASCENO, 2001) e na detecção da direção e do sentido do fluxo d'água do aquífero livre (por exemplo, CARVALHO JUNIOR; SILVA, 1996), mas há, também, vários trabalhos (por exemplo, MATOS, 2001 e BARREIRA; DINIS; FIGUEIREDO, 2008) que mostram ser possível detectar a pluma de contaminação pelo necro-chorume pela sua maior condutividade. Para esses tipos de investigação, localização do nível hidrostático e sentido do fluxo d'água, são usados

Métodos Elétricos - Método do Potencial Espontâneo e Método da Eletrorresistividade - e Métodos Eletromagnéticos – em especial, Slingram trabalhando sob a condição conhecida como baixo número de indução (low induction number - LIN), que nesta dissertação será referido como método LIN.

Mendes, Pacheco e Hassuda (1989) estudaram a contaminação de água subterrânea por cemitérios com o Método EM, usando LIN, associando anomalias de condutividade elétrica aparente à presença de sais minerais e outras substâncias liberadas durante a decomposição dos corpos.

Martins *et al.* (1991) fizeram estudos geofísicos prévios usando o Método da Eletrorresistividade (sondagem elétrica vertical - SEV) e o LIN, com o objetivo de apontar as posições mais adequadas para a amostragem de água subterrânea e sua subsequente avaliação quanto à qualidade sanitária e higiênica de três cemitérios, Vila Formosa e Vila Nova Cachoeirinha no município de São Paulo e Areia Branca em Santos.

Carvalho Junior e Silva (1996) aplicaram o Método do Potencial Espontâneo e o Método da Eletrorresistividade (caminhamento elétrico e SEV), para estudar o fluxo da água subterrânea sob o Cemitério São José no Bengui em Belém do Pará, comprovando que o fluxo se deslocava do cemitério no sentido da área residencial. Esse trabalho, conjuntamente com a análise de águas realizada, motivou o fechamento do referido cemitério devido à contaminação das águas que o mesmo provocava.

Damasceno (2001) utilizou o Método da Eletrorresistividade (caminhamento elétrico e SEV) a fim de mapear e localizar aquíferos sob o cemitério do Tapanã, em Belém do Pará.

Matos (2001) aplicou Eletrorresistividade (SEV) para obter informações litológicas do subsolo e LIN para identificar possíveis anomalias de condutividade elétrica que poderiam estar associadas à contaminação pelo necro-chorume no cemitério de Vila Nova Cachoeirinha município de São Paulo.

Bello, Sadalla Neto e Santos Filho (2002) realizaram investigação em uma área no bairro do Tapanã, em Belém no estado do Pará, para a implantação de um cemitério, bem como verificar os possíveis impactos na área provocados por fontes de

contaminação existentes no seu entorno, como uma usina de asfalto e o cemitério municipal do Tapanã. O método geofísico utilizado foi a Eletrorresistividade (SEV).

Machado (2006) aplicou Eletrorresistividade (SEV) como uma das ferramentas para avaliar o potencial de contaminação de 15 cemitérios municipais tradicionais, localizados no entorno da Baía de Guanabara no Rio de Janeiro.

Silva *et al.* (2007) aplicaram o Método da Eletrorresistividade (SEV), na investigação de contaminação por necro-chorume no cemitério da Vila Rezende, Piracicaba - São Paulo. Os resultados indicaram que a contaminação pode ter ligação com a profundidade do lençol freático e com o tempo decorrido após o sepultamento.

Barreira, Dinis e Figueiredo (2008) investigaram com o LIN o cemitério de Fonte de Angeão em Vagos (Portugal). Os autores detectaram uma pluma condutiva entre cerca de 10 e 30 m de profundidade, com uma extensão aproximada de 240 m para Norte, 160 m para Oeste, 140 m para Noroeste, 90 m para Sul e 30 m para Leste.

Silva e Souza (2008) mostram conjunto de valores de condutividade medidos com o LIN no cemitério do Tapanã em Belém (Pará) em zonas de inumação de diferentes idades e em zona sem inumação, para testar a hipótese de que o excesso de chuvas na Amazônia se incumbiria de dispersar o necro-chorume, ou seja, prejudicaria a detecção da pluma de contaminação diretamente pela sua condutividade. Esse estudo, contudo, defende que a possibilidade do necro-chorume ser rastreado diretamente pela geofísica na Amazônia seja estudada mais detalhadamente, o que fomentou a criação do Campo de Testes Controlados de Geofísica no Tapanã, o FORAMB (SILVA *et al.*, 2008).

A informação mais importante para a implantação de cemitérios horizontais é a profundidade do topo do aquífero livre, ou seja, o nível hidrostático (NH), pois é exigida uma distância mínima do nível inferior das sepulturas ao topo do lençol freático. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) exige que essa distância seja de pelo menos um 1,5 m acima do mais alto nível do lençol freático, medido no final da estação das cheias, por meio do artigo 5º da Resolução 368 de 28 de março de 2006 (CONAMA, 2006).

Tradicionalmente, o NH é mapeado por meio de uma rede de furos mecânicos. Porém, um método de investigar a subsuperfície, que pode detectar o nível freático, é o método geofísico do radar de penetração no solo ou simplesmente GPR. Trabalhos com o GPR são muito mais rápidos e menos dispendiosos do que uma rede de furos.

Na literatura, contudo, observa-se que o GPR é usado muito raramente na detecção do NH, pois o interesse, em geral, é a detecção de outros tipos de alvos. Cardimona, Kadinsky-Cade e Clement (1998) descrevem um experimento no laboratório da Força aérea, em Dover, Delaware (EUA), com objetivo de comparar os resultados do GPR e da sísmica de reflexão na detecção do NH. Marcelino *et al.* (2005) usaram o GPR e poços para monitorar a variação do lençol freático em uma área de mata permanente de diferentes coberturas vegetais. Paixão (2005) integrou o método GPR com a sísmica de refração, visando o mapeamento do nível d'água e a estimativa do teor de umidade em uma área do campus da USP, assim como analisou a acurácia das medidas obtidas com os dois métodos. Sá (2007) estudou a profundidade do lençol freático sob solos submetidos a diferentes tipos de uso. Não foi encontrada referência sobre o uso do GPR na detecção do NH em cemitérios.

Esse quadro suscitou o interesse de se verificar a profundidade do topo do aquífero livre em cemitérios por meio do GPR, uma tecnologia de imageamento mais moderna do que as usadas até então, bem como averiguar a variação da condutividade com o tempo de sepultamento por meio do LIN e do GPR.

Foram eleitos dois cemitérios públicos rotativos para os trabalhos: Cemitério São José e Cemitério do Tapanã, em Belém do Pará. O cemitério São José, popularmente conhecido como cemitério do Bengui, devido a sua localização em bairro homônimo, encontra-se fechado desde 1997. O cemitério do Tapanã está em operação, substituindo o cemitério do Bengui.

Vários perfis de GPR foram realizados no cemitério do Bengui. Para o trabalho com o LIN, como ele foi voltado à detecção direta de efeitos possíveis do necro-chorume, foi construído o campo de testes FORAMB no cemitério do Tapanã, em

área ainda sem inumação, de modo a evitar a influência da rotatividade dos corpos inumados, e posterior inumação.

A montagem desse tipo de campo de testes controlados permite testes de interesse da Criminologia, em uma recente aplicação da geofísica, conhecida como Geofísica Forense (PIRES, 2001). Os alvos nesse caso podem ser covas clandestinas ou restos mortais; vazios em construções ou túneis na subsuperfície e armamentos enterrados.

O campo de testes FORAMB foi construído de modo a permitir investigações ao longo de um perfil de 13 m de comprimento, que tem enterrado, na direção transversal a ele:

- 1) um indigente, para estudo da resposta geofísica à pluma de necro-chorume bem como à sepultura clandestina;
- 2) uma caixa oca, simulando túnel comum em penitenciárias, construído para fugas;
- 3) uma caixa fechada contendo metais com peso equivalente a um conjunto de armas, para simular armamento enterrado para despistar seu roubo.

Os trabalhos na área de Geofísica Forense remontam ao fim da década de 1980 e início da década de 1990 (PIRES, 2001). De lá para cá, experimentam uso crescente.

Strongman (1988 apud PIREs, 2001) propôs em seu trabalho a aplicação do GPR à investigação forense. Pires (2001) afirma que métodos magnéticos e eletromagnéticos vêm sendo utilizados com frequência na procura de objetos metálicos e em cenas de crimes. Pippett e Toft (2005) demonstraram que a geofísica, em geral por meio dos Métodos EM (em especial, o GPR), permite a identificação de forma rápida e com custo reduzido de corpos e restos mortais em locais pontuais, bem como em áreas de genocídios e conflitos civis.

De um modo geral, a maioria dos trabalhos de geofísica Forense, mais precisamente de criminalística, visa principalmente a localização de restos humanos com o GPR (por exemplo, MELLET; GEISMAR, 1990, PERSONS, 1990, BEVAN, 1991,

UNTERBERGER, 1992, HAMMON III; MCMECHAN; ZENG, 2000, FREELAND *et al.*, 2003, DANIELS, 2004 e SCHULTZ, 2007).

No Brasil, há pouquíssimos trabalhos acadêmicos sobre Geofísica Forense. O primeiro estudo foi realizado provavelmente em 1994, quando o Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB) foi convidado pelo Departamento de Polícia Especializada da Secretaria de Segurança do Distrito Federal para aplicação da geofísica na localização de restos humanos, supostamente enterrados no interior de uma residência (PIRES, 2001).

Para o estudo da localização de covas clandestinas bem como de corpos humanos soterrados, destacam-se as simulações realizadas com animais (porcos, devido as suas características físico-biológicas serem as mais próximas dos seres humanos) (DAVENPORT *et al.*, 1992; STRONGMAN, 1992, POWELL, 2004, SCHULTZ; COLLINS; FALSETTI, 2006 e NUZZO *et al.*, 2007).

Diante do quadro exposto, neste trabalho optou-se por investigar o campo de testes controlados construído no cemitério do Tapanã tanto com o LIN como com o GPR. O campo de testes construído permite estudos tanto do âmbito da Geofísica Ambiental como da Geofísica Forense e, ainda, fornece alguns subsídios para operações de resgate de vítimas de soterramento, daí ter sido denominado FORAMB (Forense e Ambiental).

Esta dissertação aborda no capítulo 2 os cemitérios e seus diferentes tipos de impactos, principalmente o ambiental, e analisa a legislação. O capítulo 3 é dedicado à Geofísica Forense e suas aplicações diretas em Criminalística. O capítulo 4, por sua vez, é dedicado à fundamentação teórica dos dois métodos geofísicos utilizados: GPR e LIN. Os capítulos 5 e 6 apresentam as duas áreas de estudo, respectivamente, cemitério do Bengui e campo de testes geofísicos FORAMB do cemitério do Tapanã, com a problemática vivenciada no cemitério do Bengui que levou ao seu fechamento e a atual problemática do cemitério do Tapanã. Nesses capítulos, os trabalhos geofísicos e de outras naturezas são revistos brevemente e os resultados obtidos com este trabalho a partir de investigações de campo realizadas entre 2006 e 2008 são apresentados. Finalmente, o capítulo 7 reúne as conclusões obtidas com o trabalho.

2 GEOFÍSICA AMBIENTAL

Um dos grandes desafios do século XXI é indubitavelmente resolver o conjunto de problemas que a utilização abusiva do meio ambiente provoca. O efeito estufa, a depleção da camada de ozônio, a redução da biodiversidade, o desmatamento, os resíduos da população e o esgotamento de alguns recursos naturais, o solo e, em especial, a água, são alguns desses problemas ambientais.

A existência da água nos estados sólido, líquido e gasoso na Terra envolve o gigantesco fenômeno denominado Ciclo Hidrológico, a contínua circulação entre os oceanos, a atmosfera e os continentes, há pelo menos 3,8 bilhões de anos. Cerca de 97,6% da água do planeta é constituída pelos oceanos, mares e lagos de água salgada. A água doce, representada pelos 2,4% restante, tem sua maior parte situada nas calotas polares e geleiras (1,9%), inacessível aos homens pelos meios tecnológicos atuais. Da parcela restante (0,5%), mais de 95% é constituída pelas águas subterrâneas (CAPUCCI *et al.*, 2001). Menos de 5% da água doce disponível no planeta, portanto, estão presentes nos rios e lagos, que são mais afetados pela ação antrópica do que as águas subterrâneas. O homem, contudo, já vem enfrentando sérios problemas seja pela escassez, seja pelo mau uso e, ainda, seja principalmente pela poluição e contaminação tanto das águas superficiais como das águas subterrâneas.

Há dois tipos de fontes de poluição e contaminação:

A) a fonte localizada (ou pontual), responsável pelo lançamento de poluentes em um determinado local, que é fácil de identificar e de monitorar, e

B) a fonte difusa (ou não localizada), que envolve o lançamento dos poluentes sem um ponto de referência, espalhando-os por toda a cidade, que é difícil de identificar e tratar.

Dentre as fontes de poluição e contaminação da água, destacam-se aquelas capazes de atingir as águas subterrâneas, pelo potencial estratégico que estas terão na manutenção da vida. São elas:

- i) infiltração das fossas sépticas;
- ii) injeção de esgotos no subsolo;

- iii) vazamentos de tubulações ou depósitos subterrâneos;
- iv) infiltração de águas contendo agrotóxicos, fertilizantes, detergentes e poluentes atmosféricos depositados no solo;
- v) percolação do chorume resultante de depósitos de lixo no solo e
- vi) percolação do necro-chorume resultante dos cemitérios.

A última é pouco conhecida, talvez pela pequena quantidade de trabalhos publicados sobre cemitérios, talvez pela simples aversão que o tema comumente produz. O certo é que a necessidade de estudos mais aprofundados é notória, principalmente após a resolução do CONAMA, que dispõe sobre a obrigatoriedade do licenciamento ambiental de cemitérios no território nacional (CONAMA, 2003), já que cemitérios são fontes de contaminação localizadas, mas de grande periculosidade, devido à elevada carga de patógenos que pode estar presente.

2.1 CEMITÉRIOS COMO FONTE DE IMPACTOS AMBIENTAIS

2.1.1 Histórico

Os cemitérios surgiram há mais de 100 mil anos, mas essa designação é muito mais nova: cemitério é oriundo da palavra grega *koimetérion*, que significa dormitório, e seu uso para designar o local de descanso após a morte começou a partir do crescimento do cristianismo.

Os cristãos do primeiro século não tinham cemitérios próprios, possuíam terrenos, onde sepultavam neles os seus defuntos, ou recorriam aos cemitérios comuns, usados também pelos pagãos. Já na primeira metade do século segundo, começaram a sepultar os seus mortos abaixo da terra, em catacumbas (FORGANES, 1998).

Rosa (2003) descreve em seu trabalho, que foi a partir do século V que começou a prática de enterramentos nas igrejas (nesta época as igrejas não possuíam

bancos ou cadeiras, as pessoas assistiam as missas em pé, de joelhos ou sentados no chão, isto é, sobre as sepulturas) ou em cemitérios contíguos a estas.

Na Idade Média, predominou uma relação de proximidade entre os vivos e os mortos. Os cadáveres humanos eram enterrados, de acordo com a posição social, no interior das igrejas ou suas imediações, abadias, mosteiros, conventos e em cemitérios contíguos geridos pelos sacerdotes. A plebe enterrava seus mortos no campo e os mortos em guerra eram triturados e misturados para produção de adubo. Na época houve proliferação de várias endemias como a peste negra, o tifo e outras (SILVA, 1998).

No século XVIII, a ciência desenvolveu a "doutrina dos miasmas", segundo a qual as matérias orgânicas em decomposição, especialmente as de origem animal, sob a influência de elementos atmosféricos (temperatura, umidade, direção dos ventos, etc.) formavam vapores ou miasmas nocivos à saúde, infectando o ar que se respirava. Como consequência, em 1780, o primeiro cemitério foco de epidemias foi desativado, o Saint Innocents, que servia a mais de vinte paróquias no coração de Paris (SILVA, 1998). Os sepultamentos passaram a ser realizados em área aberta, nos chamados campos-santos ou cemitérios secularizados, procedimento comum entre outros povos como os judeus e os protestantes, em muitos países.

No Brasil, o enterro fora da Igreja era reservado aos não-católicos, escravos e condenados, até que por lei, de setembro de 1850, inspirada na relação entre a transmissão de doenças e por miasmas concentrados nas naves e criptas, se instalaram os campos de sepultamentos ensolarados (VALLADARES, 1972). A doutrina dos miasmas contribuiu também para justificar a política do sanitarista Osvaldo Cruz no Rio de Janeiro na primeira década da República (CHALHOUN, 1996). Silva (1998) relata que as legislações que proibiam os enterros nas igrejas sofreram resistências por parte da população no Brasil como também na Europa. Um exemplo ocorreu em 1836, na cidade de Salvador, Bahia, onde um cemitério local foi destruído, em menos de uma hora (revolta que ficou conhecida como "Cemiterada").

Rosa (2003) esclarece que a partir da segunda metade do século XIX passou a ser consensual a exclusão dos cemitérios do perímetro urbano, inclusive dos

cemitérios contíguos às igrejas, pelo fato de serem facilitadores da propagação dos miasmas culpados pelas epidemias. Começou, então, a criação de cemitérios extra-muros, isto é, fora do perímetro urbano em várias cidades brasileiras.

O fato é que muitos acham que o “local” cemitério ainda é a única maneira para lembrar aqueles que partiram desta vida. Os cemitérios de cadáveres humanos são monumentos à memória daqueles que morreram e que os vivos fazem questão de perpetuar. Conseqüentemente, ao longo do tempo, este tipo de construção adquiriu a condição de inviolabilidade no que tange à pesquisa científica nos seus diferentes aspectos (MATOS, 2001).

Os cemitérios, contudo, não recebem a devida atenção, a começar pelo local de seu assentamento, não raramente impróprio do ponto de vista geológico; a preservação com freqüência é deficitária e a ocupação do seu entorno não planejada, de modo que podem se formar bolsões de famílias de baixa renda, às vezes usando a água local. Diante desta situação sócio-ambiental, a World Health Organization – WHO (1998) se mostrou preocupada com os impactos que os cemitérios poderiam causar ao meio ambiente e enfatizou a necessidade de mais pesquisas a respeito do assunto. Matos (2001) afirma que o estudo sobre o impacto ambiental provocado pelos cemitérios ainda é incipiente.

O trabalho de Martins *et al.* (1991) em três cemitérios (Vila Formosa, Vila Nova Cachoeirinha e Areia Branca) de São Paulo constatou, por via de análises bacteriológicas de amostras da água, a contaminação do lençol freático por microrganismos. No Vila Formosa, poucos anos depois, análises de Migliorini (1994) apontaram como fonte mais provável da contaminação da água subterrânea a cal utilizada no cemitério que estava sendo usada para acelerar a depuração das águas. Matos *et al.* (1998) chamaram novamente a atenção para a decomposição dos corpos presentes nos cemitérios como elementos responsáveis pela contaminação de cemitério em São Paulo. Matos (2001) investigou em detalhe o Vila Nova Cachoeirinha, encontrando bactérias heterotróficas, proteolíticas e clostrídios sulfitos-redutores, além de enterovírus e adenovírus nas águas subterrâneas do cemitério e atribuiu como

principais fontes de contaminação as sepulturas com menos de um ano, localizadas nas cotas mais baixas, próximas ao nível freático.

Em Belém, análises de água coletadas em três cemitérios mostraram que dois deles contaminavam as águas (FONSECA, 1994). Um desses cemitérios, o Bengui, foi fechado a partir dos resultados provenientes da integração dos resultados geofísicos (CARVALHO JUNIOR; SILVA, 1996 e 1997 e CARVALHO JUNIOR, 1997) com os resultados das análises de água (FONSECA, 1994 e BRAZ; MENEZES; BERREDO, 1996). Mesmo após o fechamento do cemitério em Bengui, o cemitério continuou como fonte de contaminação das águas (BRAZ; MENEZES; SILVA, 2000).

Marinho (1998) mostrou que o cemitério São João Batista de Fortaleza também contamina o aquífero, pela presença de bactérias e produtos nitrogenados.

Costa, Menegasse e Franco (2002) realizaram estudos em dois cemitérios de Belo Horizonte, Cemitérios da Paz e da Saudade, e constataram que é bastante significativa a contaminação das águas subterrâneas nas proximidades desses cemitérios por metais e pela presença de bactérias, principalmente quando a superfície freática encontra-se a pequena profundidade, sem, no entanto, especificar a profundidade da superfície freática observada.

Espíndula (2004) encontrou uma grande densidade de microrganismos nas amostras de água do lençol freático subjacente ao cemitério da Várzea na região metropolitana de Recife, em Pernambuco. A presença de bactérias heterotróficas, bactérias proteolíticas e clostrídios sulfito-redutores nas amostras de água fez com que a pesquisa ratificasse a contaminação oriunda do cemitério.

A contaminação de águas subterrâneas por cemitérios está, em geral, relacionada à decomposição dos corpos.

2.1.2 O Processo de Decomposição

Verificado o óbito, o cadáver, após ser sepultado, passa por processos de transformação que podem ser destrutivos ou conservativos. Entre os processos destrutivos, o mais importante é a putrefação.

O processo de putrefação engloba quatro fases: fase de coloração (ou cromática), fase gasosa, fase coliquativa (ou humorosa) e fase de esqueletização (FÁVERO, 1980 apud MIOTTO, 1990). As mais importantes para a contaminação das águas são as fases gasosa e humorosa (PACHECO, 1986).

A fase de coloração, em geral, inicia-se entre 18 e 24 horas após o óbito, com a manifestação das bactérias intestinais (enterobactérias), do tipo saprófitas, em meio anaeróbico. Apresenta-se por meio de uma mancha esverdeada na pele da fossa ilíaca direita (mancha verde abdominal), cuja cor é devida à presença de sulfometahemoglobina, resultado da reação do gás sulfídrico com a hemoglobina. A duração desta fase é de 7 a 12 dias, dependendo das condições climáticas (VANRELL, 2008).

Na fase gasosa, que se inicia sete a doze dias após o sepultamento pode se estender por até seis a oito meses (SILVA, 1998), os gases originados na cavidade abdominal começam a se difundir por todo o corpo, originando a formação de bolhas inicialmente na pele e depois avolumando o corpo, que fica com aspecto de gigantismo. A forte pressão dos gases provoca o arrebentamento do corpo, ocorrendo posteriormente a produção do líquido humoroso, também conhecido por necrochorume, que é facilmente detectável pelo odor intenso nauseoso e insuportável.

A terceira fase, a humorosa, inicia-se logo após a fase gasosa e pode se estender até dois ou três anos (SILVA, 1998). É caracterizada pelo amolecimento e desintegração dos tecidos, que dá formação de um líquido denso e escuro, o necrochorume. As partes moles têm seu volume reduzido devido à desintegração dos tecidos. Os gases se exalam, ficando o corpo reduzido a uma “massa” de odor fétido, que perde pouco a pouco a sua forma. Nesse período, além dos microorganismos

putrefativos, há grande participação de larvas de insetos, que concorrem para a destruição do cadáver.

Na última fase do processo da putrefração, a fase de esqueletização, após dois anos e meio a três anos de sepultamento, o esqueleto é desmontado, reduzindo a massa cadavérica a 18 ou 20 kg.

Os cabelos e os ossos resistem por muitos anos. Os ossos, contudo, devido à perda da ossaína, tornam-se gradativamente friáveis, frágeis, quebradiços e mais leves. Esse período pode perdurar por vários anos, dependendo das condições do meio.

2.1.2.1 O Necro-chorume

O necro-chorume é um líquido liberado intermitentemente pelos cadáveres em putrefação, em quantidades equivalentes a 0,60 l/kg (30 a 40 litros se o cadáver possui 70 kg). Esse líquido, mais viscoso que a água, mas nela bastante solúvel, tem cor acinzentada a acastanhada, cheiro acre e fétido densidade média de 1,23 g/cm³ e pH variando de 5 a 9 em temperatura de 23° a 28° C. Ele é constituído por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas degradáveis, e entre as quais duas diaminas muito tóxicas: a putrescina (1,4 Butanodiamina) e a cadaverina (1,5 Pentanodiamina), para as quais ainda não se dispõem de antídotos eficientes (SILVA, 1998).

O necro-chorume apresenta toxidade elevada em decorrência da presença não só dos venenos orgânicos complexos, mas também de agentes patogênicos (bactérias e vírus). Entretanto, a influência do necro-chorume sobre a água depende, especialmente, se o tipo de solo e de terreno permitem o seu acúmulo.

O necro-chorume pode contaminar o solo e a água. Os patógenos, em sua grande maioria, têm aversão natural ao oxigênio presente na zona insaturada do solo, porém a água subterrânea presente na zona saturada é pobre em oxigênio dissolvido, o que favorece a sobrevivência dos mesmos. Os microorganismos provenientes da

decomposição podem, conseqüentemente, contaminar o lençol freático e mesmo os aquíferos confinados. O tempo de sobrevivência das bactérias e vírus varia muito; em geral, é de dois a três meses, mas pode atingir cinco anos em condições ideais (ROMERO, 1970 apud MATOS, 2001).

Normalmente, a ingestão, a inalação ou qualquer contato direto com as substâncias tóxicas ou patogênicas do necro-chorume atingem os seres humanos principalmente através do trato digestivo, do fígado, dos pulmões ou da epiderme (CARVALHO JUNIOR, 1997). As bactérias do gênero *Clostridium*, tipo esporuladas anaeróbicas, por exemplo, não oferecem riscos ao serem ingeridas, entretanto são capazes de provocar doenças quando penetram no organismo através da pele.

As principais doenças (veiculação hídrica) são mostradas no Quadro 2.1. O necro-chorume pode causar essas e outras enfermidades, algumas que podem levar à morte, bem como provocar epidemias.

Apesar de muitos organismos serem suscetíveis à transmissão de doenças pela água, os indicadores de contaminação usualmente utilizados são os coliformes, principalmente do grupo dos coliformes fecais ou termotolerantes, e os estreptococos. Os coliformes fecais possuem um tempo muito curto de sobrevivência, tanto no solo como nas águas subterrâneas. Os estreptococos fecais podem sobreviver por mais tempo em águas subterrâneas, mantidas naturalmente a temperaturas baixas.

A geração do necro-chorume se dá principalmente no período humoroso e, ainda, gasosa do fenômeno putrefativo. Essas são as fases, portanto, que oferecem o maior risco de contaminação (FRANÇA, 1985 apud MIOTTO, 1990).

Quadro 2.1 – Principais Doenças de Veiculação Hídrica (modificada de MATOS, 2001).

| Tipo | Transmissor | Características | Doença |
|---------------------|-------------------------------|--|---|
| Protozoários | <i>Cryptosporidium</i> | Resistente à cloração | Gastrenterite |
| | <i>Entamoeba histolytica</i> | Locomove-se e alimenta-se por meio de pseudópodes | amebíase |
| | <i>Giárdia lamblia</i> | Apresenta simetria bilateral. | Gastrenterite |
| Bactérias | <i>Escherichia coli</i> | Bacilo reto, gram-negativo, anaeróbio facultativo | Diarréia e dores abdominais |
| | <i>Legionella pneumophila</i> | Bacilo, gram-negativo, aeróbio | Pneumonia e febre |
| | <i>Leptospira interrogans</i> | Célula em forma de hélice flexível, gram-negativo, aeróbio | Leptospirose |
| | <i>Salmonella typhi</i> | Gram-negativo, anaeróbio facultativo | Febre tifóide. |
| | <i>Shigella dysenteriae</i> | Bacilo reto, anaeróbio facultativo, gram-negativo, | Febre intestinal, gastrenterite, disenteria. |
| | <i>Vibrio cholerae</i> | | Cólera |
| Vírus | <i>Adenovírus</i> | Resistente no ambiente | Infecções respiratórias |
| | <i>Echo humano</i> | | Meningite, doenças respiratórias, erupções cutâneas, diarréia, febre |
| | <i>Hepatite A</i> | Muito estável, resistente em meio ácido e em elevada temperatura. | Hepatite e gastrenterite |
| | <i>Poliovírus humano</i> | | Paralisia, meningite, febre. |
| | <i>Reovírus</i> | Icosaedro, mas muitos apresentam a forma esférica. Relativamente estáveis. | Infecções do trato respiratório superior, enterite em crianças e bebês. |
| | <i>Rotavírus grupo B</i> | Icosaedro, estável até o pH 3,0 e relativamente resistente ao calor | Gastrenterite. |

2.1.2.2 Fenômenos Conservativos: Mumificação e Saponificação

A decomposição do corpo pode demorar muito tempo, quando o processo putrefático é interrompido. Isso ocorre normalmente devido a interferências externas, em determinadas condições geológicas, e é observado em um grande número de cemitérios. Os fenômenos conservativos mais comuns são a saponificação e a mumificação (PACHECO; BATELLO, 2000).

A mumificação ocorre geralmente em ambientes onde predominam baixa umidade e temperatura elevada, que impedem a ação microbiana. Os solos que

propiciam a mumificação são os do tipo arenoso das regiões desérticas e os solos calcários (permitem a histometabose, uma fossilização incipiente provocada pela substituição catiônica do sódio e do potássio pelo cálcio).

Se o ambiente for excessivamente úmido, há o favorecimento da saponificação, onde a gordura adquire um aspecto céreo. Este processo ocorre mais facilmente em solos argilosos, porosos, impermeáveis ou pouco permeáveis, quando saturados de água.

Ambos, mumificação e saponificação prolongam a permanência dos corpos semi-decompostos e mantêm o perigo de contaminação latente, dada a oferta de vetores disponíveis e mobilizáveis.

2.1.3 Impactos dos Cemitérios

Os cemitérios provocam impactos ambientais, psicológicos, urbanísticos e sócio-ambientais.

O impacto ambiental dos cemitérios refere-se, em geral, à contaminação dos solos e, especialmente, da água, pelo necro-chorume. Este é o tipo de impacto que mais chama a atenção e é o alvo deste trabalho.

Não obstante, existem outras questões ambientais relevantes, como a disposição dos resíduos sólidos advindos das visitas pelos amigos e familiares aos cemitérios, a poluição muitas vezes visual causada pela negligência aos túmulos e também pelos resíduos de construção muitas vezes abandonados nas proximidades da sepultura. Ainda, inclui-se como problema ambiental, o manejo inadequado das espécies zoológicas constantemente presentes em cemitérios, como as formigas e, em vários lugares, os tatus, que violam túmulos para se alimentarem de restos mortais humanos. Estes animais podem, conseqüentemente, servir como vetores de doenças, uma vez que há o contato direto entre eles, os cadáveres e a população vizinha.

2.2 LEGISLAÇÃO REFERENTE AOS CEMITÉRIOS

Os cemitérios públicos são bens do patrimônio administrativo indisponível, de uso especial, que se destinam à execução de serviços públicos com finalidade pública permanente, não integrada propriamente à administração, mas constituinte do aparelho administrativo (CARVALHO FILHO, 2005).

Os cemitérios particulares são assentados em terrenos de domínio particular e, para sua operação, devem estar submetidos ao controle do Poder Público, pelo fato de haver em suas áreas prestação de um serviço público específico (CARVALHO FILHO, 2005).

O serviço funerário não aparece, explicitamente, na Constituição Federal como atribuição direta dos municípios. Essa atribuição está implícita no artigo 30, e diz que compete aos municípios legislar sobre assuntos de interesse local (item 1) e, organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local (item V). O serviço funerário além de público é classificado como essencial (Lei 7783 de 28/06/89, Artigo 10, Item IV).

A primeira constituição brasileira de 24 de fevereiro de 1891, em seu artigo 72 parágrafo 5º, decretou que: “Os cemitérios terão caráter secular e serão administrados pela autoridade municipal, ficando livre a todos os cultos religiosos a prática dos respectivos ritos em relação aos seus crentes, desde que não ofendam a moral pública e as leis”. É esta que continua administrando os cemitérios, porque a constituição federal não especifica uma legislação que regulamente a implantação e a operação dos cemitérios. Resoluções, Normas Técnicas ou ainda Termos de Referências, como mostram os trabalhos de Damasceno *et al.* (1996), Matos (2001), Espíndula (2004), Almeida e Macedo (2005), Machado (2006), Campos (2007), têm sido usados para ordenar a implantação e a operação dos cemitérios.

Resolução é um ato administrativo, e, portanto, não se confunde com lei, esta prerrogativa do Poder Legislativo, mediante o processo previsto na Constituição Federal. Pode ser deliberada por qualquer órgão de qualquer Poder, desde que tenha essa competência prevista em lei. Regula sobre um determinado assunto, muitas vezes

detalhando com maior precisão técnica o conteúdo de um decreto e até mesmo de uma lei (DI PIETRO, 1999).

Uma Norma Técnica é um documento, normalmente emitido por um órgão oficialmente reconhecido para tal, que estabelece diretrizes e restrições à elaboração de uma atividade ou produto técnico.

Para Santana (2008), o Termo de Referência trata-se de um documento que circunscreve limitadamente um objeto e serve de fonte para fornecimento das informações existentes sobre ele. Na prática, é o primeiro passo para que sejam feitos os estudos associados a um tema.

No âmbito nacional, o CONAMA publicou a Resolução nº 335 de 03 de abril de 2003, revisada em 28 de março de 2006 pela Resolução Nº 368, que estabelece os critérios gerais para o licenciamento ambiental dos cemitérios e remete a cada Estado editar normas específicas para a sua regulamentação.

Em relação às normas estaduais, a maioria não aborda especificamente a implantação de cemitérios visando a proteção ambiental (MATOS, 2001).

Entretanto, já gozavam de legislações específicas de implantação de cemitérios antes da Resolução do CONAMA, os Estados de São Paulo – Norma Técnica L1. 040/99, elaborada pela CETESB –, e do Pará – Termo de Referência de Projetos para implantação de Cemitérios, elaborado pela Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTAM), atualmente Secretaria de Meio Ambiente (SEMA), com o apoio da Universidade Federal do Pará (DAMASCENO *et al.*, 1996).

Após a resolução do CONAMA, o Estado do Paraná foi o primeiro a implementar uma legislação específica versando sobre o tema, elaborada pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) e publicada como a Resolução nº 027/03 de 05 de agosto de 2003, revogada pela 019/04 de 04 de maio de 2004, que estabelece “requisitos e condições técnicas para a implantação de cemitérios destinados ao sepultamento, no que tange à proteção e à preservação do ambiente, em particular do solo e das águas subterrâneas”.

O Quadro 2.2 faz uma comparação entre as “legislações” estaduais específicas à implantação de cemitérios dos Estados de São Paulo, Pará e Paraná e a Resolução Nacional do CONAMA. Os textos originais são reunidos ao final sob a forma de Anexos.

Há de se observar que nenhuma delas aborda o tempo mínimo de inumação, o que passa então para a competência das prefeituras. Segundo Machado (2006), o período de exumação de **três anos** foi estabelecido nos códigos sanitários estaduais mais antigos e tem sido prática normalmente adotada nos cemitérios nacionais. Entretanto alguns municípios citados a seguir contrastam a regra:

- Governador Valadares (MG), **quatro anos** (Lei N° 3.840, de 22 de dezembro de 1993, artigo 17 - Dispõe Sobre os Serviços Funerários e de Cemitérios e dá outras Providências);

- Vitória (ES), **quatro anos** (Lei N° 2481, de 11.02.77, artigo 255 - Código de Posturas do Município);

- Santos (SP), **cinco anos** para adultos e três anos para crianças (Lei N° 3.531, de 16 de abril de 1968, artigo 175 - Institui o Código de Posturas do Município de Santos e dá outras Providências) e

Belém (PA), **cinco anos** para adultos e três para crianças de até 7 anos (Lei 7.055, de 30 de dezembro de 1977, artigo 165 - Código de Postura do Município de Belém).

Outro aspecto importante a destacar é que a legislação do Pará cita trabalhos de Geofísica, porque é por meio de legislação prevendo trabalhos geofísicos que um importante passo pode ser dado para o reconhecimento da profissão de geofísico no Brasil..

Quadro 2.2 – Comparação entre as Legislações Estaduais específicas à Implantação e Monitoração de Cemitérios e a Resolução Nacional

| Caracterização | LEGISLAÇÕES | | | |
|---------------------------|---|--|---|---|
| | ESTADUAIS | | | NACIONAL Resolução Nº 335/03 e Nº 368/06 - CONAMA |
| | São Paulo Norma Técnica L1. 040/99- CETESB | Pará Termo de Referência – SEMA | Paraná Resolução Nº 019/04 - SEMA | |
| Sondagens | — | Devem ser realizadas sondagens mecânicas e/ou caminhamentos geofísicos . | — | — |
| Tipos de solo | Materiais com permeabilidade entre 10^{-3} e 10^{-7} cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático (medido no fim da estação de cheias), ou até 10 m de profundidade, nos casos em que o lençol freático não for encontrado até este nível. | Materiais com permeabilidade entre 10^{-3} e 10^{-5} cm/s. | Materiais com permeabilidade entre 10^{-4} e 10^{-6} cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático (medido no fim da estação de cheias), ou até 10 m de profundidade, nos casos em que o lençol freático não for encontrado até este nível. | Materiais com permeabilidade na faixa entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático (medido no fim da estação das cheias). Para permeabilidades maiores, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja 10 m acima do nível do lençol freático. |
| Restrição de locais | Áreas com substrato rochoso extremamente vulnerável, tais como zonas de falhamentos, zonas cataclasadas, rochas calcárias ou calcossilicatadas intemperizadas ou com erosão superficial (canais de dissolução, dolinas, cavernas, etc). | Áreas com substrato rochoso extremamente vulnerável, tais como zonas de falhamentos, zonas cataclasadas, rochas calcárias ou calcossilicatadas intemperizadas, zonas com erosão subsuperficial ou, ainda, áreas com dificuldade quanto à escavabilidade, | Terrenos sujeitos à inundação permanente e sazonal onde a permeabilidade dos solos e produtos de alteração possa estar modificada e/ou agravada por controles litoestruturais. Áreas de influência direta dos reservatórios destinados ao abastecimento público. | Áreas de preservação permanente; Mata Atlântica; terrenos cársticos que apresentam cavernas, sumidouros ou rios subterrâneos; áreas de manancial e áreas de uso restrito pela legislação. |
| Faixa de proteção externa | Deverá situar-se a uma distância mínima de cursos d'água (rios, riachos, córregos), bem como de corpos naturais ou artificiais (lagos, lagoas e reservatórios), de acordo com a legislação vigente. | Deverá situar-se a uma distância mínima de 50 a 150 m (6 semanas de trânsito) dos cursos d'água, lagos, lagoas, represas e barragens, bem como de poços de captação. | — | — |

Continuação

| Caracterização | LEGISLAÇÕES | | | |
|---------------------------------------|--|--|--|--|
| | ESTADUAIS | | | NACIONAL Resolução Nº 335/03 e Nº 368/06 - CONAMA |
| | São Paulo Norma Técnica L1. 040/99- CETESB | Pará Termo de Referência – SEMA | Paraná Resolução Nº 019/04 - SEMA | |
| Faixa de proteção interna | Deverá ser contornado por uma faixa com largura mínima de 5 m, destituída de qualquer tipo de pavimentação ou recobertura de alvenaria, destinada à implantação de uma cortina constituída por árvores e arbustos adequados, preferencialmente de essências nativas. | Deverá ser contornado por uma faixa de largura mínima de 5 m destinada à implantação de cortinas constituídas por árvores e arbustos, preferencialmente de essências nativas. A arborização deverá perfazer 20% da área total do cemitério | Deverá ser contornado por uma faixa com largura mínima de 5 m, destituída de qualquer tipo de pavimentação ou recobertura de alvenaria, destinada à implantação de uma cortina constituída por árvores e arbustos adequados, preferencialmente de essências nativas. | Deverá manter um recuo mínimo de 5 m em relação ao perímetro do cemitério, recuo que deverá ser ampliado, caso necessário, em função da caracterização hidrogeológica da área. |
| Drenagem | Exige sistema adequado e eficiente, além de outros dispositivos destinados a captar, encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra. | Exige sistema adequado e eficiente, destinado a captar encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais, evitando sua ação erosiva e contaminações de corpos d'água. | Exige sistema adequado e eficiente, além de outros para evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra, bem como a implantação de acondicionamento do necrochorume no interior do jazigo | Exige sistema de drenagem de águas pluviais e outros dispositivos para evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra |
| Localização do lençol freático | Deverá estar pelo menos 1,5 m abaixo do nível inferior das sepulturas; este nível deve ser o mais alto do lençol medido no fim da estação das cheias. | A sepultura deverá estar, no mínimo, a 2,0 m acima do topo do lençol freático, atingido na estação chuvosa. | Mínimo de 1,5 m abaixo do nível inferior das sepulturas, devendo os fundos dos jazigos possuir uma contenção para o necrochorume | Deverá estar a uma distância de pelo menos 1,5 m acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. |
| Resíduos sólidos | Devem ser tratados como Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde. | — | Devem ter o mesmo tratamento dado aos resíduos sólidos gerados pelos serviços de saúde. | Devem ter destinação ambiental e sanitária adequada. |

Continuação

| Caracterização | LEGISLAÇÕES | | | |
|--|--|---|--|--|
| | ESTADUAIS | | | NACIONAL Resolução Nº 335/03 e Nº 368/06 - CONAMA |
| | São Paulo Norma Técnica L1. 040/99- CETESB | Pará Termo de Referência – SEMA | Paraná Resolução Nº 019/04 - SEMA | |
| Poços de monitoramento | Previsto caso haja vulnerabilidade do aquífero freático, à montante e à jusante da área de sepultamento, com relação ao sentido de escoamento freático. Com amostragem trimestral para análises específicas. | Devem ter no mínimo três poços em triângulo, sendo um à montante, e dois à jusante, no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático. Com amostragem mensal. | Devem estar localizados à montante e à jusante da área do cemitério, com relação ao sentido de escoamento freático. Com amostragem trimestral para cemitérios com mais de 1 ano, semestral para cemitérios de 1 a 5 anos e anual para cemitérios com mais de 5 anos. | _____ |
| Período de Monitoramento pós-uso | _____ | Monitoramento das águas subterrâneas por um período de 10 anos após o fechamento da instalação. | _____ | _____ |
| Encerramento e Reutilização da área | _____ | Plano de Encerramento da Atividade, nele incluindo medidas de recuperação da área atingida. Atividade após encerramento do cemitério | Plano de Encerramento da Atividade, nele incluindo medidas de recuperação da área atingida. | Plano de Encerramento da Atividade e utilização da área prioritariamente para parque público ou para empreendimentos de utilidade pública ou interesse social. |

3 GEOFÍSICA FORENSE

3.1 GENERALIDADES

A partir da segunda metade do século XIX, a ciência começou a ser aplicada nas investigações forenses (EKCERT, 1992). Em 1904, o químico Georg Popp ajudou a resolver um assassinado em Frankfurt a partir de análises de solo, tornando-se o pioneiro no uso das geociências nas investigações forenses (MURRAY; TEDROW, 1975 apud RUFFELL; MCKINLEY, 2005). A partir de Popp, o uso das geociências nas investigações forenses tem crescido substancialmente. Ruffell e Mckinley (2005), por exemplo, mostram como a Geologia (mineralogia, sedimentologia, microscopia, geomorfologia) e a Geofísica podem ser usadas para ajudar na investigação forense. O crescimento no uso das Geociências como nas Ciências afins de um modo geral na investigação forense decorre, segundo Davenport *et al.* (1988), de a evidência física ter assumido um papel importante de acusação nos processos penais. No passado, os dois melhores tipos de evidência eram as confissões e o relato da testemunha ocular. Entretanto, ambos vêm mostrando-se, nos últimos anos, de confiança duvidosa, ou seja, as confissões e outras indicações feitas pelo acusado são em geral suprimidas e o da testemunha ocular é impreciso. Assim, os promotores de justiça estão confiando mais na prova física.

A utilização da tecnologia geofísica é uma das ferramentas mais importantes para ajudar a polícia na investigação, porque se apóia no uso de métodos não destrutivos e, em geral, não-intrusivos, para descobrir objetos e corpos enterrados no solo e determinar se o solo possui estrutura oca de forma rápida e com custo reduzido, impedindo escavações desnecessárias. A base da pesquisa é investigar a presença de contraste entre as diferentes propriedades físicas dos materiais do local sob estudo.

Nuzzo *et al.* (2007) afirmam que o sucesso das técnicas geofísicas para encontrar uma sepultura clandestina é dependente do local e do tempo, ou seja, às variações no tipo dos materiais presentes na subsuperfície e na sua distribuição

(homogênea ou heterogênea), quantidade de água no solo, clima local, estação do ano e determinada quantidade de restos humanos.

Na identificação direta de corpos e restos mortais de pessoas assassinadas podem ser utilizados os seguintes Métodos Eletromagnéticos: GPR, por meio das anomalias nas reflexões das ondas eletromagnéticas, e Slingram por intermédio de pseudo-seções das componentes em fase e em quadratura.

A detecção de túneis e materiais enterrados pode ser realizada pelos Métodos: Magnético, que é sensível a metais enterrados e/ou escondidos em paredes e pisos; Gravimétrico, que pode identificar a presença de materiais com densidade maior ou menor do que o meio; Elétricos, por meio de imageamento da resistividade da subsuperfície; EM, seja com o GPR, que identifica vazios e mudança da feição geológica do subsolo, seja com o Slingram, que identifica anomalias em pseudo-seções e perfis, e Sísmicos (refração), pois as ondas sísmicas viajam com menor velocidade em áreas de vazios intersticiais presentes nas estruturas.

Apesar da aplicabilidade de todos os Métodos Geofísicos, aqui será dada importância aos dois métodos que foram usados neste trabalho: GPR e LIN (variação do Slingram). O primeiro aparece amplamente na literatura (por exemplo, STRONGMAN, 1992, DANIELS, 2004 e SCHULTZ, 2007)

A utilização do GPR na detecção de restos humanos, Figura 3.1 impede escavações desnecessárias e tempo dispendioso. O equipamento de GPR não é normalmente operado por quem investiga a cena do crime, uma vez que o equipamento é caro e é necessário treinamento especializado para operar e interpretar os dados (SCHULTZ, 2007).

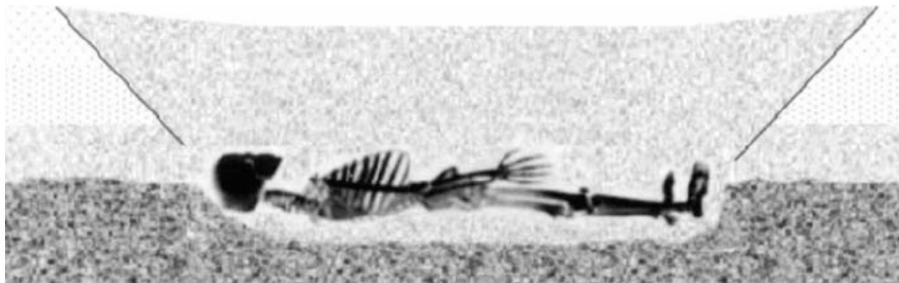


Figura 3.1 - Aplicação do GPR na detecção de restos humanos (DANIELS, 2004).

Na investigação forense com o GPR é necessário que o local a ser examinado seja esquadrihado em duas direções porque as antenas de GPR têm desempenho máximo em uma determinada direção de procura (DANIELS, 2004).

Ainda segundo Daniels (2004), outros fatores devem ser considerados: o tipo de solo; a abundância em bactérias e oxigênio (aceleram a decomposição); se os restos estão envoltos por algum tipo de material (tapete, plástico, etc.) e se os corpos foram desmembrados (vão se deteriorar mais rapidamente, mas, a sepultura pode parecer menor devido às partes do corpo estarem empilhadas em um buraco menor).

O GPR também identifica vazios e mudança na feição geológica do subsolo, devido à presença de covas e túneis, como observado na Figura 3.2.

A inspeção com o LIN pode ser utilizada para determinar as mudanças de condutividade no solo e descobrir a presença de metais ferrosos e não ferrosos.

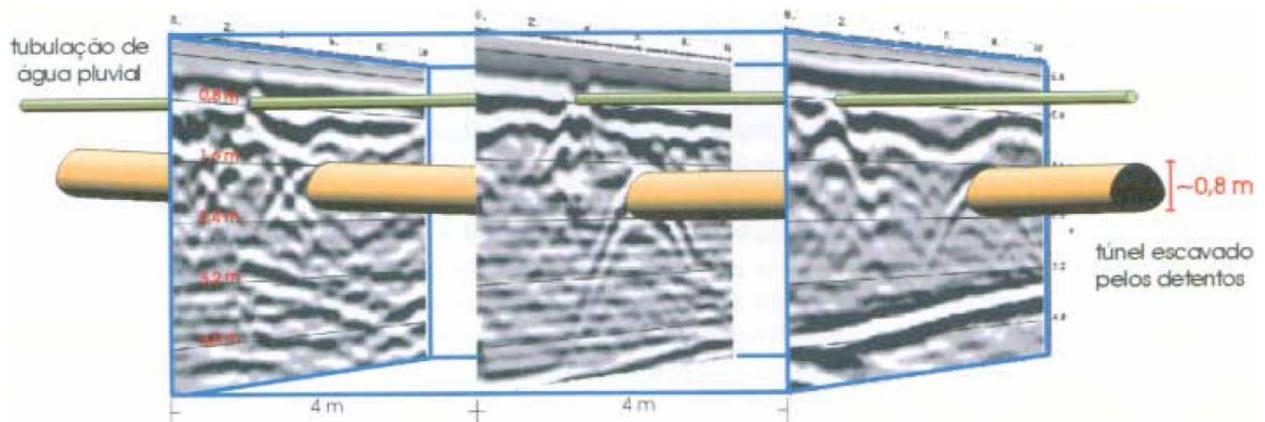


Figura 3.2 - Radargrama do túnel escavado por detentos (PIRES, 2001).

3.2 CAMPOS DE TESTES

Os estudos de geofísica forense têm suscitado a construção de campos de testes rasos, para avaliação de métodos e equipamentos geofísicos.

O uso de cemitérios como campos de testes geofísicos foi idealizado por BEVAN (1991), que utilizou vários Métodos Geofísicos (GPR, Slingram, Eletrorresistividade, Magnetometria, Sísmica de Refração e Microgravimetria), para detectar sepulturas.

Os campos de testes geofísicos envolvendo cadáveres humanos são raros. Freeland *et al.* (2003) utilizaram cadáveres humanos no campo de Antropologia da Universidade de Tennessee, USA, em covas de várias profundidades e cobertos por diferentes anomalias de interferência que são encontradas freqüentemente em enterros clandestinos (restos de construção de metal, madeira, pedras e plástico). Os testes foram realizados com um equipamento GPR comercial, o SIR-20 com antenas de 400 MHz e 900 MHz da GSSI, e um acadêmico de multi-freqüências, o STL FM-CW (freqüência de variação 200–700 MHz), desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE) (Figura 3.3). O GPR STL FM-CW também foi utilizado no monitoramento de corpos cobertos com diferentes espessuras de concreto pelo período de cinco meses (Figura 3.4).

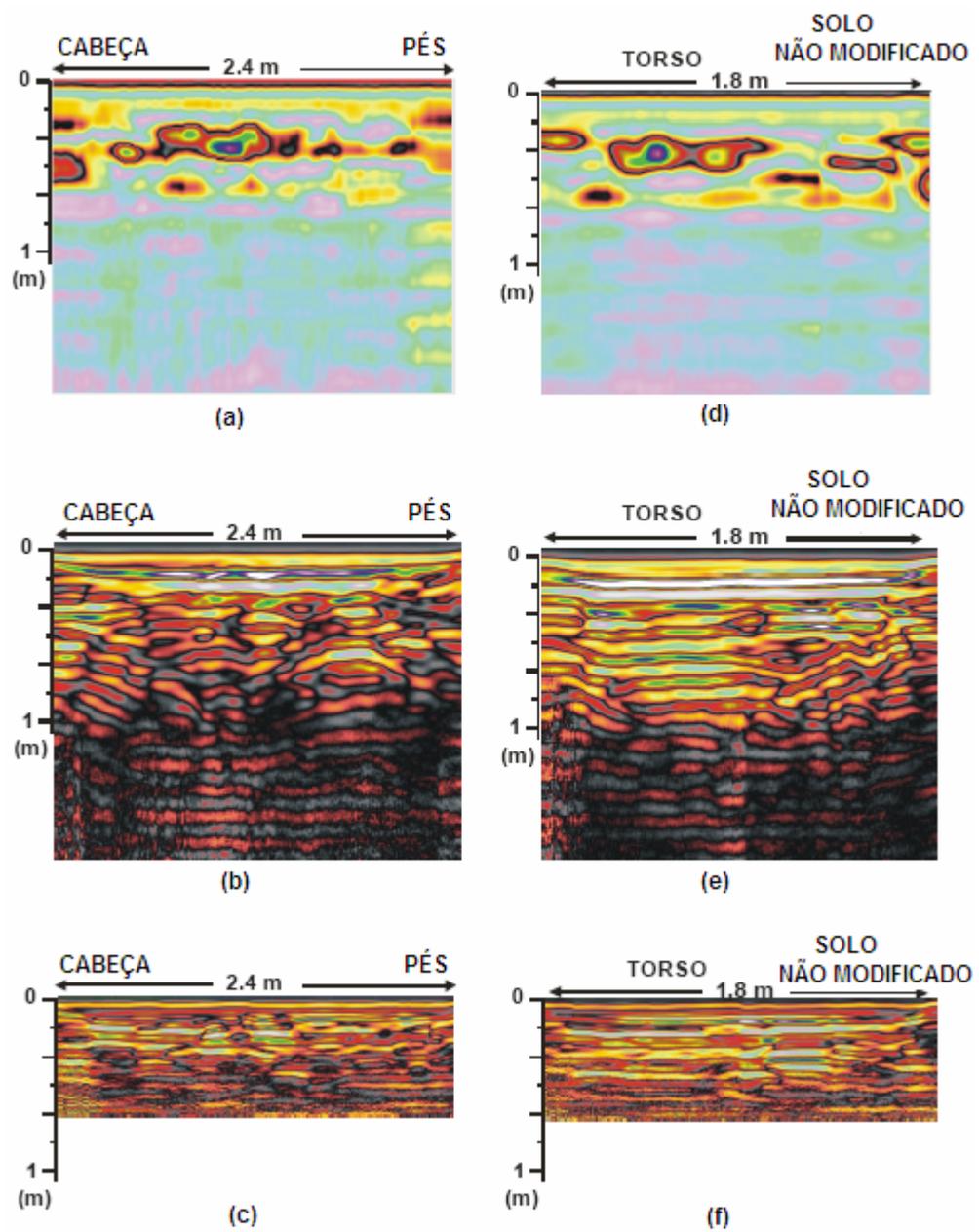


Figura 3.3 – Radargramas obtidos com: (a) e (d) GPR FM-CW, (b) e (e) GPR SIR-20 antena de 400 MHz e (c) e (f) GPR SIR-20 antena de 900 MHz (modificada de FREELAND *et al.*, 2003).

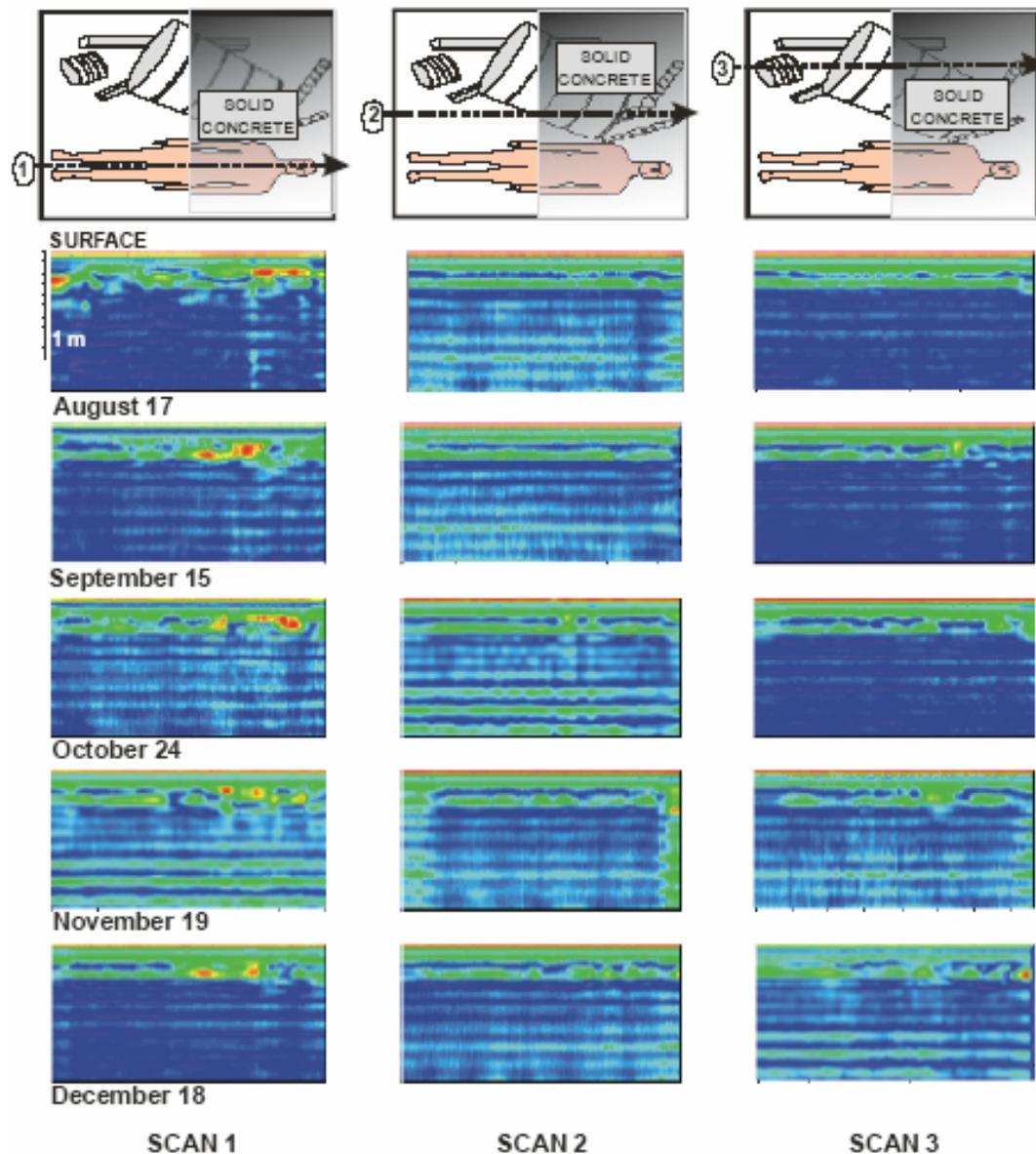


Figura 3.4 – Monitoramento mensal com o GPR FM-CW (FREELAND *et al.*, 2003).

Na literatura são comumente encontrados campos de testes realizados com animais, em geral suínos. Schultz, Collins e Falsetti (2006), por exemplo, monitoraram com o GPR o processo de putrefação de doze cadáveres de suínos dispostos em diferentes profundidades em um campo de testes na Flórida, alguns cobertos com areia e outros, com argila. Interessante destacar que quando o corpo mostra-se totalmente livre de tecidos (possui somente a estrutura óssea), a resposta de GPR é tão evidente que nem necessita de processamento.

No Brasil, o primeiro campo de testes geofísicos a ser implantado foi o Sítio Controlado de Geofísica Rasa (SCGR) do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), da Universidade de São Paulo (USP). Os alvos escolhidos, canos metálicos e de polietileno, tambores de aço e de plástico, além de caixas, tiveram como finalidade reproduzir uma pequena amostra dos principais objetos que são encontrados em ambiente urbano e permitem estudos geotécnicos e ambientais e, ainda, arqueológicos (PORSANI *et al.*, 2004). Não foi abordada a localização de restos humanos nem de outros alvos de interesse da investigação criminalística.

4 METODOLOGIA GEOFÍSICA

Vários métodos geofísicos podem ser aplicados ao estudo seja de uma área candidata à implantação de um cemitério, seja de uma área que contenha um cemitério em funcionamento ou fechado. Em geral, nesses estudos, os métodos geofísicos permitem inferir a profundidade dos aquíferos livre e confinados bem como a natureza e a espessura das litologias presentes na área. No presente estudo, o interesse recai na investigação da profundidade do aquífero livre (nível hidrostático) e, ainda, na investigação direta do necro-chorume.

Nos estudos forenses, também vários métodos geofísicos podem ser aplicados, mas o GPR aparece como o método mais amplamente utilizado. A geofísica é empregada nestes trabalhos, para descobrir objetos enterrados no solo, em alvenaria e concreto, estruturas ocas como túneis ou, ainda, localizar vítimas enterradas de avalanches ou deslizamentos (por exemplo, DIAS FILHO; LOPES, 2003 e OLHOEFT; MODROO, 2006).

Estudos ambientais, como é o caso de cemitérios já implantados, bem como estudos forenses têm em comum a necessidade do uso de métodos não invasivos ou muito pouco invasivos, ou seja, métodos que não destruam e nem afetem significativamente a área sob investigação e, ainda, que permitam a obtenção de dados a baixo custo e com rapidez.

Os métodos geofísicos que melhor se encaixam nestes levantamentos são os métodos eletromagnéticos e, entre estes, o GPR e o LIN.

Os métodos eletromagnéticos (EM) apresentam a maior diversidade de técnicas de medição, instrumentações e aplicações entre todos os métodos geofísicos (REYNOLDS, 1997). Trabalham com fontes naturais ou fontes artificiais, operam tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência, podem ser usados em levantamentos terrestres, aéreos e marinhos. Todos, contudo, lidam com a propagação de ondas eletromagnéticas, descrita pelas equações de Maxwell.

4.1 FUNDAMENTOS

As equações de Maxwell podem ser escritas sob várias formas. Para facilitar a apresentação dos métodos geofísicos usados, GPR e LIN, a propagação das ondas eletromagnéticas será descrita sob a forma complexa, que é uma técnica de representação das equações diferenciais temporais aplicáveis a sistemas lineares excitados por fontes que variam no tempo t de acordo com a função exponencial complexa $e^{i\omega t}$. As funções assim descritas têm a característica comum de serem periódicas e monocromáticas, ou seja, frequência única. As equações de Maxwell sob a forma complexa são definidas como (POPOVIC; POPOVIC, 1999):

$$\nabla \times \mathbf{E} = -i\omega \mathbf{B}, \quad (4.1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + i\omega \mathbf{D}, \quad (4.2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho, \quad (4.3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad (4.4)$$

valendo as relações constitutivas do meio

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}, \quad \mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}, \quad \mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}, \quad (4.5, 4.6, 4.7)$$

em que \mathbf{E} e \mathbf{H} representam os campos elétrico e magnético respectivamente, \mathbf{B} é a indução magnética, \mathbf{D} é o deslocamento elétrico, \mathbf{J} é a densidade de corrente elétrica, ρ é a densidade de carga livre, μ é a permeabilidade magnética, σ é a condutividade elétrica, ε é a permissividade dielétrica do meio material, $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular, com f como a frequência de propagação da onda, e $i = \sqrt{-1}$.

Substituindo a equação 4.5 na equação 4.1 e as equações 4.6 e 4.7 na equação 4.2 têm-se, respectivamente, as seguintes equações:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -i\omega\mu\mathbf{H} \quad \text{e} \quad (4.8)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = (\sigma + i\omega\varepsilon)\mathbf{E} = i\omega\varepsilon^*\mathbf{E}, \quad (4.9)$$

em que ε^* é a permissividade complexa do material dada por

$$\varepsilon^* = \varepsilon - i\frac{\sigma}{\omega} = \varepsilon' + i\varepsilon'', \quad (4.10)$$

sendo ε' a parte real da permissividade ou constante dielétrica, que é relacionado à capacidade do dielétrico de armazenar energia, e ε'' é a parte imaginária da permissividade ou fator de perdas do dielétrico, que em geral é na forma de calor.

Tomando-se o rotacional da equação 4.8 e nela substituindo a equação 4.9 e tomando-se o rotacional da equação 4.9 e nela substituindo a equação 4.8, usando a identidade $\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A}$, obtêm-se as equações dos campos eletromagnéticos em um meio linear, homogêneo e isotrópico:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \gamma^2 \mathbf{E}, \quad (4.11)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \gamma^2 \mathbf{H} \quad (4.12)$$

$$\gamma^2 = i\omega\sigma\mu - \omega^2\varepsilon\mu = \alpha + i\beta, \quad (4.13)$$

sendo γ o número de onda, ou seja, o termo que engloba todas as propriedades eletromagnéticas das rochas e a freqüência. As partes real e imaginária de γ , $\alpha = -\omega^2\varepsilon\mu$, e $\beta = \omega\sigma\mu$ estão relacionadas, respectivamente, à corrente de deslocamento (ou propagação) e à corrente de condução (ou atenuação). α é a constante de atenuação e β é a constante de fase.

Para as ondas EM, tanto na atenuação quanto na propagação, a condutividade é dominante em ondas de baixas freqüências, ou seja, menores do que 1 MHz, enquanto a permissividade dielétrica é que domina em altas freqüências e meios muito resistivos.

Uma das causas fundamentais da perda da energia é a atenuação, que depende da condutividade, da susceptibilidade magnética e da permissividade dielétrica do meio, como também da própria freqüência do sinal. A equação para a constante de atenuação é definida, a partir da equação 4.14, como (ORELLANA, 1974):

$$\alpha = \omega \sqrt{\epsilon \mu \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2} - 1}{2}}, \quad (4.14)$$

e a constante de fase definida por:

$$\beta = \omega \sqrt{\epsilon \mu \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2} + 1}{2}}, \quad (4.15)$$

A velocidade de fase da propagação da onda eletromagnética em um meio é definida por (ORELLANA, 1974):

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r \frac{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2}}{2}}}, \quad (4.16)$$

em que: c é a velocidade da luz no vácuo (0,3 m/ns), $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ é a constante dielétrica ou permissividade dielétrica relativa, sendo ϵ_0 a permissividade dielétrica no vácuo ($8,84 \times 10^{-12}$ F/m) e $\mu_r = \mu / \mu_0$ é a permeabilidade magnética relativa, sendo μ_0 a permeabilidade magnética no vácuo ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m).

A impedância elétrica Z é uma grandeza física que está associada à atenuação de uma onda quando esta ao se propagar em um meio encontra uma interface onde ocorre um contraste, sendo que parte desta onda é refletida. Uma definição matemática é o quociente entre as amplitudes do campo elétrico e do campo magnético ortogonal (WARD; HOHMANN, 1987):

$$Z = \frac{|E|}{|H|} = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma + i\omega\varepsilon}} \quad (4.17)$$

Quando as ondas EM penetram na subsuperfície, têm sua energia incidente absorvida e a amplitude dessas ondas acaba decrescendo. A profundidade na qual a amplitude da onda se encontra atenuada de 37 % de seu valor inicial, é conhecida como “skin-depth” (δ) e dada pela relação (REYNOLDS, 1997):

$$\delta = \frac{1}{\alpha}, \quad (4.18)$$

o que mostra que δ depende da freqüência da onda e das grandezas σ , ε e μ .

4.2 GPR

4.2.1 Princípios

O GPR é um método eletromagnético não intrusivo de fácil aplicação. Emprega uma antena que transmite para o solo uma onda eletromagnética de alta freqüência (10 - 2500 MHz). Mudanças nas propriedades eletromagnéticas do meio fazem com que o sinal transmitido seja refletido, refratado ou ainda difratado (Figura 4.1-a). O sinal refletido é detectado por um receptor que registra os tempos de chegada, da ordem de nanosegundos, em uma escala vertical para diferentes pontos do perfil. Esse registro vertical que associa tempo e amplitude (Figura 4.1-b) é chamado de scan. Uma seqüência desses scans, detectados ao longo de um perfil, resulta na formação do registro denominado de radargrama, Figura 4.2.

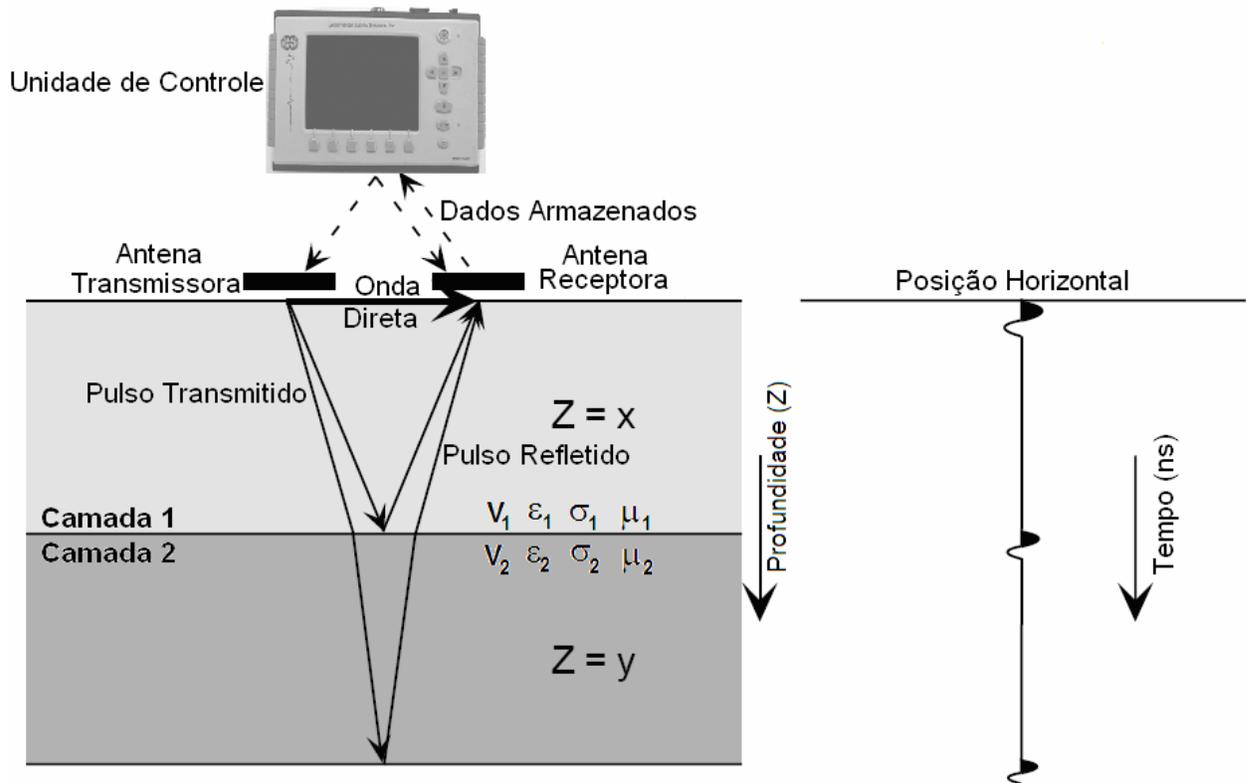


Figura 4.1 - (a) Princípio básico de operação do GPR. (b) Exemplo de Scan. Adaptado de Van Dam (2001).

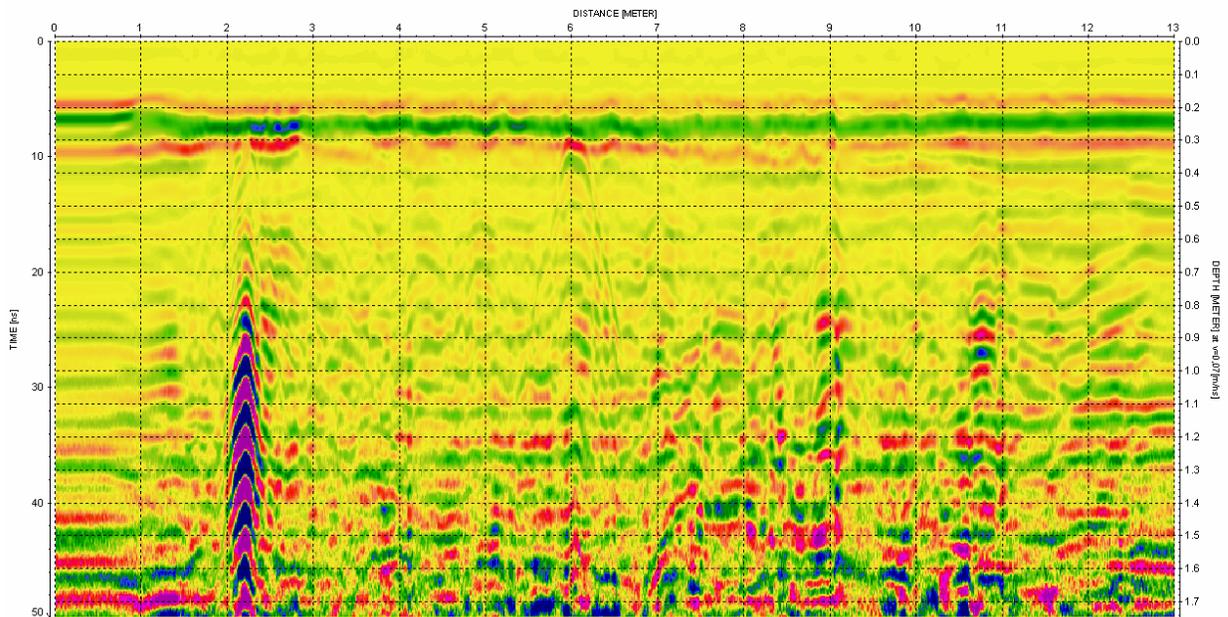


Figura 4.2 – Radargrama

As propriedades eletromagnéticas das rochas dependem em grande parte da composição e do conteúdo de água existente nos espaços vazios. Estas controlam a velocidade de propagação e a atenuação. Como o GPR opera em altas frequências, as partes real e imaginária de γ^2 devem ser consideradas, levando-se em conta que para meios de baixas perdas a corrente de deslocamento prevalece sobre a de condução (DANIELS, 2004).

Uma boa aproximação a ser considerada é que nos materiais não magnéticos de baixa perda e na faixa de frequência de operação do GPR, temos: $\sigma \ll \omega\epsilon$. O fator $(\sigma / \omega\epsilon)^2$ que aparece nas equações 4.14 e 4.15 pode ser expandindo em séries de potência, obtendo-se, para a faixa de frequência de operação do GPR, as seguintes soluções particulares para a constante de atenuação e para a constante de fase, respectivamente:

$$\alpha \cong \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}, \quad (4.19)$$

$$\beta \cong \omega \sqrt{\mu\epsilon}, \quad (4.20)$$

A equação 4.19 mostra que se a condutividade do material for elevada, o processo de difusão é o mais importante, ou seja, ocorre alta atenuação, enquanto que se a condutividade do material é baixa, a irradiação é mais importante, ou seja, a atenuação das ondas eletromagnéticas é baixa (TRAVASSOS, 2006).

Conseqüentemente a velocidade de propagação das ondas do GPR em meios não magnéticos de baixa perda e ainda com $\mu_r = 1$, é expressa por:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}, \quad (4.21)$$

em que c é a velocidade da luz no vácuo.

Conhecendo-se a profundidade h do alvo é possível obter a velocidade a partir do tempo duplo de trânsito t da onda eletromagnética no meio de propagação, por meio de:

$$v = \frac{2h}{t} \quad (4.22)$$

A Tabela 4.1 apresenta uma relação dos materiais geológicos com algumas grandezas físicas.

Tabela 4.1 - Constante dielétrica (ϵ_r), condutividade elétrica (σ), velocidade (v) e atenuação (α) típicas de alguns materiais (DAVIS e ANNAN, 1989).

| Material | ϵ_r | σ (mS/m) | v (m/ns) | α (dB.m) |
|----------------|--------------|-----------------|------------|-----------------|
| Ar | 1 | 0 | 0,30 | 0 |
| Água destilada | 80 | 0,01 | 0,033 | 0,002 |
| Água fresca | 80 | 0,5 | 0,033 | 0,1 |
| Água do mar | 80 | 3000 | 0,01 | 1000 |
| Areia seca | 3-5 | 0,01 | 0,15 | 0,01 |
| Areia saturada | 20-30 | 0,1-1 | 0,06 | 0,03-0,3 |
| Calcário | 4-8 | 0,5-2 | 0,12 | 0,4-1 |
| Folhelho | 5-15 | 1-100 | 0,09 | 1-100 |
| Siltito | 5-30 | 1-100 | 0,07 | 1-100 |
| Argila | 5-40 | 2-1000 | 0,06 | 1-300 |
| Granito | 4-6 | 0,01-1 | 0,13 | 0,01-1 |
| Sal seco | 5-6 | 0,01-1 | 0,13 | 0,01-1 |
| Gelo | 3-4 | 0,01 | 0,16 | 0,01 |

Segundo Davis e Annan (1989), a velocidade do sinal do GPR é praticamente constante entre as faixas de operação de 10 a 1000 MHz para condutividades inferiores a 100 mS/m, entretanto, para frequências acima de 1000

MHz, a velocidade aumenta devido ao efeito de relaxação da molécula de água, como mostra a Figura 4.3.

A Figura 4.4 mostra a variação da velocidade de propagação da onda eletromagnética com a constante dielétrica (equação 4.21). A constante dielétrica varia de 1, para o ar, até 81, para a água. Para a maioria dos materiais geológicos, contudo, ela varia apenas de 3 até 30. Conseqüentemente, a velocidade nesses materiais varia de 0,06 m/ns até 0,175 m/ns usando-se a equação 4.21 (REYNOLDS, 1997).

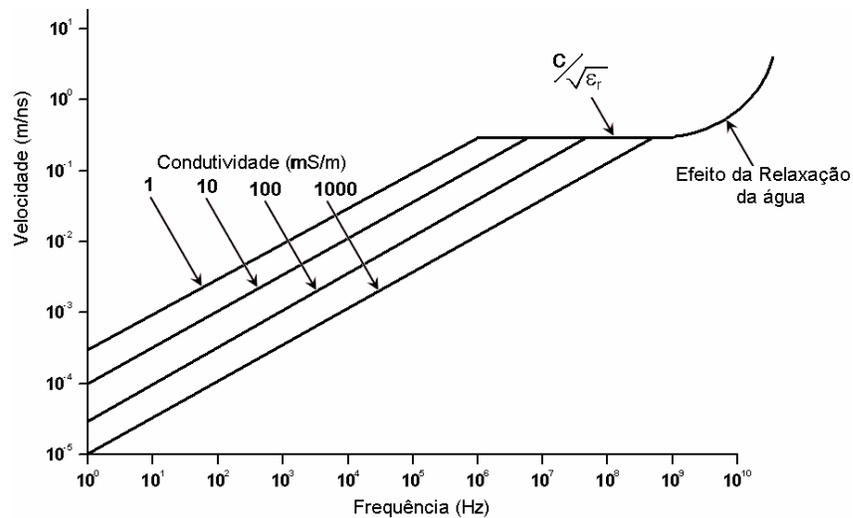


Figura 4.3 – Relação entre a velocidade e frequência para diferentes condutividades (Adaptado de DAVIS e ANNAN, 1989).

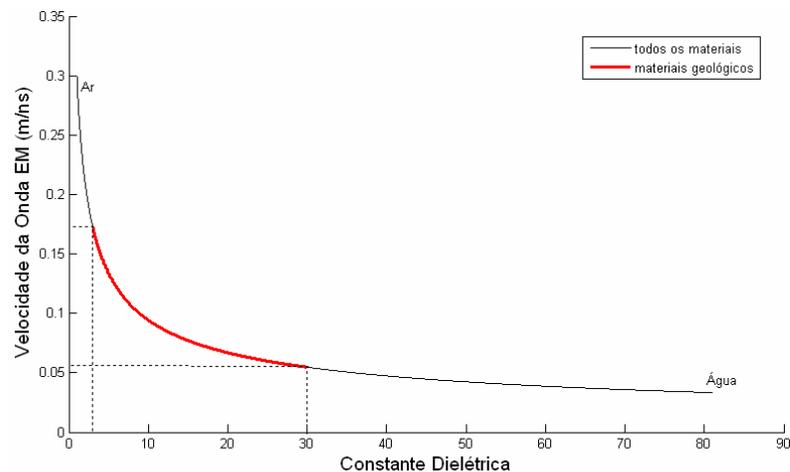


Figura 4.4 - Variação da velocidade da onda EM com a constante dielétrica (modificada de REYNOLDS, 1997)

A impedância elétrica dada pela equação 4.17 fica resumida para a condição de materiais não magnéticos de baixa perda e frequência na faixa de operação do GPR a (DANIELS, 2004):

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}. \quad (4.23)$$

A energia dos sinais refletidos nas interfaces adjacentes (Figura 4.1-a) pode ser medida pelo coeficiente de reflexão R, que é definido em termos da impedância elétrica (DANIELS, 2004):

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}. \quad (4.24)$$

Substituindo-se a equação 4.23 na equação 4.24 e usando a equação 4.21, para $\mu_2 = \mu_1$ obtém-se:

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}} = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}, \quad (4.25)$$

em que ε_1 e ε_2 são as constantes dielétricas das camadas 1 e 2, respectivamente e v_1 e v_2 , as respectivas velocidades nas camadas.

A equação 4.24 mostra que, quanto maior for o contraste entre as constantes dielétricas, maior será a reflexão das ondas eletromagnéticas. Alguns materiais, como os gelos polares, são praticamente transparentes ao GPR. Outros, como argilas saturadas de água e a água salgada, absorvem e refletem de tal maneira as ondas que são virtualmente opacos ao GPR.

A partir da superfície para o interior da terra, tem-se a zona não saturada do solo, subsuperfície cujos poros dos materiais presentes ainda possuem ar, que é constituída da zona de evapotranspiração, zona intermediária e franja de capilaridade (ou zona capilar). Abaixo desta zona ocorre a zona saturada, onde os poros estão totalmente preenchidos de água formando o aquífero livre (ou freático). A franja de capilaridade é a região mais próxima ao nível freático, que é o nível superior da zona

saturada, ou seja, a região de transição entre as zonas não saturadas e saturadas. Nessa zona há uma mudança gradual na constante dielétrica ϵ_r como mostra a Figura 4.5(a).

A razão entre a espessura da franja de capilaridade e o comprimento de onda da radiação incidente tem que ser pequena para que exista um contraste suficientemente grande da constante dielétrica entre o material saturado e não saturado de água como mostra a Figura 4.5(b), que leva à reflexão da onda (REYNOLDS, 1997). Em outras palavras, a transição entre a zona capilar e a zona saturada correspondente ao aquífero livre deve ser relativamente brusca para ser detectada.

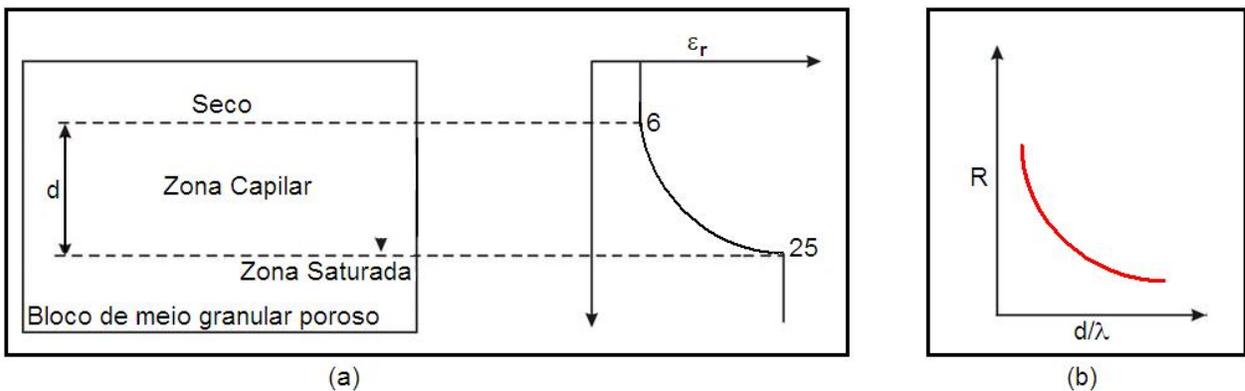


Figura 4.5 – (a) Mudança da constante dielétrica com a espessura da zona capilar. (b) Variação inversa da amplitude do coeficiente de reflexão com a razão da espessura da zona capilar pelo comprimento da onda incidente (adaptado de REYNOLDS, 1997).

4.2.2 Equipamentos e Aquisição de Dados

O GPR é caracterizado por um gerador de sinal e antenas transmissora e receptora. As antenas podem ser usadas no que se designa pelos modos *monoestático* e *biestático*. No modo estático, a antena é utilizada tanto para emissão como para recepção, conforme mostra a Figura 4.6(a). No modo bi-estático, são usadas duas antenas separadas, uma como emissor e a outra como receptor, como aparece na Figura 4.6(b).

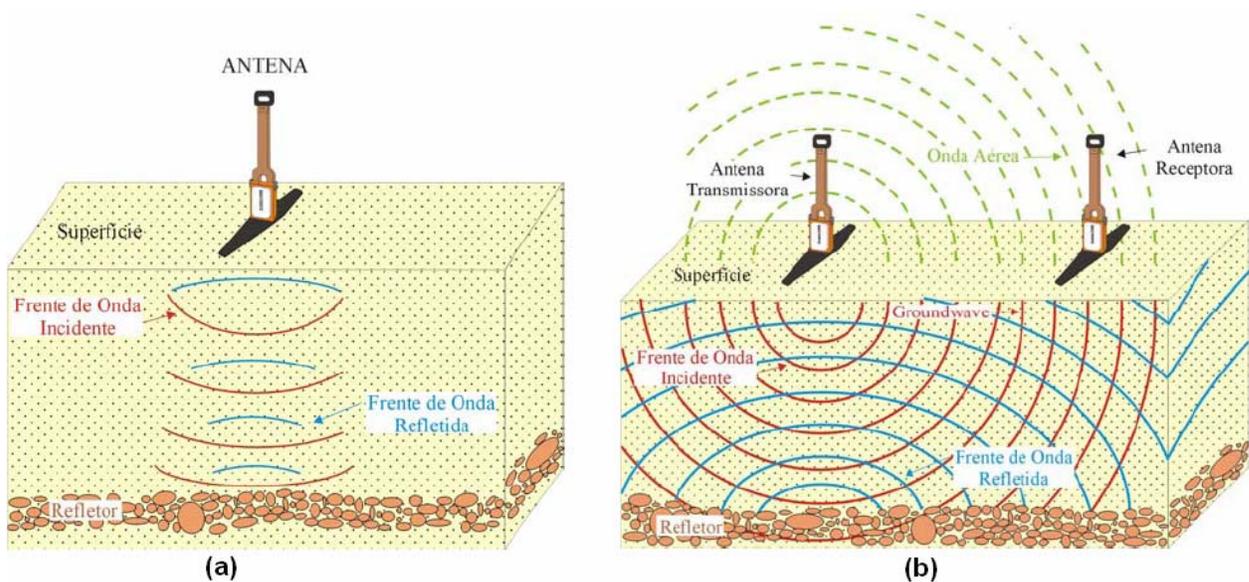


Figura 4.6 – Antenas (a) monoestática, e (b) biestática (BORGES, 2002).

A aquisição dos dados a partir dos levantamentos feitos na superfície com o GPR podem ser, basicamente, realizadas com três tipos de arranjos: *afastamento comum*, *ponto médio comum* (CMP) e *wide angle reflection and refraction* (WARR).

Com o *afastamento comum*, as antenas transmissora e receptora mantêm uma distância fixa durante o levantamento (Figura 4.7–a). Esse tipo de arranjo é adequado para verificar mudanças laterais na subsuperfície.

No ensaio com o *common mid point*, muito conhecido como CMP as antenas transmissora e receptora são movidas em direções opostas, equidistantes, afastando-se em relação a um ponto fixo central entre ambas (Figura 4.7–b). O CMP é usado para estimar a velocidade das estruturas em subsuperfície

Outra maneira de estimar a velocidade é através da *reflexão e refração de grande ângulo*, cuja abreviação é WARR. O levantamento é feito com antenas biestáticas, mantendo fixa a antena transmissora (arranjo *WARR de fonte comum*), ou a antena receptora (*WARR de receptor comum*), como mostram as Figuras 4.7 c e d, (GUTIÉRREZ, 2004).

Nos levantamentos com antenas biestáticas, a identificação dos diversos tipos de ondas que se propagam da antena transmissora para a receptora diretamente

através da superfície, do ar e do solo e após se refratarem e refletirem nas interfaces dos meios com diferentes propriedades elétricas é facilitado (Figura 4.8).

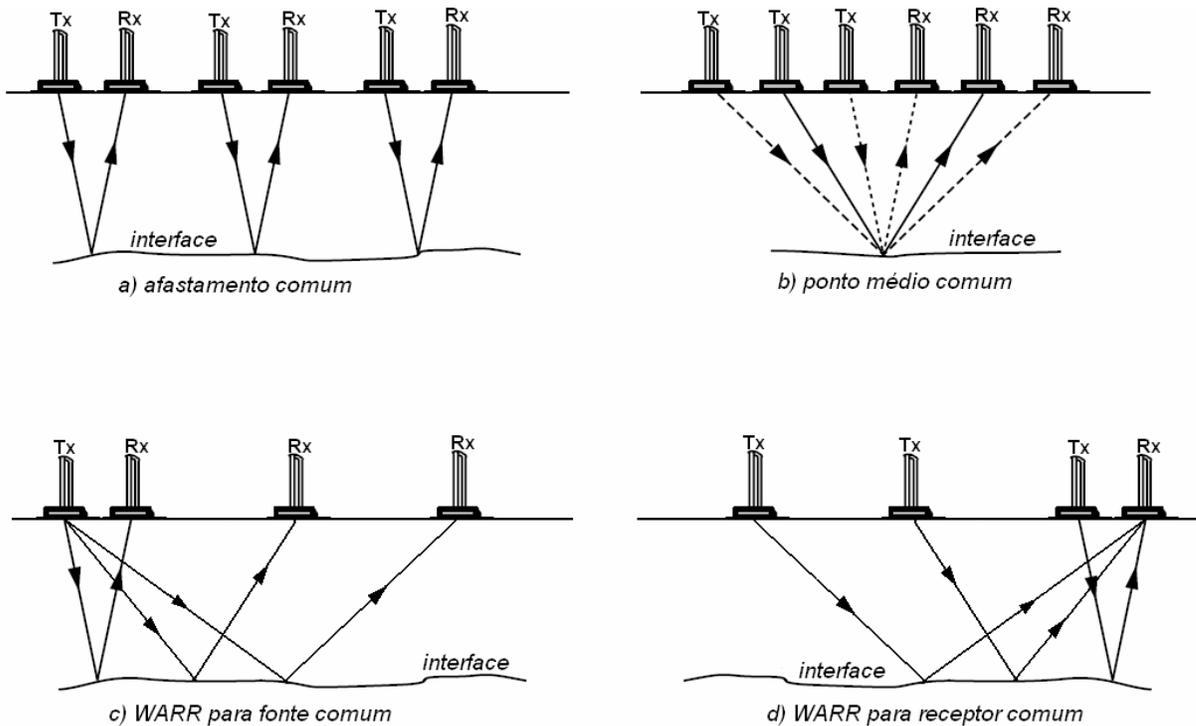


Figura 4.7 - Arranjos usados nos levantamentos GPR (modificada de MILSON, 2003)

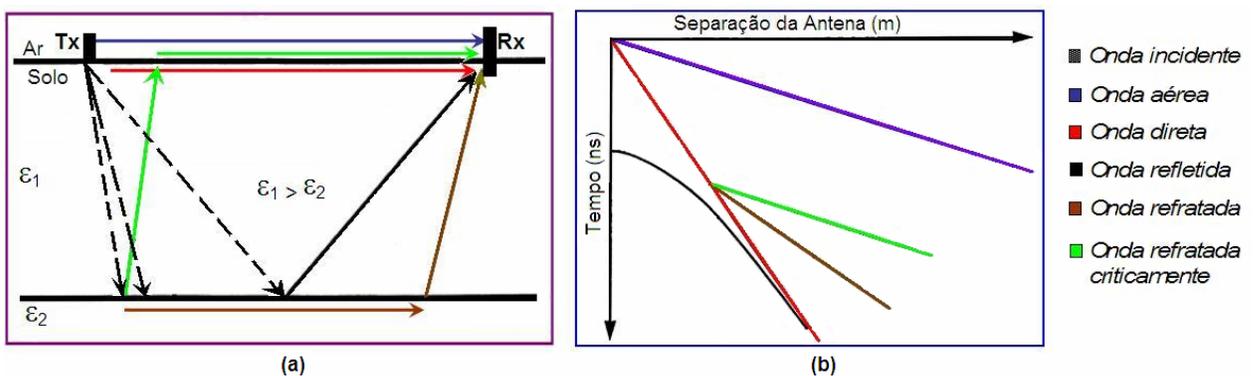


Figura 4.8 – (a) Propagação das ondas eletromagnéticas, e (b) respectivos tempos de chegada em relação à separação da antena (modificado de HUISMAN *et al.*, 2003)

A escolha da melhor antena para o levantamento deve levar em consideração a resolução exigida para o objeto sob estudo.

Resolução é a menor distância a partir da qual se distingue dois alvos separados. Pode-se considerar resolução tanto na vertical como na horizontal.

A resolução vertical é um quarto do comprimento da onda dominante (REYNOLDS, 1997). O comprimento de onda está relacionado à velocidade de propagação da onda e à frequência central f da antena de acordo com a expressão:

$$\lambda = \frac{v}{f}. \quad (4.26)$$

A equação 4.26 mostra que o aumento na frequência implica na diminuição do comprimento de onda e, conseqüentemente, no aumento na resolução vertical, ou seja, na observação mais detalhada.

A resolução horizontal está associada ao padrão de radiação da antena, determinada pela Zona de Fresnel (YILMAZ, 1987).

O skin depth (δ), para a condição de operação do GPR em meios de baixa perda, é obtido substituindo-se 4.19 na equação 4.18:

$$\delta \cong \frac{2}{\sigma} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}, \quad (4.27)$$

que mostra o aumento do skin depth com a diminuição da condutividade do meio.

Outros fatores devem ser considerados para a profundidade de penetração, como mostra a Figura 4.9. Entre eles, destacam-se as perdas de energia pela atenuação do sinal, o espalhamento geométrico e os efeitos de acoplamento da antena com o terreno.

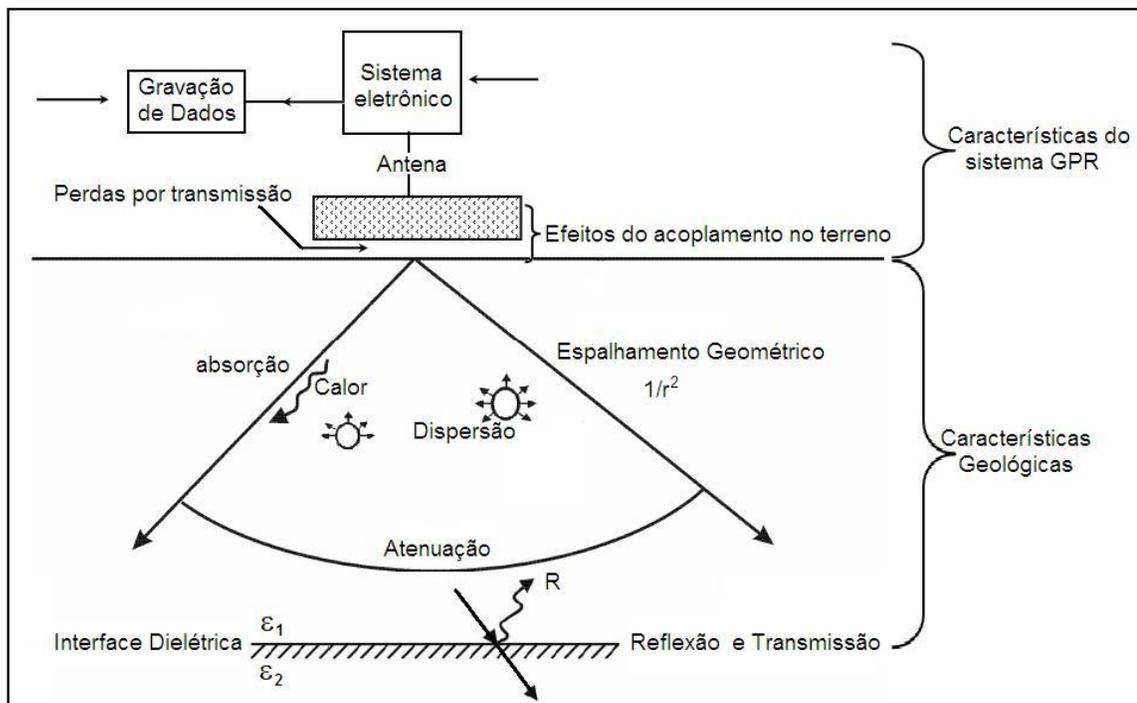


Figura 4.9 - Fatores que influenciam o alcance do GPR (modificado de REYNOLDS, 1997)

A Tabela 4.2 mostra um comparativo entre as frequências das antenas usadas nas investigações e as respectivas profundidades de penetração.

Tabela 4.2 - Frequência associada a profundidade (Adaptada da GSSI, 2003)

| Área de Interesse | Frequência Central (MHz) | Profundidade Estimada de Penetração (m) |
|--|--------------------------|---|
| Estruturas de Concreto, Estradas e Pontes | 1500 | 0,5 |
| Concreto, Arqueologia e Solos Superficiais | 900 | 1 |
| Geologia, Arqueologia e Ambiental | 400 | 4 |
| Geologia e Meio Ambiente | 200 | 8 |
| Geologia e Meio Ambiente | 100 | 20 |

4.2.3 Processamento dos Dados

Os dados GPR são fornecidos sob a forma de radargrama. Por meio do processamento, a imagem do radargrama pode ser convenientemente melhorada para a interpretação.

Vários são os métodos de se fazer o processamento, entretanto muitos deles seguem um padrão básico, que consiste nas seguintes etapas:

- a) *Pré-processamento* – o primeiro passo após obtenção do dado bruto, que visa corrigir a topografia e ajustar o tempo zero;
- b) *Aplicação do Ganho* – correção aplicada sempre que o sinal sofrer atenuações consideráveis quando penetra no subsolo;
- c) *Filtragem* – redução ou eliminação dos ruídos presentes provenientes de interferências provocadas por ondas eletromagnéticas de altas frequências (antenas de microondas, celulares e outros), cabos de alta-tensão, postes, árvores, edificações, além de objetos existentes na superfície do terreno na direção do perfil do GPR;
- d) *Conversão do tempo em profundidade* – transformação dos tempos medidos de retorno das ondas em profundidade, para obter a profundidade dos objetos investigados (exige calcular a velocidade de propagação do meio, o que pode ser feito por meio das hipérbolas de reflexão presentes no radargrama, além de CMP, etc).

4.3 MÉTODOS INDUTIVOS

4.3.1 Princípios

Os métodos EM se baseiam no fenômeno de indução eletromagnética, por isso que esses métodos não exigem contato com o terreno, logo são não invasivos. Em sua aplicação, uma fonte transmissora produz uma corrente elétrica alternada de baixa frequência que, ao passar por uma bobina transmissora, cria um campo magnético

primário nas imediações da bobina, que induz um fluxo de correntes secundárias (correntes eddy – correntes induzidas de Foucault) em qualquer condutor presente no subsolo. Essas correntes secundárias, por sua vez, produzem um novo campo magnético dito secundário, dotado de informações sobre o condutor. Parte deste campo magnético secundário juntamente com o campo primário, ou seja, o campo resultante da interação do primário e secundário é detectado em uma bobina receptora. (Figura 4.10).

Há uma quantidade considerável de métodos EM, cuja classificação pode levar em conta a fonte (natural ou artificial), a banda de frequência (baixa ou alta), entre outros. Um dos métodos mais populares é o Slingram. Este método foi desenvolvido por Sture Werner e Alfred Holm em 1936, sendo considerado uma variação do método Sundberg (PARASNIS, 1989).

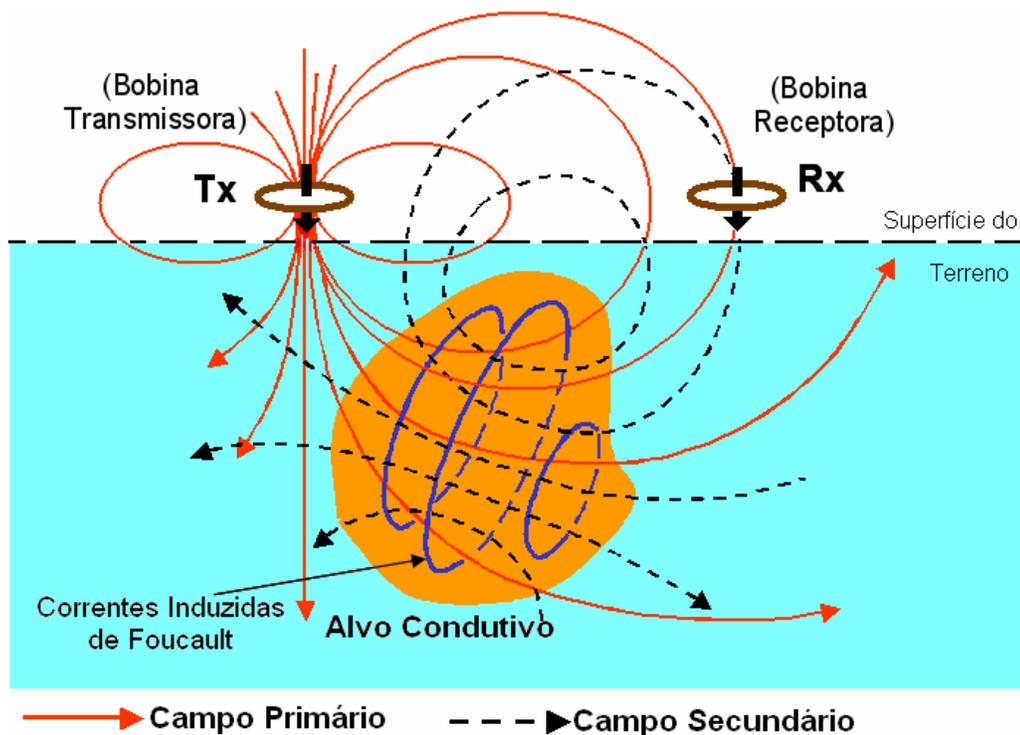


Figura 4.10 - Esquema simplificado do princípio de operação dos métodos indutivos (Modificada de GRANT E WEST, 1965)

O Slingram utiliza duas bobinas geralmente circulares, sendo uma bobina transmissora (dipolo transmissor) e uma bobina receptora (dipolo receptor), que são deslocadas em conjunto ao longo do perfil, com uma separação constante entre elas. As bobinas são conectadas através de um cabo de referência, por onde um sinal emitido pela bobina transmissora chega à bobina receptora, permitindo anular por meio de um compensador o sinal primário. A medida obtida com o Slingram refere-se, conseqüentemente, não ao campo resultante, mas ao campo magnético secundário e é dada em termos das componentes em fase (ou real) e em quadratura (imaginária ou fora de fase) com respeito ao campo primário.

Para o Slingram e quase todos os métodos EM, as fontes operam em baixa frequência ($<10^5$ Hz) e, para a maioria dos materiais geológicos (σ varia entre 10^{-4} e 1 S/m), as correntes de deslocamento são muito menores do que as correntes de condução ($\omega^2 \epsilon \mu \ll \omega \sigma \mu$) (RIJO, 2004). Portanto, o número de onda, de acordo com a equação 4.13, pode ser escrito na forma:

$$\gamma^2 = i\omega\sigma\mu, \quad (4.28)$$

e as equações para as constante de atenuação e de fase (equações 4.14 e 4.15, respectivamente) tornam-se iguais:

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}. \quad (4.29)$$

A equação do skin depth (equação 4.18) para a condição de baixa frequência, passa a ser escrita como:

$$\delta \cong \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \frac{\sqrt{2i}}{\gamma}. \quad (4.30)$$

O arranjo das bobinas pode ser feito de várias maneiras, entretanto, o estudo será voltado àqueles que têm o máximo acoplamento com o semi-espaço homogêneo e a terra acamada, que são os arranjos coplanar vertical (dipolo horizontal) e coplanar horizontal (dipolo vertical), apresentados na Figura 4.11.

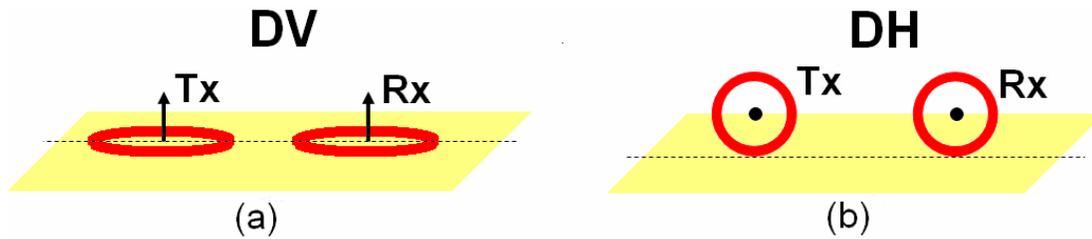


Figura 4.11 – (a) Dipolo vertical. (b) Dipolo horizontal.

As medidas obtidas com esses arranjos são dadas por (KELLER; FRISCHKNECHT, 1966):

$$\left(\frac{H_S}{H_P}\right)_V = \frac{2}{(\gamma L)^2} \left\{ 9 - [9 + 9\gamma L + 4(\gamma L)^2 + (\gamma L)^3] e^{-\gamma L} \right\} \quad (4.31)$$

$$\left(\frac{H_S}{H_P}\right)_H = \frac{2}{(\gamma L)^2} \left\{ -3 + (\gamma L)^2 + [3 + 3\gamma L + (\gamma L)^2] e^{-\gamma L} \right\} \quad (4.32)$$

sendo H_P o campo magnético primário gerado pela corrente na bobina transmissora e H_S o campo magnético secundário gerado pela subsuperfície. O espaçamento entre as bobinas é designado por L e varia de acordo com a profundidade de investigação pretendida.

O produto γL corresponde a

$$\gamma L = \sqrt{2i} \frac{L}{\delta}, \quad (4.33)$$

em que L/δ é o número de indução ou parâmetro de resposta (η), que pode ser expresso como:

$$\eta = \frac{\gamma L}{\sqrt{2i}} = L \sqrt{\frac{\omega \mu_0 \sigma}{2}} \quad (4.34)$$

Expandindo em série de potência o termo $e^{-\gamma L}$ que aparece na equação do dipolo magnético vertical (4.31) até o 5º termo, ou seja,

$$e^{-\gamma L} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\gamma L)^n}{n!} \quad (4.35)$$

obtém-se a seguinte solução aproximada para o dipolo vertical:

$$\left(\frac{H_S}{H_P} \right)_V \cong \frac{2}{(\gamma L)^2} \left\{ \frac{(\gamma L)^2}{2} + \frac{(\gamma L)^4}{8} - \frac{2(\gamma L)^5}{15} \right\} = 1 + \frac{(\gamma L)^2}{4} - \frac{4(\gamma L)^3}{15} \quad (4.36)$$

arrumando-se em termos do número de indução, tem-se:

$$\left(\frac{H_S}{H_P} \right)_V \cong 1 + i \frac{\eta^2}{2} + \frac{8\eta^3}{15} + i \frac{8\eta^3}{15} \quad (4.37)$$

Observa-se que a equação 4.37 é formada por componentes em fase (real) e por componentes imaginárias (quadratura). Na condição de baixo número de indução (*low induction number* ou simplesmente LIN), ou seja, quando $\eta \ll 1$ ou $\gamma L \ll 1$, é suficiente usar a equação 4.37 apenas até seu segundo termo. Neste caso, a componente real é constante e igual a 1, portanto, sem interesse. A componente imaginária do campo magnético normalizado vale:

$$\text{Im} \left\{ \frac{H_S}{H_P} \right\}_V = \frac{\eta^2}{2} = \frac{\omega \mu_0 \sigma L^2}{4} \quad (4.38)$$

Chega-se ao mesmo resultado com o dipolo horizontal (equação 4.31). Conseqüentemente, seja com o dipolo vertical, seja com o dipolo horizontal, é possível usar a equação 4.38 para se obter a condutividade da subsuperfície. Como a subsuperfície não se comporta como um semi-espaco homogêneo de condutividade constante, o que se mede no aparelho é a condutividade aparente σ_a :

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0 L^2} \text{Im} \left\{ \frac{H_S}{H_P} \right\} \quad (4.39)$$

em que a razão entre os campos aparece sem o subscrito V, porque ela é válida para ambos os dipolos.

A razão H_S/H_P foi calculada para diferentes freqüências a partir das equações gerais, 4.31 e 4.32, e da equação aproximada 4.38 para os dipolos magnéticos. A figura 4.12 (a e b) mostra as componentes real e imaginária obtidas com a solução geral em vermelho e azul, respectivamente, enquanto as componentes real e imaginária aproximadas aparecem em verde e preto, respectivamente. As respostas são iguais até cerca de 10^5 Hz. Até quase 10^6 Hz, contudo, ainda pode ser considerada aceitável a soluções aproximadas.

A contribuição para o campo magnético secundário de uma camada horizontal fina localizada na profundidade de exploração normalizada pelo espaçamento entre as bobinas z é relacionada à sensibilidade relativa ϕ de ambos os arranjos à camada dada por (McNEILL, 1980) como sendo:

$$\phi_V(z) = \frac{4z}{(4z^2 + 1)^{3/2}} e \quad (4.40)$$

$$\phi_H(z) = 2 - \frac{4z}{(4z^2 + 1)^{1/2}} \cdot \quad (4.41)$$

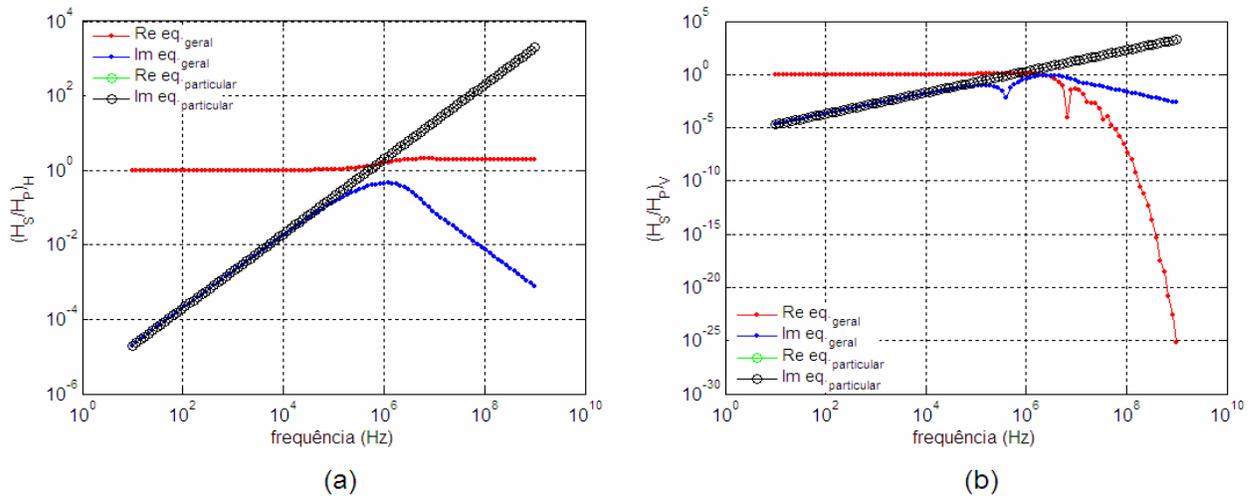


Figura 4.12 – (a) gráfico para o modo DH e (b) gráfico para o modo DV

A Figura 4.13 ilustra em linha cheia vermelha a sensibilidade do dipolo horizontal e em linha cheia azul a sensibilidade do dipolo vertical. Quando se usa o dipolo vertical, a contribuição da camada para o campo magnético secundário é máxima à profundidade de $0,4L$, praticamente não existe próximo à superfície e na profundidade de $1,5L$ ainda pode ser considerada significativa. Usando-se o dipolo horizontal, a contribuição da camada é tanto maior quanto mais próxima ela estiver da superfície.

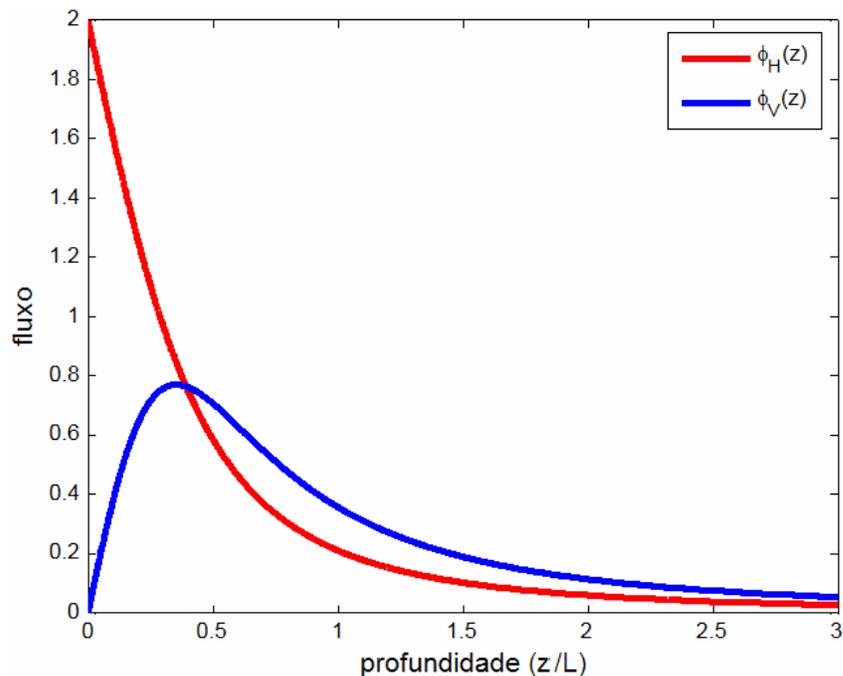


Figura 4.13 – Comparação da sensibilidade relativas para os dipolos vertical e horizontal (McNEILL, 1980).

Outra função, que deriva das anteriores (equações 4.40 e 4.41), é a resposta acumulativa R (REYNOLDS, 1997):

$$R_{VH}(z) = \int_z^{\infty} \phi_{VH}(z) dz, \quad (4.42)$$

sendo

$$R_V(z) = \frac{1}{(4z^2 + 1)^{1/2}} e \quad (4.43)$$

$$R_H(z) = (4z^2 + 1)^{1/2} - 2z. \quad (4.44)$$

Na Figura 4.14 é mostrada a resposta acumulativa para o dipolo vertical em linha cheia azul e a resposta para o dipolo horizontal em vermelho. O dipolo vertical tem aproximadamente duas vezes a profundidade de exploração efetiva que o dipolo horizontal.

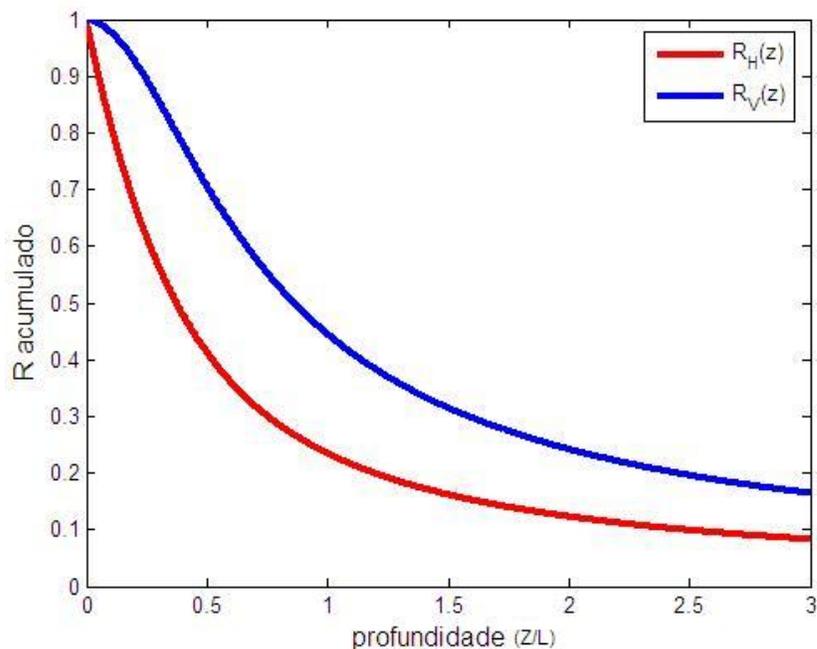


Figura 4.14 – Resposta acumulativa para os dipolos horizontal (linha vermelha) e vertical (linha azul) (McNEILL, 1980).

A relação entre condutividade real e a condutividade medida no aparelho não é linear em ambientes condutivos como mostra a Figura 4.15. Quando os valores são superiores a 700 mS/m, a condutividade medida com o dipolo vertical tende a zero. Em terrenos onde a condutividade é muito baixa, a resposta do instrumento é também zero. Existem descrições de que a aproximação linear entre os valores reais e indicado pelo equipamento é cada vez pior para valores de condutividade situados entre 100 e 200 mS/m para o dipolo horizontal, e acima de 60 a 70 mS/m para dipolo vertical.

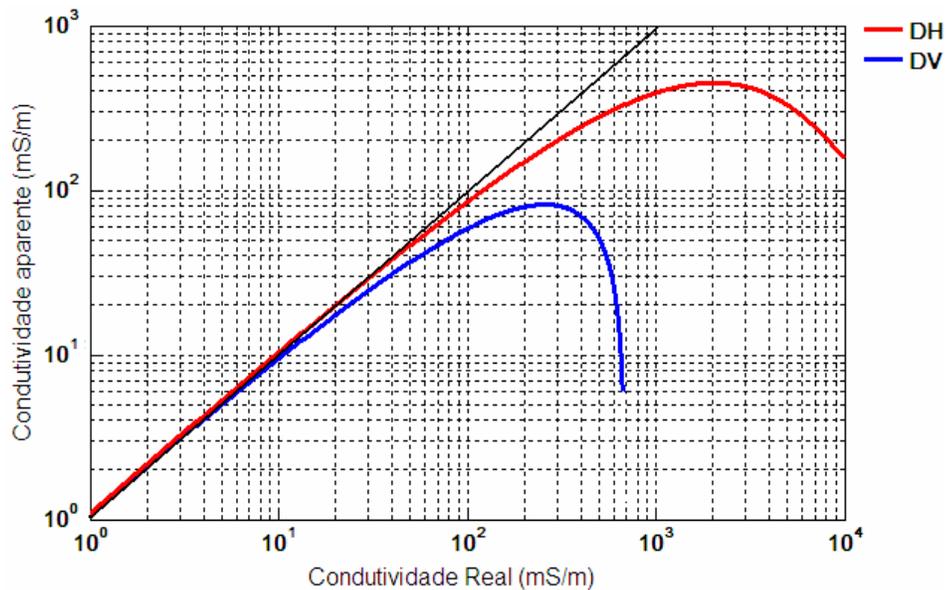


Figura 4.15 – Relação entre condutividade real e aparente para os modos DV e DH (McNEILL, 1980).

4.3.2 Equipamentos e Aquisição de Dados

O equipamento Slingram que opera baseado na aproximação mostrada na equação 4.38 é chamado de LIN ou, ainda, condutímetro, pois faz uma leitura direta da condutividade aparente para uma determinada profundidade. A empresa Canadense Geonics Ltda. fabrica vários modelos de aparelhos: EM31, EM34-3, EM34-XL e EM38.

O EM34-3, equipamento disponível para este trabalho, é mostrado na Figura 4.16. Ele possui um histórico de aplicações bem sucedidas em particular no mapeamento de águas subterrâneas mais profundas e plumas de contaminação (GEONICS, 2008).

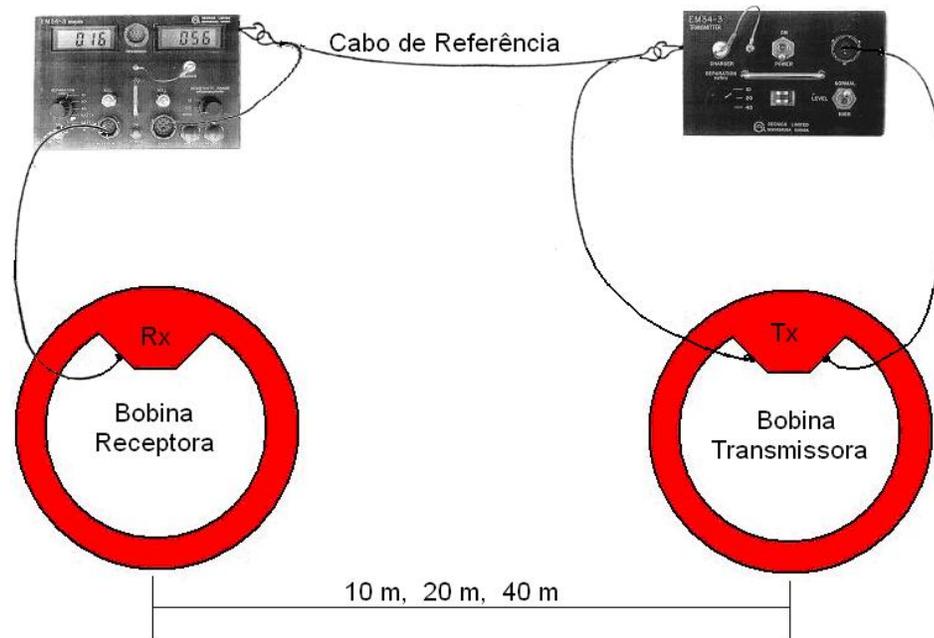


Figura 4.16 – Representação do EM34-3

No EM34-3, a profundidade teórica de investigação é de cerca de 1,5 vezes o espaçamento entre as bobinas com o arranjo de bobinas coplanar horizontal (dipolo vertical) e 0,75 vezes para o arranjo coplanar horizontal (dipolo horizontal). O Quadro 4.1 mostra a relação entre a profundidade teórica de investigação e o espaçamento entre as bobinas para os dois modos: DH e DV.

Quadro 4.1- Profundidade de investigação em relação ao espaçamento das bobinas e modo do dipolo.

| L (m) | f (Hz) | Profundidade Teórica (m) | |
|-------|--------|--------------------------|----|
| | | DH | DV |
| 10 | 6400 | 7,5 | 15 |
| 20 | 1600 | 15 | 30 |
| 40 | 400 | 30 | 60 |

O dipolo horizontal é mais sensível às variações laterais de condutividade, entretanto, menos sensível ao desalinhamento das bobinas.

O aparelho EM34-3 é simples de operar: após escolha do cabo de referência, a separação entre as bobinas é mantida fixa e elas são movidas ao longo de

um perfil a intervalos discretos. O ponto de referência para a medida é o centro entre as bobinas (REYNOLDS, 1997).

Entre as principais vantagens do LIN estão: a facilidade de aquisição de dados, a realização de leituras em diversas profundidades, a possibilidade de varredura de grandes áreas num curto espaço de tempo e a versatilidade do equipamento no campo. Tais vantagens são traduzidas em rapidez e baixos custos. A principal limitação desta técnica é o ruído produzido pela interação do campo eletromagnético gerado pelo equipamento com estruturas metálicas, fios de alta tensão, etc., que gera valores de condutividade aparente incoerentes, limitando sua aplicação em algumas situações encontradas em centros urbanos.

5 CEMITÉRIO DO BENGUI

5.1 GENERALIDADES

O cemitério São José está localizado no município de Belém, no limite do bairro do Bengui com o Aeroporto Internacional de Val-de-Cães, em uma área de 11,2 hectares (Figura 5.1). O cemitério foi inaugurado no dia 12 de janeiro de 1983, durante o aniversário de Belém, com capacidade para 40 mil sepulturas. Devido a sua localização, ficou popularmente conhecido como cemitério do Bengui (PAX-VÓBIS 2, 2006).

O cemitério foi assentado em um bairro sem saneamento básico, inclusive sem abastecimento público de água potável, o que obrigava o consumo por poços amazonas (BRAZ; LOPES, 2005). Não houve estudos prévios em relação à geologia local, de modo que não foi considerado que o local serviu para a extração de materiais de construção, o que levou ao seu rebaixamento (Figura 5.2). Conseqüentemente, o nível freático fica muito próximo da superfície, de modo que na época das chuvas, principalmente nos quatro primeiros meses, a água do aquífero livre invade as sepulturas (CARVALHO JUNIOR, 1997).

A aproximação do aquífero livre trouxe muitos problemas à população, principalmente o aspecto psicológico, pois em muitos casos a inumação era feita em covas inundadas (CARVALHO JUNIOR, 1997). Todos esses fatos foram preponderantes no estudo da área, visto que a população local captava água do primeiro lençol por meio dos poços rasos que ainda poderia atingir o lençol mais profundo, aquífero confinado, através dos poços sem revestimento, comuns na região.

A Figura 5.3 mostra as possíveis rotas de contaminação da água subterrânea por cemitérios.

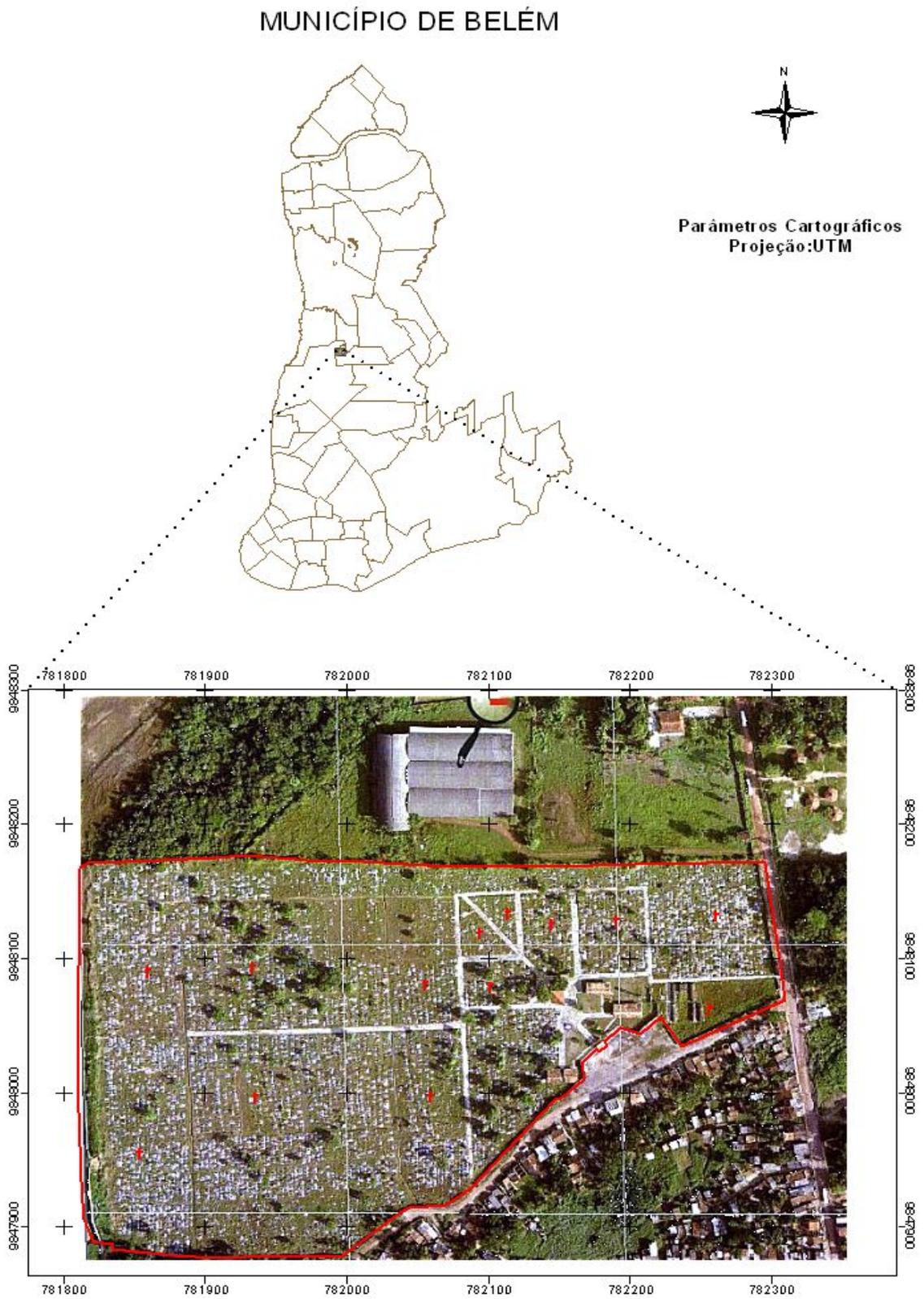


Figura 5.1 - Mapa de localização do cemitério do Bengui (Fonte: CODEM, 1996)

| Profundidade (m) | Representação | Descrição |
|------------------|---------------|--|
| 0,25 | | Solo |
| 2,25 | | Argila (barro) de cor amarelada com frações de areia |
| 3,75 | | Concreções ferruginosas (pedras de construção) |
| 5,75 | | Areia branca com frações de argila |
| 6,75 | | Argila branca (tabatinga) |
| | | Areia |

Figura 5.2 - Seção esquemática do subsolo do cemitério do Bengui. A linha tracejada marca a parte da seção retirada para construção civil (CARVALHO JUNIOR, 1997).

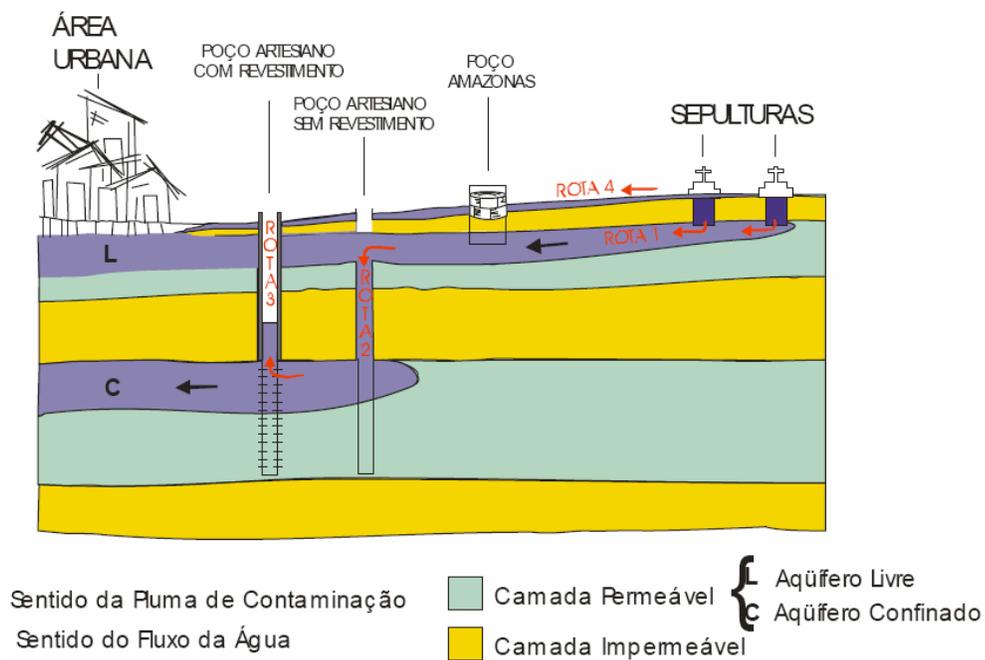


Figura 5.3 - Rotas de contaminação da água subterrânea por cemitérios (CARVALHO JUNIOR, 1997).

Para Carvalho Junior (1997), a superfície do terreno é argilosa e, portanto, parte das águas das chuvas não penetra no terreno, mas escoam pela superfície, levando consigo microorganismos que se desenvolvem em torno das sepulturas, assim como a água do aquífero livre para o igapó próximo e, conseqüentemente, para os igarapés e rios, Figura 5.4.

Em geral, os solos argilosos apresentam teores de argila acima de 35%, caracterizam-se por serem impermeáveis e não permitem o arejamento das sepulturas. Logo, prolongam o processo de putrefação. Em períodos chuvosos, a saturação do solo de água propicia a saponificação dos corpos, mantendo o perigo de contaminação latente, dada à oferta de vetores disponíveis e mobilizáveis por mais tempo.

Mesmo fechado desde 1997, até 2006 eram realizadas em média dez exumações por dia para transferência dos despojos, mas muitas não conseguiam ser consumadas, pois vários corpos ainda estavam preservados (O LIBERAL, 2006a). Até o ano de 2007 existiam cerca de 16000 sepulturas (O LIBERAL, 2007).



Figura 5.4 – Acúmulo de água na superfície do terreno.

5.2 TRABALHOS GEOFÍSICOS ANTERIORES

No ano de 1995 foi feito um mapeamento tridimensional dos lençóis e da direção e do sentido do fluxo da água através da geofísica, usando o método do Potencial Espontâneo (SP) e o método da Eletrorresistividade (CARVALHO JUNIOR; SILVA, 1996).

O Potencial Espontâneo é caracterizado por ser um método elétrico de campo natural, que envolve a medição do potencial associado a correntes elétricas que se originam no subsolo. O SP pode ser provocado por vários fenômenos. Na investigação do fluxo da água, o interesse recai no fenômeno da eletrofiltração, que é provocado pelo movimento da água subterrânea pela rede de capilares formada pelos poros das rochas, com a subsequente retenção pelas paredes dos poros dos íons negativos dos sais dissolvidos na água, arrasto dos íons positivos com a concentração dos mesmos ao final do trajeto. Daí resulta uma diferença de potencial elétrico entre os extremos dos capilares que pode ser medida e traz consigo informação sobre o fluxo da água. O método usa instrumental muito simples, basta um voltímetro e dois eletrodos não polarizáveis ligados a ele. As medidas podem ser feitas deixando um eletrodo fixo e distante da área a ser investigada, enquanto outro é introduzido em diferentes pontos do terreno.

No levantamento de SP do cemitério do Bengui, o eletrodo fixo foi colocado em uma estação base localizada fora do cemitério, no aeroporto, a 610 m da primeira estação, enquanto o eletrodo móvel percorreu uma malha regular, com estações a cada 15 m ao longo de perfis paralelos separados de 30 m, totalizando 16 perfis com 146 estações (CARVALHO JUNIOR; SILVA, 1996).

O fenômeno de eletrofiltração produz valores de potencial que reproduzem a topografia subsuperficial por onde a água sob o cemitério move-se no sentido inverso. A Figura 5.5 foi construída de modo que a área em azul, associada aos locais onde foram obtidos os menores valores de potenciais, assinale a subsuperfície com o aquífero livre mais próximo da superfície, enquanto a área amarela com os maiores valores de potencial corresponde à subsuperfície na qual o nível hidrostático se

encontra mais distante da superfície. A área em azul é, portanto, a mais provável de ter sofrido contaminação. O mapa também mostra o gradiente do potencial para a área na direção N14°W, sentido SE, que é também uma aproximação para a direção e o sentido do fluxo da água subterrânea (CARVALHO JUNIOR; SILVA, 1996).

No caminhamento elétrico, as variações laterais da resistividade a uma determinada profundidade são detectadas deslocando-se lateralmente os eletrodos sobre o terreno. No cemitério do Bengui foi utilizado o arranjo Wenner de eletrodos, segundo o qual a distância entre cada par de eletrodos é sempre mantida fixa, no caso 15 m, sendo as leituras tomadas a cada 15 m, ao longo dos mesmos perfis utilizados no SP. No total foram realizadas 91 medidas, (CARVALHO JUNIOR; SILVA, 1996).

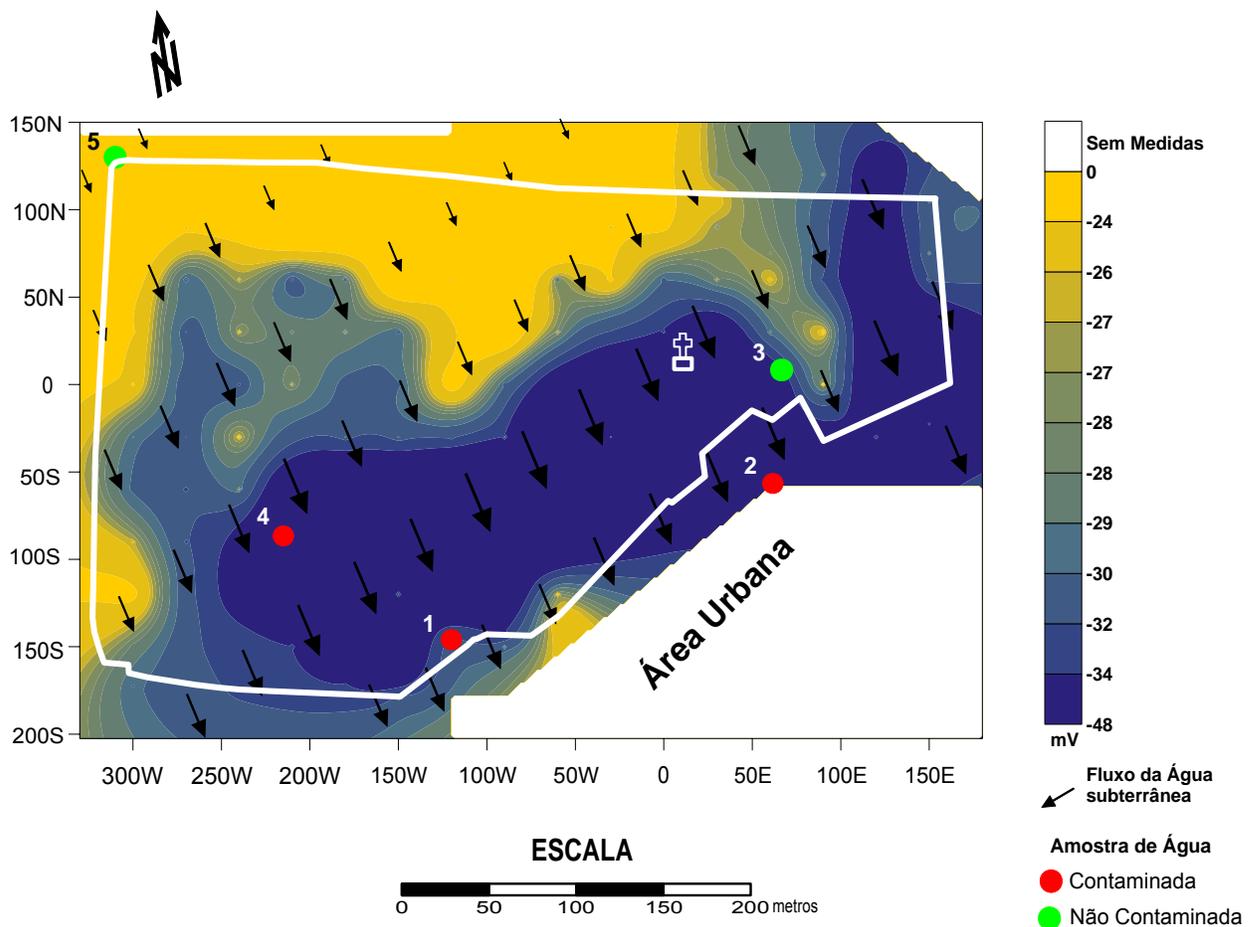


Figura 5.5 - Mapa de contornos de Potencial Espontâneo da área do cemitério do Bengui. O limite do cemitério e a cruz que marca a posição da capela aparecem em branco (CARVALHO JUNIOR, 1997).

Os dados de caminhamento elétrico permitem observar quais as porções com maior quantidade de água para a profundidade do caminhamento, conseqüentemente, serviram como comprovação dos resultados de SP: os valores de resistividade decrescem na direção N11°W, sentido SE, (CARVALHO JUNIOR; SILVA, 1996).

SP e caminhamento elétrico mostraram, portanto, que o sentido da contaminação é do cemitério para a zona urbana (a SE) (Figura 5.5).

As SEVs, por sua vez, são investigações das variações de resistividade com a profundidade para um ponto do terreno, central ao arranjo de eletrodos, através do aumento da separação dos eletrodos. No cemitério do Bengui foi usado o arranjo de eletrodos Schlumberger, segundo o qual os eletrodos de potenciais são mantidos fixos e com espaçamento pequeno, internos aos eletrodos de corrente, que são aqueles que são afastados simetricamente para permitir o aumento da penetração da corrente em profundidade.

Os dados obtidos com as SEVs mostraram, para o terreno sob o cemitério que, no inverno, o aquífero livre se encontra entre 0,9 a 1,1 m da superfície, com espessura de 1 a 1,9 m; um segundo aquífero, confinado, que estaria entre 17,7 e 19,4 m de profundidade, com espessura de 5 a 7,4 m e também um terceiro aquífero entre 29 e 30,9 m de profundidade e espessura entre 10,7 a 12,6 m (CARVALHO JUNIOR, 1997)

Além da utilização dos métodos geofísicos, foram realizadas, no cemitério e em seu entorno, análises de água nos pontos mostrados na Figura 5.5. Em 1993, já havia sido verificado, nos pontos 1, 2 e 4, a presença de Coliformes totais, Coliformes fecais, Estreptococos, Bactérias Heterotróficas, além da presença de Salmonella, caracterizando assim a patogenicidade da contaminação da água quer seja pela falta de saneamento local ou por líquidos percolados, derivados do processo de decomposição dos cadáveres (FONSECA, 1994). Os pontos 1 e 4 correspondem ao sistema de drenagem artificial do cemitério. Os pontos 2 e 4, localizados fora da área do cemitério, referem-se a poços residenciais rasos. O ponto 3 corresponde a um poço tubular para abastecimento de água dos funcionários do cemitério, isolado do lençol

freático e, provavelmente, alimentado pelo terceiro aquífero; até a ocasião das análises, apesar desse furo estar localizado na área de contaminação, os contaminantes ainda não tinham chegado em quantidade considerável até esse aquífero. Ainda em 1996 foram coletadas novas amostras de água nos pontos 2, 4 e 5. Novamente para os pontos 2 e 4 foi verificado a presença de contaminantes, mas a água foi considerada própria para o consumo no ponto 5 (CARVALHO JUNIOR, 1997).

Os estudos da UFPA, especialmente os estudos de Carvalho Junior e Silva (1996) e Braz *et al.* (1996), permitiram comprovar a contaminação das águas superficial e subterrânea (aquífero livre) pelo cemitério e foram fundamentais para o seu fechamento definitivo em 13 de fevereiro de 1997 (O LIBERAL, 2006b). Outro ponto positivo foi que eles mostraram a necessidade de lei específica, o que levou ao convite das profissionais envolvidas para a elaboração do Termo de Referência para Implantação de Cemitérios Horizontais, pedido pela antiga Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente (SECTAM) (DAMASCENO *et al.*, 1996). Este termo foi aprovado pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA), através da Resolução Nº 011/96 de 11 de março de 1997. Trata-se do segundo documento sobre a implantação ambientalmente correta de cemitérios em nível estadual elaborado no Brasil; anterior a ele existia somente a Norma Técnica L1.040 de 1989, elaborada pelo Controle Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e revisada em 1993 e 1999, .

Vários outros trabalhos foram divulgados sobre o Bengui após o fechamento da necrópole, como Carvalho Junior (1997), Carvalho Junior e Silva (1997) e Braz, Menezes e Silva (2000). Esse último, com novas análises de água, mostrou que a contaminação persistia após o fechamento do Bengui.

5.3 TRABALHO GEOFÍSICO REALIZADO

No dia 26 de setembro de 2006, durante um treinamento dos alunos da Graduação em Geofísica, foi realizado um levantamento da área interna do cemitério com o GPR SIR-3000 da *Geophysical Survey Systems, Inc.* (GSSI) com uma antena biestática blindada de 400 MHz (Modelo 5103).

Os perfis foram levantados com as antenas transmissora e receptora mantidas a uma distância fixa (*afastamento comum*), no modo tempo, com marcações a cada 5 m. A Tabela 5.1 mostra as características de cada perfil e a Figura 5.6, a localização dos perfis.

Tabela 5.1 – Caracterização dos Perfis

| Perfil | Tamanho (m) | Observação |
|--------|-------------|---|
| 1 | 45 | 35 m sobre a calçada e 10 m sobre o solo |
| 2 | 73 | sobre a calçada |
| 3A | 50 | sobre a calçada |
| 3B | 50 | continuação do perfil 3, sobre a calçada |
| 3C | 50 | continuação do perfil 4, sobre a calçada |
| 3D | 65 | continuação do perfil 5, sobre a calçada |
| 4A | 50 | sobre a calçada |
| 4B | 50 | continuação do perfil 7, sobre a calçada |
| 4C | 50 | continuação do perfil 8, sobre a calçada |
| 4D | 45 | continuação do perfil 9, sobre a calçada e parte final do perfil próximo a poço com nível de água a 0,90 m. |
| 5 | 40 | sobre o solo, entre sepulturas; jambeiro a 5 m com raízes aflorando. |

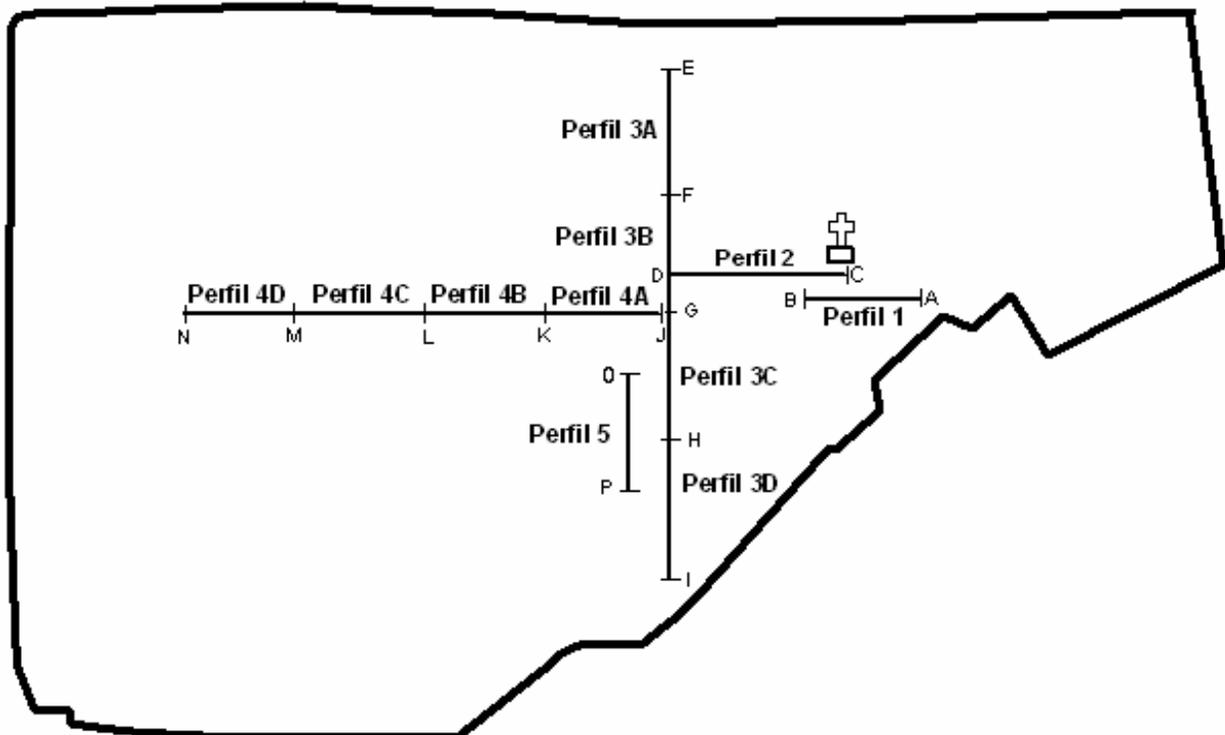


Figura 5.6 – Localização dos perfis na área do cemitério.

Os dados coletados nos perfis de GPR foram processados com o software Reflexw versão 4.2 (SANDMEIER, 2006), licenciado para a Faculdade de Geofísica da UFPA. As etapas de processamento adotadas neste trabalho são brevemente descritas a seguir.

Importing GPR Data Files (Importação de arquivos de dados GPR). Esta etapa consistiu na criação de um projeto de trabalho no qual foram dispostos todos os dados dos perfis executados. O programa importa estes dados em formato DZT, que é o formato de saída do GPR usado.

Markerinterpol permite a interpolação dos dados na direção do perfil com base nos marcadores que são ajustados manualmente ou extraídos automaticamente. O valor do incremento do traço utilizado foi 0,02 m, pois devido as aquisições no tempo este incremento não foi definido. A distância em que os marcos foram realizados nas aquisições de campo foi de 5 m.

Set time zero foi utilizado para definir a disposição do tempo zero no perfil.

Insert Profile foi usado para empilhar lateralmente os perfis (perfis 3 e 4, Figura 5.6), compondo um único radargrama.

Subtract-mean (Dewow) é um filtro normalmente usado para remoção de baixas frequências, utilizou-se 5 ns para janela do tempo.

Energy decay é o ganho utilizado para recuperação da energia dissipada ou absorvida, o valor escalar do ganho aplicado foi igual a 1.

Background Removal é a aplicação de filtro que subtrai de um traço a média calculada (tracrange), que é configurada pela escala de tempo/distância da seção atual. O filtro remove ruídos de fundo e refletores horizontais.

BandpassFrequency, aplica-se um filtro bandpass a cada traço no domínio da frequência. A faixa do filtro é especificada pelo ajuste de quatro valores da frequência (F_1 , F_2 , F_3 , F_4 da Figura 5.7), sendo que o valor central de frequência da antena utilizada deve ficar entre o F_2 e F_3 . O filtro suprime uma variedade de ruídos e reverberações. Os valores de frequências utilizados foram respectivamente, em MHz, 90, 140, 500 e 700.

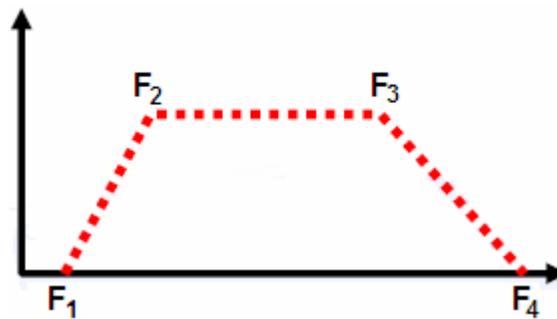


Figura 5.7 – Freqüências de corte usadas na elaboração do filtro. Adaptado de Brandwood (2003).

Migração Kirchhoff consegue imagear corretamente estruturas que apresentam refletores com fortes inclinações, ou seja, colapsa as difrações e retira possíveis eventos cruzados localizando os objetos em suas posições reais. Entretanto é necessário um ajuste hiperbólico para encontrar a velocidade para a migração. A abertura da migração utilizada foi 20 e a velocidade 0,08 m/ns que foi encontrada pela presença de hipérboles de difração nos perfis.

Energy decay foi aplicada novamente, pois, após a migração, os refletores mais profundos perdem a amplitude. Assim sendo, o valor escalar do ganho foi de 1,5.

Time-Depth Conversion tem por finalidade converter o dado da escala do tempo para a escala de profundidade.

A seqüência de processamento é comum para todos os perfis do local, entretanto a *Markerinterpol* e *Set time zero* é específica de cada perfil.

5.4 RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL

A Figura 5.8 mostra a localização dos perfis de GPR sobre o mapeamento SP realizado anteriormente.

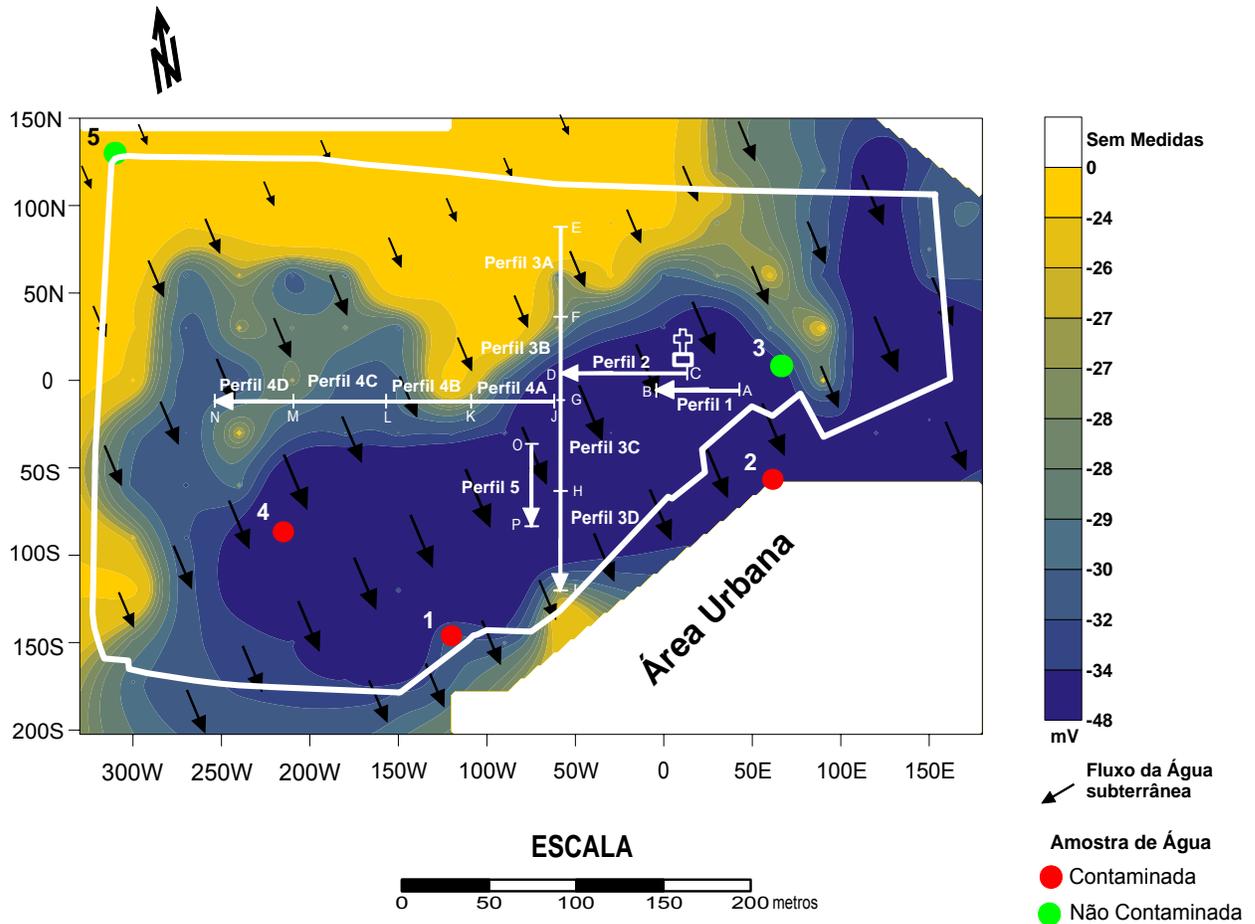


Figura 5.8 - Mapa de SP mostrando a posição dos radargramas (baseado em CARVALHO JUNIOR, 1997).

As Figuras 5.9 a 5.13 reúnem os radargramas em ordem decrescente, respectivamente, obtidos ao longo dos perfis mostrados nas Figuras 5.6 e 5.8. Cada conjunto de radargramas compreende o radargrama construído com dados brutos, o radargrama processado, já com a conversão do tempo em profundidade, e, finalmente, o mesmo radargrama a interpretação geológica sobre ele. Nessas Figuras foi usada a

escala de 1:10 para evidenciar as informações com respeito à variação da profundidade.

A diferença entre os radargramas brutos e os radargramas processados (Figuras 5.9 a 5.13) mostra que o processamento permitiu sobremaneira a melhoria dos refletores.

Por outro lado, a presença abundante de argila acima do nível hidrostático não favorece o desenvolvimento de uma transição abrupta entre a zona capilar e a zona saturada. Logo, a detecção do NH por meio do GPR no cemitério do Bengui não é facilitada.

Além disso, localmente, pode haver um enriquecimento de areia bem como um enriquecimento em argila, porque a extração de materiais de construção da área deixou uma topografia irregular, com paleovales, que foi preenchida por aterro. Em outras palavras, a subsuperfície já foi demasiadamente modificada pela ação antrópica. A areia, devido a sua maior resistividade, deve coincidir com trechos dos radargramas cujos scans aparecem mais nítidos, o oposto deverá ocorrer com os trechos com maior enriquecimento de argila. Localmente, podem ocorrer vestígios de concreção ferruginosa (Figura 5.2), que, dada a sua elevada resistividade, permitiriam um acentuado contraste e, portanto, uma nítida imagem.

PERFIL 3

O perfil 3 de 215 m de comprimento, Figura 5.9, mostra zonas de atenuação consideráveis entre 82 e 123 m e entre 173 e 185 m. O perfil é perpendicular aos perfis 1, 2 e 4 e corta a área da porção menos propícia à contaminação para a mais propícia, segundo o SP (Figura 5.8). A primeira zona de atenuação coincide com a passagem entre essas duas porções. As zonas de atenuação podem estar relacionadas a um maior conteúdo em argila.

Destacam-se fortes sinais, entre 30 a 40 m, a partir da profundidade de 80 cm; entre 125 e 170 m, até 1 m de profundidade e entre 193 a 204 m, por volta da profundidade de 0,5 a 1,1 m. Os fortes sinais nessas porções do radargrama, além de

outros de menor expressão, podem estar relacionadas ao aumento de areia ou ao enriquecimento em concreções ferruginosas.

PERFIL 4

O perfil 4 de 195 m de comprimento, Figura 5.10, corresponde à continuidade dos perfis 1 e 2. Ele começa na borda da anomalia de SP e segue na direção W, Figura 5.8. O radargrama mostra zonas de atenuação, entre as quais se destaca a zona de 31 a 49 m, provavelmente provocada por argila.

Observa-se também um refletor entre 5 e 25 m que sugere um paleovale. Ainda, um refletor inclinado de 128 m até cerca de 147 m, que antes e depois dessas coordenadas pode ser relativamente horizontal; esse refletor também pode evidenciar relíquias do relevo deixado pela extração de material de construção.

O NH pode estar representado pela linha horizontal, pontilhada, que pode ser acompanhada por quase todo o radargrama na profundidade de cerca de 1,2 m.

PERFIL 2

O perfil 2 de 73 m de comprimento, Figura 5.11, é continuidade do perfil 1, mas cruza a anomalia de SP do seu interior para a borda, Figura 5.8.

O perfil 2 apresenta sinais bem claros no seu início, dando continuidade à iluminação observada também ao final do perfil 1. A partir dos 37 m até o final do perfil e a uma profundidade entre 0,60 e 1,20 m, desenvolvem-se zonas de atenuação do sinal.

Entre 20 e 70 m aparece um refletor, provavelmente um paleovale resultante da extração de material de construção que foi posteriormente preenchido por material menos argiloso do que o material existente a partir dos 37 m. Essa geometria subsuperficial poderia gerar um maior acúmulo de água e, conseqüentemente, estaria de acordo com a informação obtida com o SP (e com o caminhamento elétrico).

PERFIL 1

O radargrama obtido no perfil 1 de 45 m, Figura 5.12, apresenta imagens claras de 0 a 13 m. A partir daí, especialmente entre 15 m e 36 m, passa a ocorrer uma certa atenuação do sinal, em diferentes profundidades, mas com predominância por volta de 0,80 m. Observa-se também um refletor pouco inclinado entre 20 e 40 m há uma profundidade de 0,60 m.

PERFIL 5

O perfil 5 de 40 m está situado dentro da anomalia de SP, Figura 5.7. Ele apresenta sinais bem claros, exceto na porção central onde o solo se encontra sob as raízes do jameiro e ao final do perfil. Em ambos os casos, a atenuação ocorre logo na porção mais superficial do radargrama, Figura 5.13.

A posição do NH é incerta em quase todo o radargrama, mas parece ligeiramente na posição sugerida no perfil 4, próxima de 1,2 m.

Os perfis GPR permitiram obter imagens claras de alguns fortes refletores inclinados ao longo dos perfis. Os refletores vistos nos perfis GPR são descontínuos atenuação do sinal.

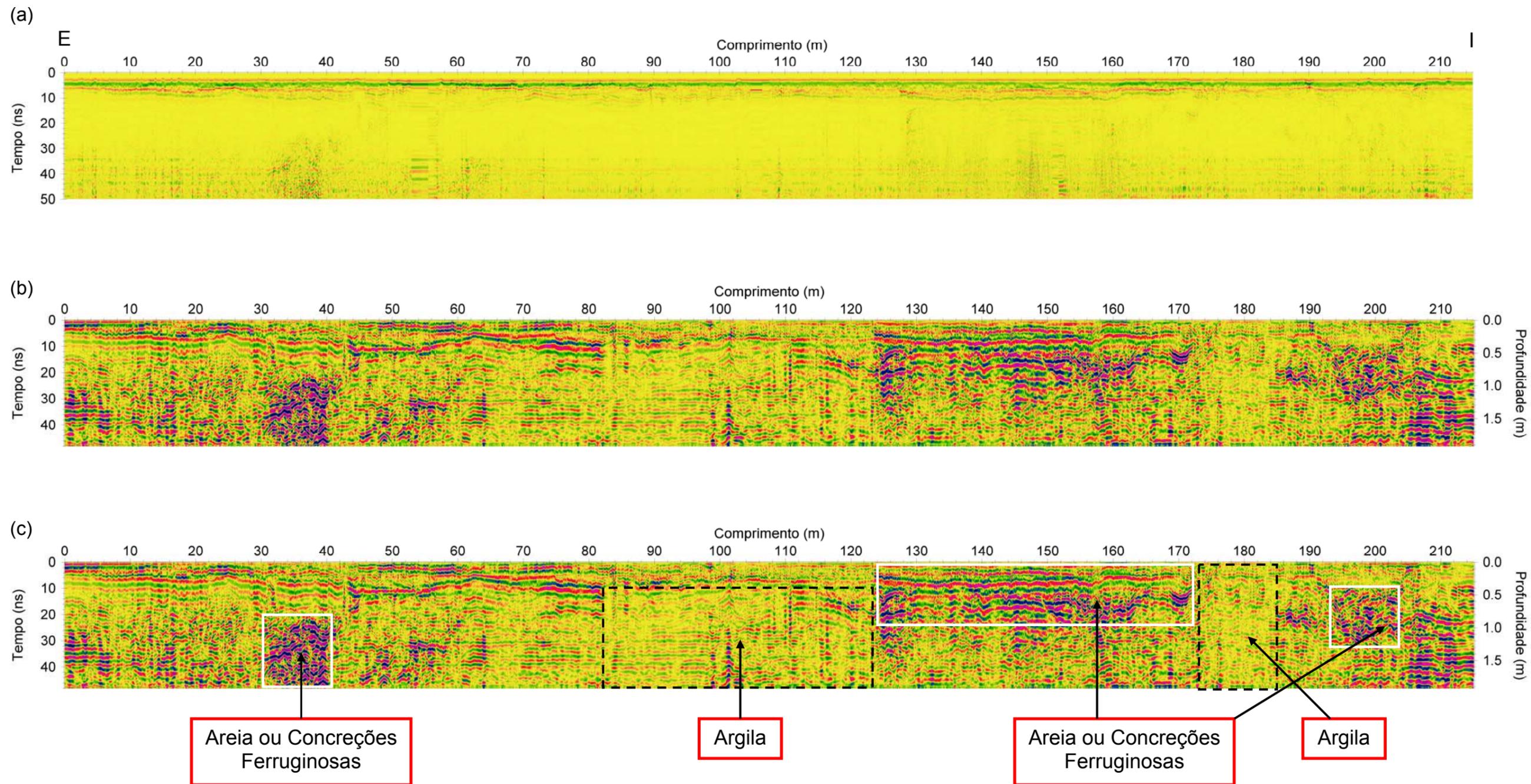


Figura 5.9 – Perfil 3. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado.

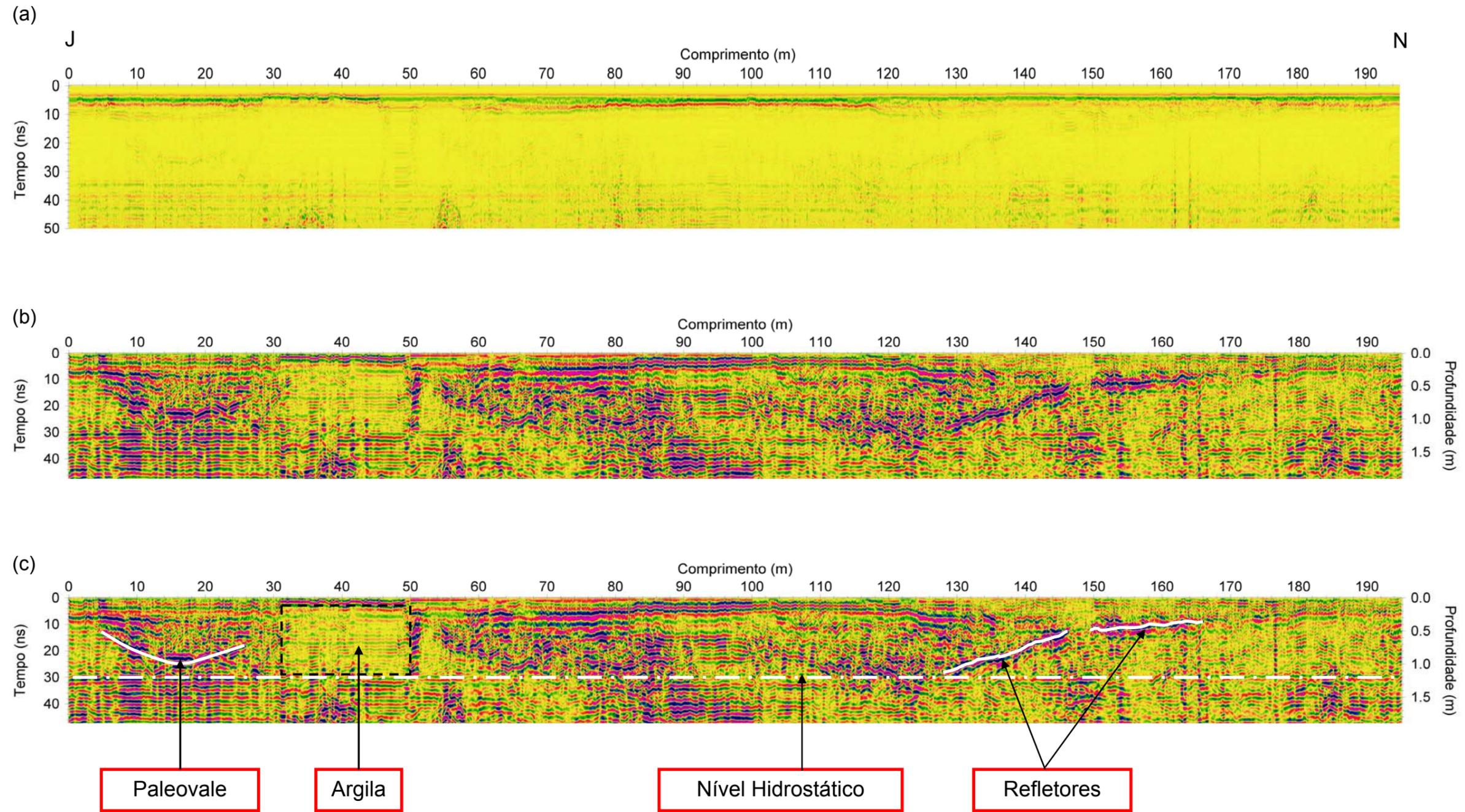


Figura 5.10 - Perfil 4. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado

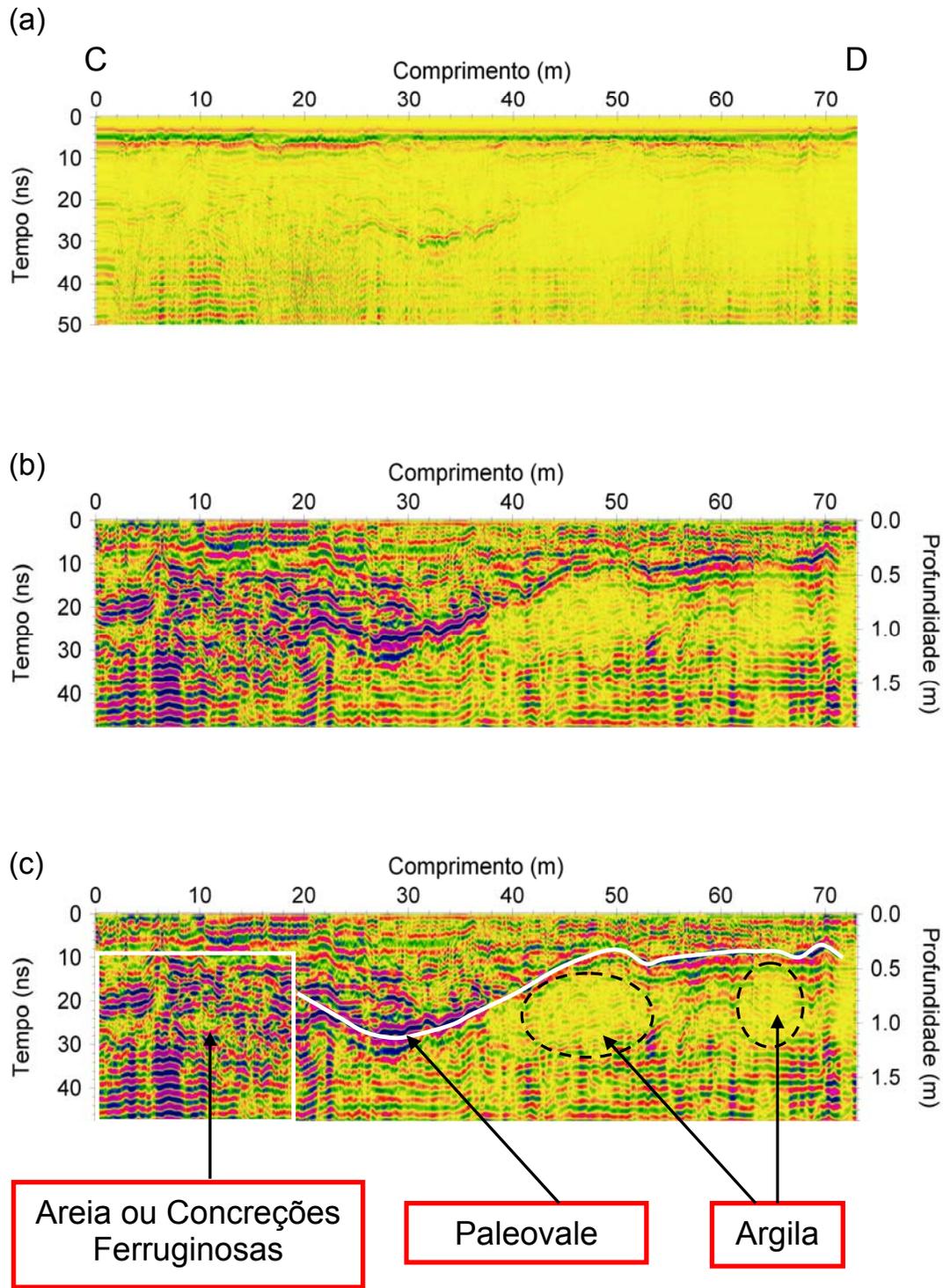


Figura 5.11 - Perfil 2. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado.

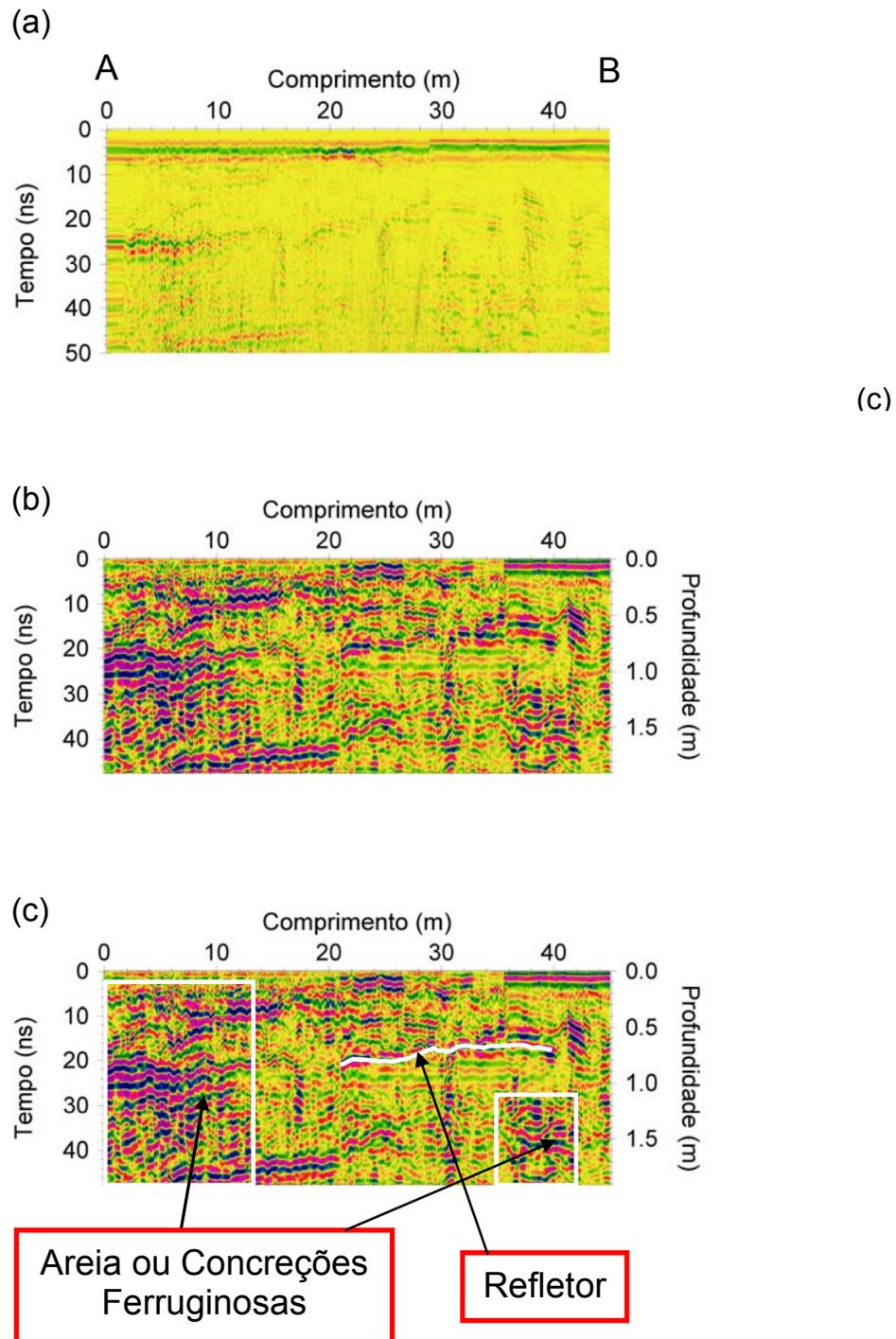


Figura 5.12 - Perfil 1. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado.

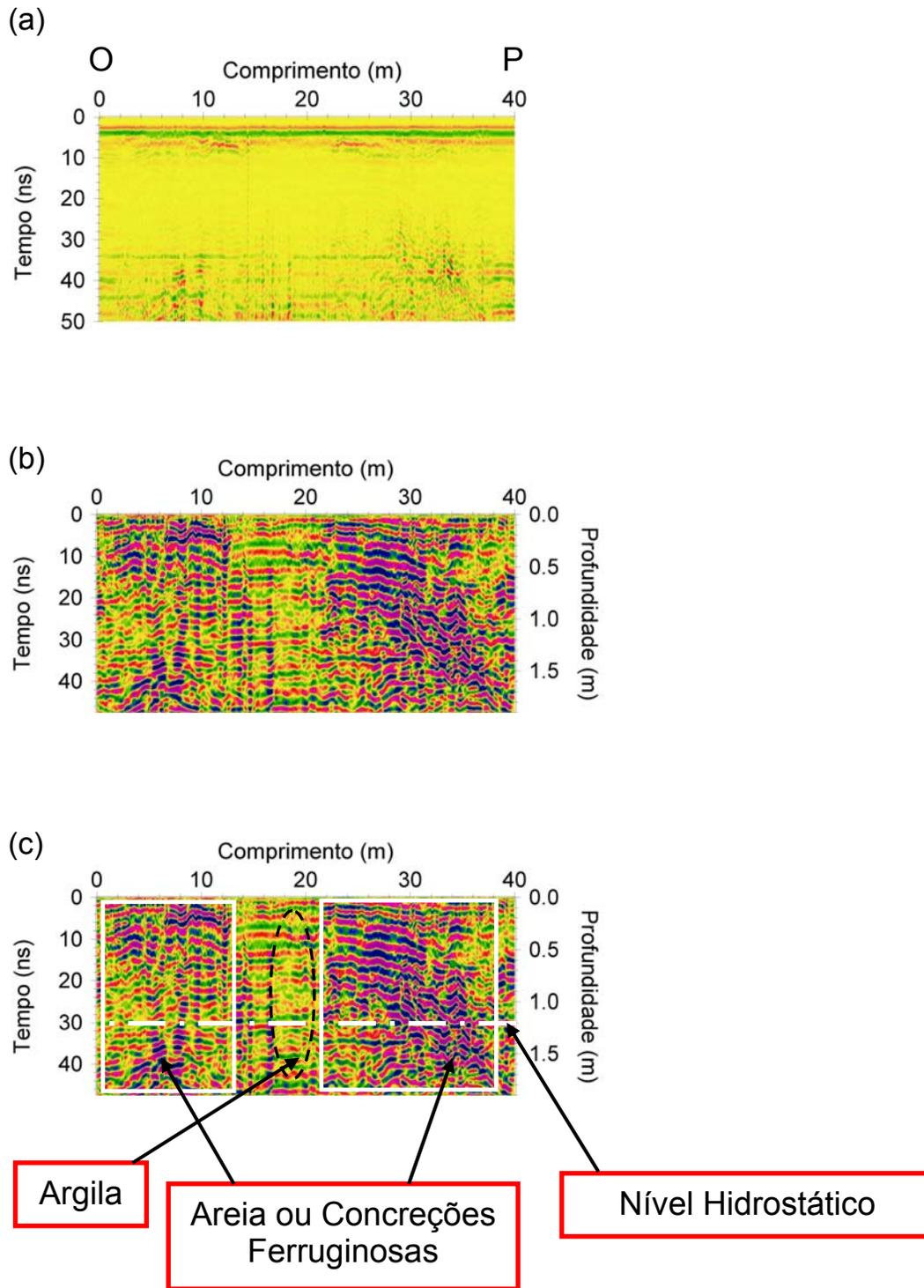


Figura 5.13 - Perfil 5. Radargrama: (a) bruto, (b) processado e (c) interpretado.

6 CEMITÉRIO DO TAPANÃ

6.1 GENERALIDADES

O Cemitério do Tapanã foi inaugurado no dia 25 de setembro de 1996 e está localizado dentro da Região Metropolitana de Belém no km 05 da Rodovia do Tapanã, próximo de outras fontes potenciais de contaminação: usina de asfalto ao Norte, cemitério particular ao Norte; e vários loteamentos irregulares que se instalaram no seu entorno, gerando, assim, um fator de risco (Figura 6.1).

O projeto de implantação do cemitério do Tapanã data de dezembro de 1990, gestão do prefeito Augusto Rezende, mas as obras da primeira fase, que abrangiam uma área de 12,92 hectares, foram iniciadas e concluídas na gestão de Hélio Gueiros (CARVALHO JUNIOR, 1997). A finalidade da primeira fase de implantação era a de socorrer o cemitério do Bengui que a época já se encontrava lotado (O LIBERAL, 1992).

O cemitério do Tapanã possui aproximadamente 24.000 sepulturas. Apesar de possuir uma grande área, parte desta não é apropriada à inumação, visto que sua porção mais a leste é de escavabilidade difícil devido à presença de restos de concreção ferruginosa e aproximadamente 9 m mais baixa do que a sua porção mais a norte (Figura 6.2).

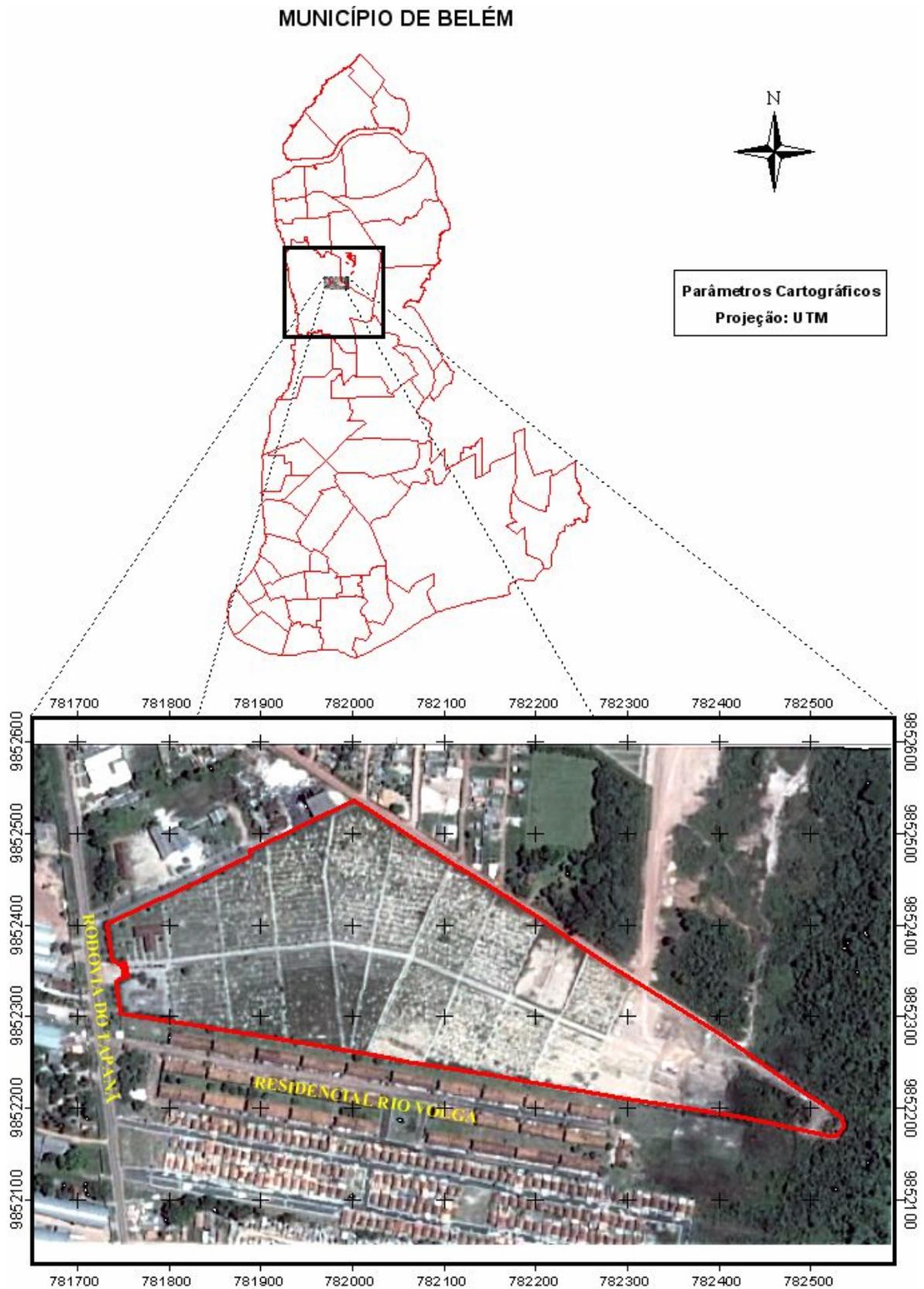


Figura 6.1 - Mapa de localização do cemitério do Tapanã (Fonte: CODEM, 1996).

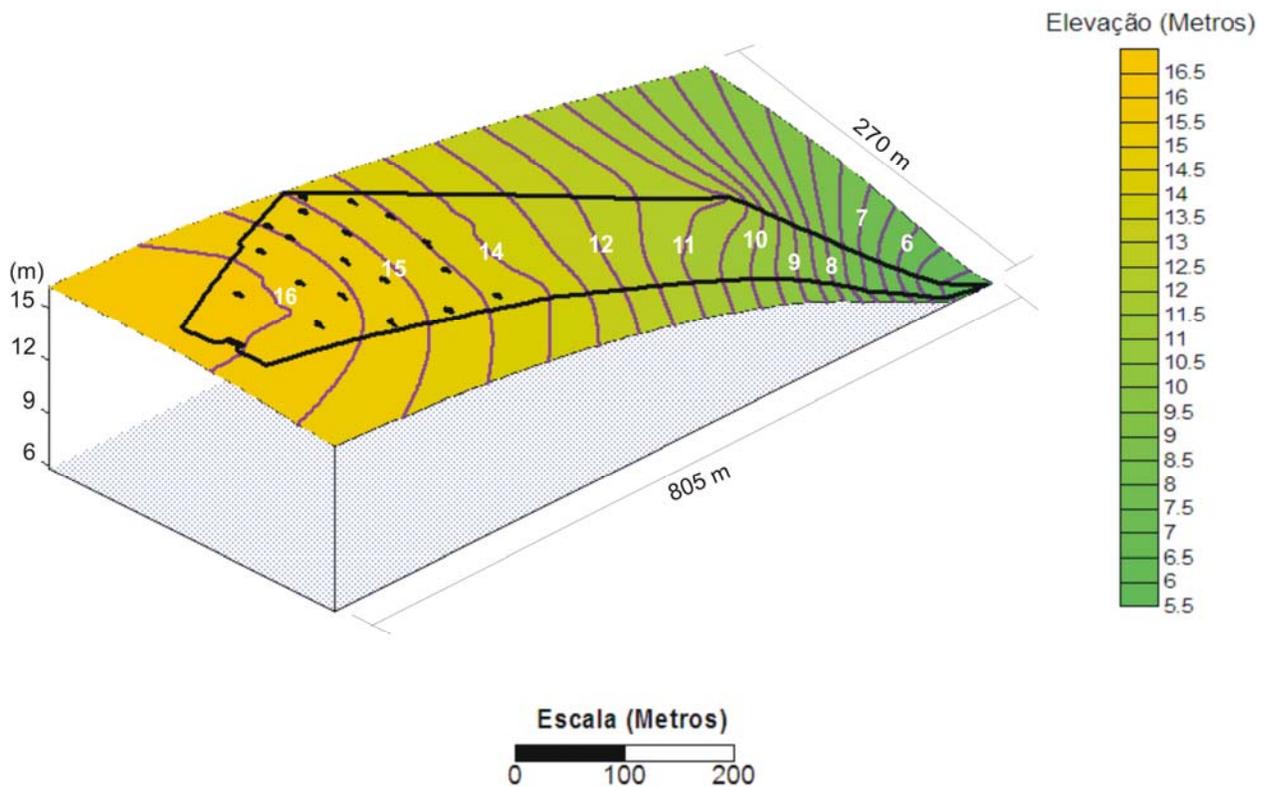


Figura 6.2 - Mapa topográfico do cemitério com os valores em relação ao nível do mar (Dados fornecidos pela CODEM, 1999).

A litologia do cemitério compreende sedimentos do Terciário, topo do grupo Barreiras, e do Quaternário, sedimentos pós-barreiras e aluviões, Figura. 6.3, (DAMASCENO, 2001).

Nas partes altas do cemitério, o NH está a cerca de 7 m. Essa distância, elevada para Belém (e para muitas áreas amazônicas), sugeria que a saponificação não ocorreria no cemitério do Tapanã. O solo argiloso, em conjunto com a umidade da região, no entanto, está provocando o fenômeno da saponificação na área.

| Período | Unidade | Prof (m) | Representação | Descrição |
|-------------|-------------------------------|----------|---------------|--|
| QUATERNÁRIO | Sedimentos Pós-Barreiras | 0,30 | | Solo |
| | | 2,90 | | Sedimentos areno - argilosos, de coloração amarelo ferruginosa, granulometria variando de fina a média. |
| TERCIÁRIO | Sedimentos do Grupo Barreiras | 4,00 | | Sedimentos areno-argilosos, de coloração amarelo ferruginosa, granulometria variando de fina a grossa, apresentando concreções ferruginosas de até 4 cm. |
| | | 5,20 | | Sedimentos argilo-arenosos de coloração cinza escura. |
| | | 7,50 | | Argilito laminado, de coloração avermelhada, com pequenas lentes areia. |
| | | | | Areia grossa mal seccionada, com grãos subangulosos, gradando superiormente para um nível conglomerático. Corresponde a uma camada com água |

Figura 6.3 - Litoestratigrafia do cemitério do Tapanã (DAMASCENO, 2001).

A saponificação retarda a rotatividade no tempo hábil, cinco anos para adultos e três para crianças de até 7 anos (Resolução municipal, Lei 7.055, de 30 de dezembro de 1977, artigo nº 165 - Código de Postura do Município de Belém). As fotos mostradas na Figura 6.4 mostram resquícios da saponificação observados mesmo após os restos estarem a um bom tempo a seco (partes moles no interior do crânio, restos de pele e outros unidos aos ossos). A consequência é a lotação da necrópole, cuja capacidade já não era mesmo suficiente para atender à população carente. Na falta de local para o sepultamento, as covas passaram a ser realizadas nas passarelas (Figura 6.5). O ossuário, também, teve sua capacidade esgotada; por ocasião deste trabalho, os banheiros estavam recebendo os ossos (em realidade ossos e partes moles) formando uma camada de cerca de 1 m (Figura 6.6).



Figura 6.4 - Ocorrência de saponificação no cemitério.



Figura 6.5 – Ocorrência de superlotação no cemitério.

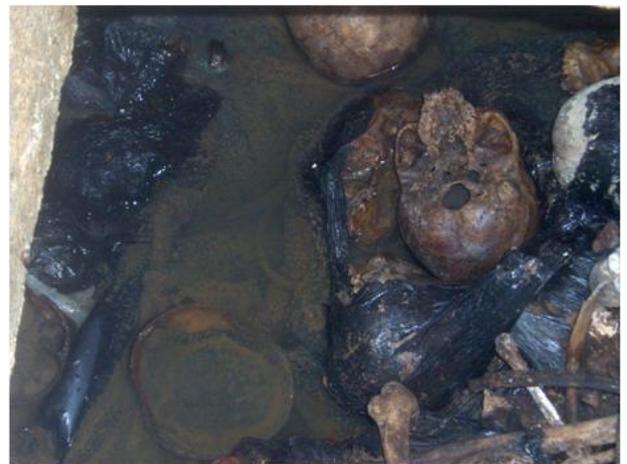


Figura 6.6 – Banheiro sendo usado como ossuário.

6.2 TRABALHOS GEOFÍSICOS ANTERIORES

O método da eletrorresistividade foi empregado no cemitério do Tapanã em 2000 (DAMASCENO, 2001). Foram realizadas dez SEVs com o arranjo Schlumberger e caminhamento elétrico com o arranjo Wenner ao longo de nove perfis E-W, espaçados de 30 m, com estações a cada 15 m (Figura 6.6).

Em adicional, o perfil 00 foi levantado também com espaçamentos de 30 m e 45 m e os perfis 30N e 120N, com espaçamento de 30 m (Figura 6.7). Esse procedimento, que permite obter para um mesmo perfil a variação lateral da resistividade em diferentes profundidades ou níveis (ou seja, que consiste na realização de caminhamento e sondagem simultaneamente), é conhecido como imageamento elétrico. Neste caso, os valores de resistividade aparente obtidos são apresentados sob a forma de pseudo-seções.

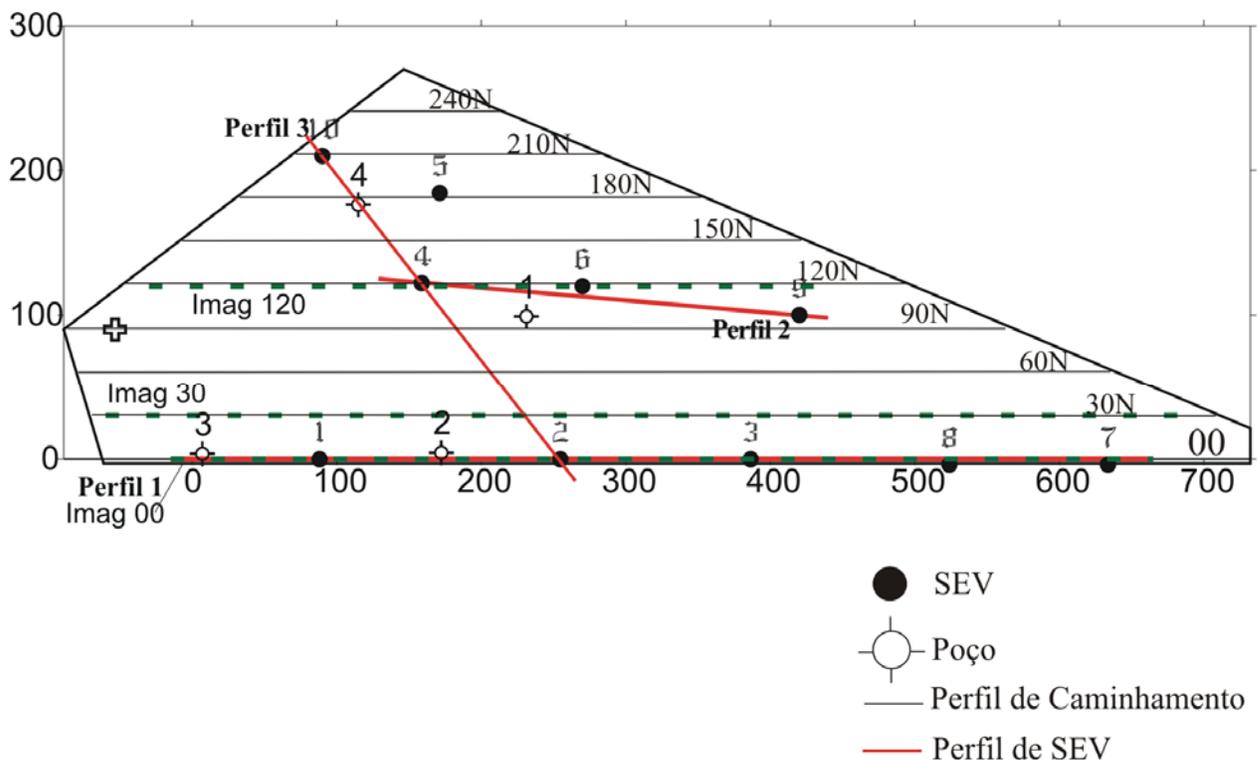


Figura 6.7 - Localização de sondagens e perfis. A cruz indica a capela (DAMASCENO, 2001)

Damasceno (2001) conclui em seu trabalho, após a integração dos resultados, que a quase totalidade do local não apresenta riscos à contaminação do lençol freático, pois além do NH estar a uma profundidade de cerca de 7,5 m, ele é protegido por uma camada rica em argila. O caminhamento elétrico Wenner mostra zona condutiva a leste, significativa do NH próximo da superfície, o que era de se esperar, já que a topografia do local apresenta um desnível acentuado nesta direção (Figura 6.2). Há outra zona condutiva mais central que merece estudos aprofundados. A autora ressalta que deve ser investigado se a camada de argila é suficiente para depurar a contaminação proveniente do cemitério nas condições climáticas amazônicas.

6.3 TRABALHOS GEOFÍSICOS REALIZADOS

Com a permissão do Departamento de Necrópoles (DANE) e apoio do Instituto Médico Legal (IML), foi implantado no cemitério do Tapanã um campo de testes controlado, para permitir testes pioneiros de interesse não só da Geofísica Ambiental como também da Geofísica Forense, da Geofísica de Resgate e, ainda, da Geofísica Antropológica; como também permitir aulas práticas com métodos geofísicos diversos (SILVA *et al.*, 2008). A vantagem do campo de testes, que foi denominado de Campo de testes controlados para Geofísica Forense, Ambiental e de Resgate (FORAMB), dentro do cemitério é a possibilidade de se trabalhar com cadáveres humanos, em vez de se utilizarem animais. O FORAMB teve custo praticamente zero, apenas foram feitos gastos pequenos com o transporte e com coveiros, pois todo o restante foi gentilmente cedido pelo IML.

A primeira parte do trabalho foi escolher a área para teste. Foram selecionadas três áreas no dia 13 de agosto de 2007 afastadas da área de sepultamento do cemitério, para não sofrer influência dos corpos já enterrados. As três áreas foram investigadas com o GPR, mas todas mostraram-se com ruídos culturais ou com ruídos geológicos ou ambos. A área com radargrama mais monótono foi uma área próxima aos ossuários individuais, daí ter sido ela a escolhida.

A área selecionada tem subsolo argiloso e está há um desnível de aproximadamente 7 m da parte mais alta do cemitério. Para a primeira fase dos trabalhos, foi construído um único perfil com 13 m de comprimento na área selecionada (Figura 6.8).

Perpendicular ao perfil foram dispostos no dia 06 de outubro de 2007, três alvos, a saber: Cadáver (**C**), Túnel (**T**) e Armamentos (**A**), como mostra a Figura 6.9.

O cadáver de 55 kg de massa e 1,60 m de altura foi enterrado no dia 05 de outubro de 2007 m em uma cova de 0,8 m de profundidade e 0,6 cm de largura, localizada entre as posições 3,8 m e 4,4 m do perfil (Figuras 6.9 e 6.10). A profundidade inferior ao dos sepultamentos em cemitérios coincide com a profundidade das covas clandestinas de interesse forense. Não foi utilizado caixão, mas a armação de transporte do IML de tábuas brancas de consumo rápido com as laterais vazadas e sem tampa, o que aproxima ainda mais o experimento da área forense.

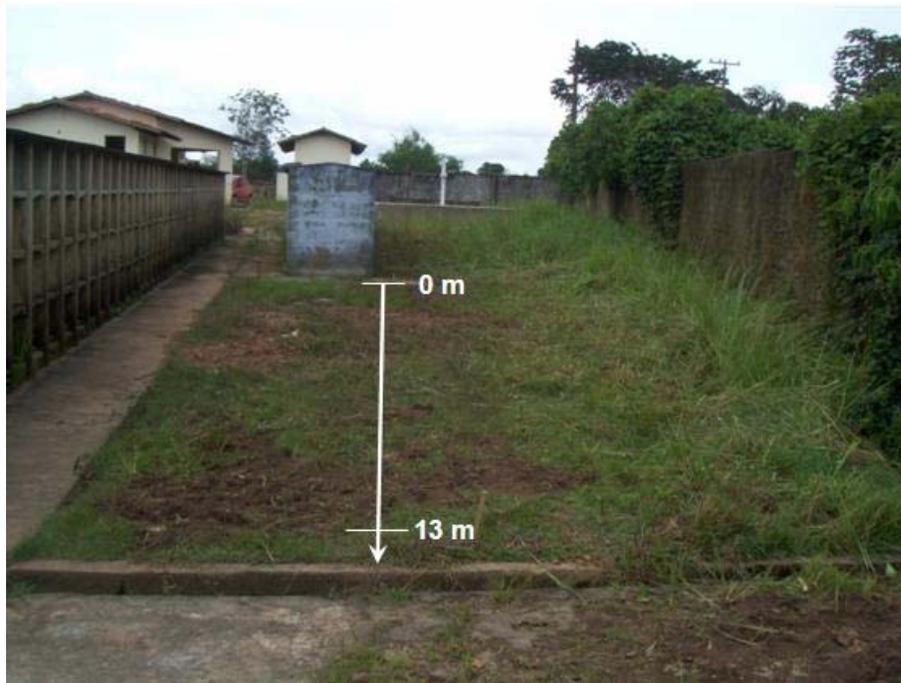


Figura 6.8 - Local escolhido para os testes.

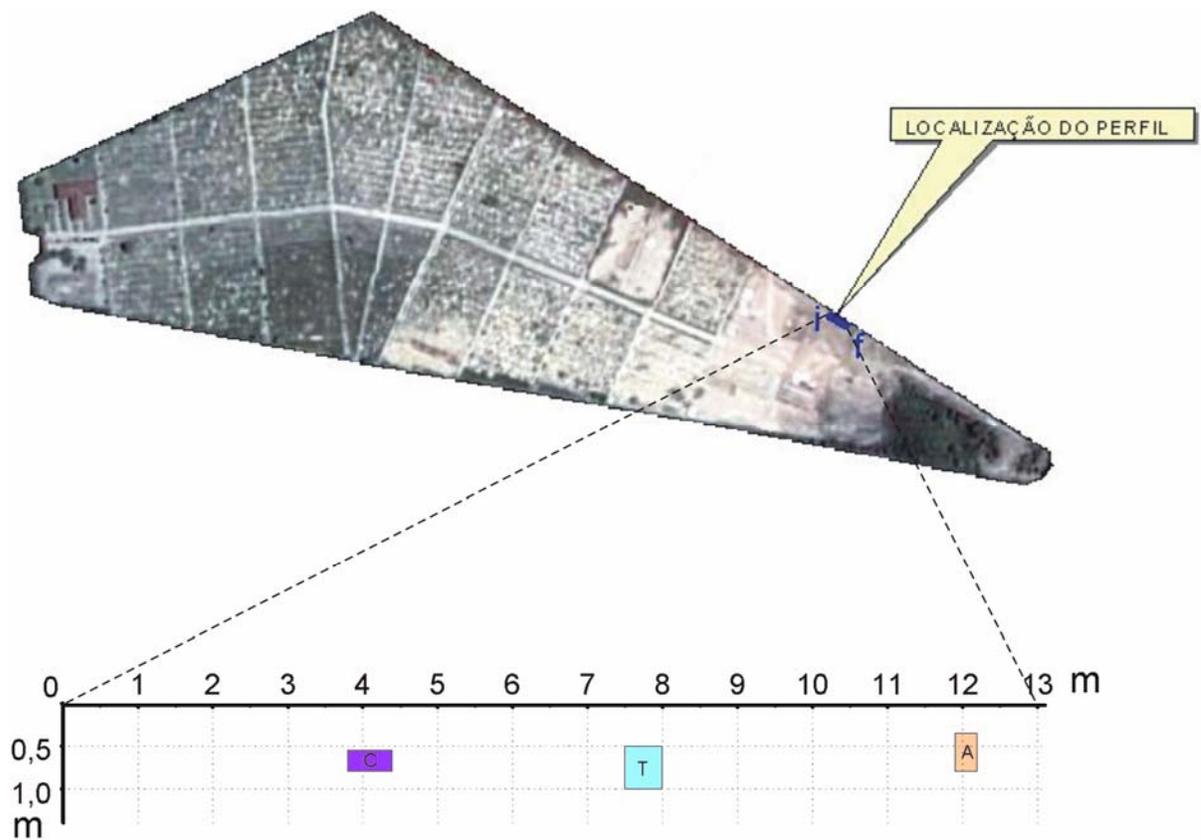


Figura 6.9 – Acima: localização do perfil no cemitério; as letras i e f assinalam início e fim do perfil. Abaixo: localização dos alvos no perfil. As letras C, T e A assinalam a posição exata do cadáver, túnel e caixa de armamentos, respectivamente.



Figura 6.10 – A foto evidencia o enterro de cadáver humano na área do FORAMB.

Corpos estudados pelo IML perdem uma quantidade significativa de líquidos, seja pela autópsia, seja pelo congelamento a que são submetidos, o que reduz a produção do necro-chorume, alvo do estudo de interesse ambiental. Essa redução, contudo, foi relativamente compensada pelo uso da armação de madeira do IML no lugar de caixão, porque o caixão retém parcialmente a liberação do necro-chorume para o ambiente. Por outro lado, a umidade excessiva do ambiente amazônico propicia a sua re-hidratação e conseqüente preservação cadavérica pela saponificação, o que conduz a um tempo longo e intermitente de liberação do necro-chorume.

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 (Figuras 6.9 e 6.11).

A caixa com metais, simulando armamentos, possui ferros retorcidos amarrados e separados em três tipos: 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 (Figuras 6.9 e 6.12).



Figura 6.11 – Foto evidencia o enterro de uma caixa simulando um túnel na área do FORAMB.



Figura 6.12 – Foto evidencia o enterro de uma caixa com ferros simulando armarias enterradas na área do FORAMB.

O período de monitoramento se estendeu de outubro de 2007 a março de 2008. Os estudos no perfil foram realizados mensalmente após a colocação dos alvos em outubro de 2007 até o mês de março/08, usando-se os métodos GPR e LIN, sendo que os dados do mês de março de 2008 do Slingram não foram aproveitados (Quadro 6.1).

Quadro 6.1 – Data dos Levantamentos

| Data | Método Geofísico – Obs. |
|------------|------------------------------------|
| 13/07/2007 | GPR – Background |
| 30/08/2007 | LIN – Background |
| 19/10/2007 | GPR e LIN |
| 16/11/2007 | GPR e LIN |
| 14/12/2007 | GPR e LIN |
| 11/01/2008 | GPR e LIN |
| 20/02/2008 | GPR e LIN |
| 26/03/2008 | GPR e LIN (dados não aproveitados) |

O equipamento GPR utilizado foi o da UFPA: *TerraSIRch SIR (Subsurface Interface Radar) System-3000* da *Geophysical Survey Systems, Inc. (GSSI)* e uma antena biestática blindada de 400 MHz (Modelo 5103). Os levantamentos no perfil

foram todos realizados por meio do *afastamento comum*, no modo tempo, e com marcações a cada 2 m (Figura 6.13).

O equipamento usado na aplicação do método EM indutivo foi o LIN EM34-3 da UFPA, mostrado no capítulo 4, que utilizou o cabo de referência de 10 m e medições a cada 1 m (Figura 6.14).



Figura 6.13 – Foto evidencia o levantamento com o GPR na área do FORAMB



Figura 6.14 – Foto evidencia o levantamento com o LIN EM34-3.

6.4 RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL E FORENSE

Visto que a quantidade de água nos poros das rochas modifica suas propriedades eletromagnéticas, para auxiliar na interpretação das medidas é apresentado na Figura 6.15 o gráfico da precipitação acumulada em Belém em um, dois, cinco, dez, quinze e em até vinte dias antes de cada levantamento com o LIN e o GPR. O gráfico de precipitação foi construído com dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio do Instituto de Meteorologia da UFPA.

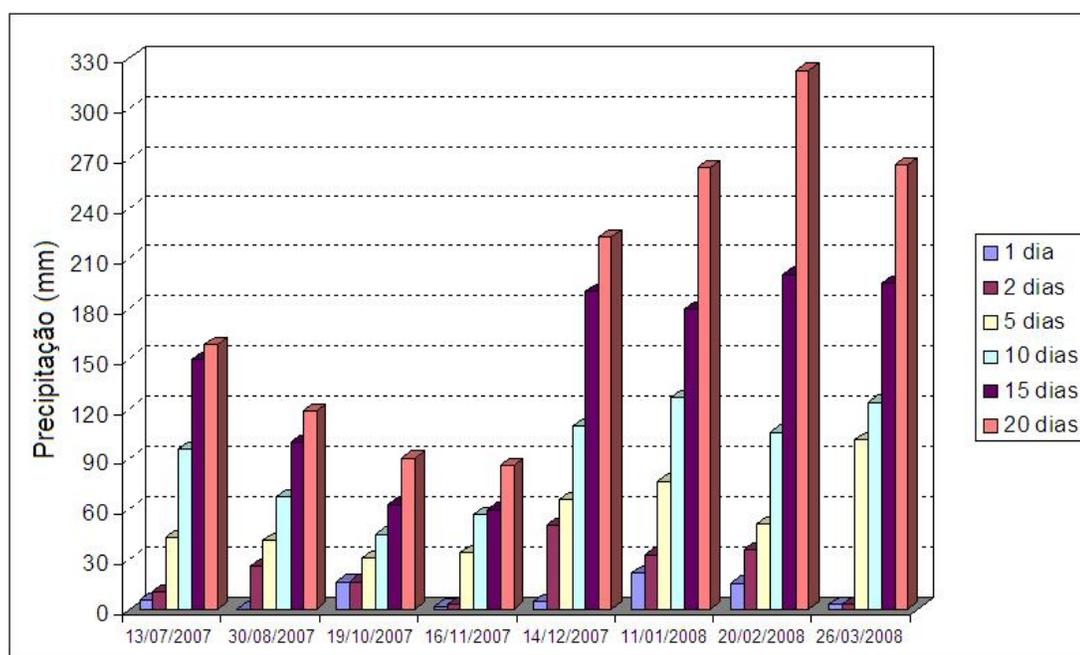


Figura 6.15 – Gráfico da precipitação em Belém (INMET, 2008)

6.4.1 LIN

A área de testes encontra-se na porção oeste do cemitério, e ao longo do perfil de 13 m a variação topográfica é desprezível onde o NH está relativamente mais próximo da superfície do que no restante do cemitério, assim, seria esperado o aumento da condutividade. A escavabilidade do local, contudo, diminui enormemente com a topografia, enquanto aumenta a quantidade de restos de concreções

ferruginosas. Essas concreções, denominadas de Grês-do-Pará, correspondem a um material areno-conglomerático quartzoso, cimentado por ferro, de elevada resistividade elétrica, que localmente ocorrem antes do NH.

Os dados dos levantamentos mensais com o LIN, EM34-3, foram lançados, para facilitar a comparação, em um único gráfico mostrando a posição no perfil (m) versus a condutividade aparente (mS/m). A Figura 6.16 (a) mostra os dados medidos com o dipolo horizontal (DH), enquanto a Figura 6.16 (b), os dados obtidos com o dipolo vertical (DV).

As principais diferenças entre os gráficos são: i) as curvas DV com valores mais próximos do que as curvas DH e ii) a maior variação da intensidade, em relação ao levantamento inicial do mês de agosto (o que será referido como background – BG), das respostas DV comparadas com DH. A primeira é consequência de sua maior sensibilidade à subsuperfície quanto mais próxima ela estiver do arranjo, em outras palavras, são os gráficos DH os mais adequados para a análise do efeito dos alvos enterrados sobre as medidas (Figura 4.13). A maior intensidade da resposta DV, por sua vez, está relacionada a sua maior resposta acumulada (Figura 4.14).

Também é mostrado o gráfico dos resíduos, ou seja, da diferença entre a condutividade aparente obtida entre cada levantamento realizado e o levantamento inicial, antes da colocação dos alvos, para os modos DH e DV (respectivamente, Figuras 6.18 e 6.19).

L_{ago/07}

O primeiro levantamento, L_{ago/07}, realizado antes dos alvos serem enterrados, mostra a queda na condutividade aparente ao longo do perfil de 13 m, tanto para o modo DH como para o modo DV, linha tracejada, em preto, nas Figuras 6.16 (a e b).

A tendência das curvas obtidas antes do enterramento dos alvos, portanto, em especial as curvas obtidas com o DV, que é o modo que permite investigação mais profunda, reflete o enriquecimento local de concreções resistivas aumentando com a

diminuição da topografia e a supressão da camada superior rica em sedimentos arenos-argilosos.

As curvas obtidas com os levantamentos após a colocação dos alvos mostram em linhas gerais o mesmo comportamento (BG) descrito associado ao aumento em Grês-do-Pará (Figuras 6.16 - a e b).

L_{out/07}

O levantamento de outubro, L_{out/07}, foi realizado duas semanas após o enterramento dos alvos (linha vermelha das Figuras 6.16 - a e b).

Há uma redução dos valores no perfil para o modo DH em relação ao BG (Figura 6.16-a), mais facilmente observada no gráfico do resíduo $DH_{out/07} - DH_{ago/07}$ (Figura 6.17). Isto pode ser explicado pela mudança na estrutura do solo resultante das escavações realizadas para enterrar os alvos, associada à precipitação que foi menor neste período do que no período anterior. Por outro lado, qualquer modificação espacial da posição de calibração das bobinas como também do subsolo onde as mesmas foram calibradas ou ambos podem também explicar a modificação.

Na investigação para o modo DV de investigação mais profunda e menos sensibilidade à superfície, o BG praticamente não sofre alteração significativa; pequenas variações estão dentro da precisão instrumental (Figura 6.16 - b). A anomalia observada na posição de 7 m, mostrada no gráfico $DV_{out/07} - DV_{ago/07}$ (Figura 6.18), próxima ao túnel, é mais sugestiva de ruído operacional do que de uma redução considerável na condutividade aparente provocada pela presença do túnel, devido à falta de correspondência no perfil para o modo DH.

L_{nov/07}

O levantamento de novembro (linha azul escuro das Figuras 6.16-a e b) foi realizado no período de maior estiagem da investigação, ligeiramente maior do que a observada para o período de realização das medidas anteriores. No perfil DH, observa-se um leve aumento da resistividade, mostrado no gráfico $DH_{nov/07} - DH_{ago/07}$ (Figura 6.17). Sobre o corpo, a condutividade mostra uma elevação da condutividade que

poderia ser causada pela liberação do necro-chorume, mas a magnitude das medidas é tão pequena que essa variação pode ser explicada como ruído. No modo DV, nada se destaca.

L_{dez/07}

O levantamento do mês de dezembro (linha azul-petróleo das Figuras 6.16 – a e b) foi realizado quando a precipitação (Figura 6.15) passa a crescer em relação aos meses anteriores. Isto pode explicar o pequeno aumento na condutividade das medidas obtidas com o modo DH, evidente também no gráfico $DH_{dez/07} - DH_{ago/07}$ (Figura 6.17), em relação aos dois meses anteriores. As pequenas nuances que se observam nos perfis podem refletir apenas o ruído local.

L_{jan/08}

O levantamento de janeiro, $L_{jan/08}$, foi realizada com precipitação acumulada superior ao mês anterior, mas com precipitação acumulada para 2 dias muito menor. Possivelmente, no início do período de saturação do solo, é a precipitação acumulada de 2 dias aquela que mais efeito teria sobre a investigação mais rasa (linha amarela das Figuras 6.16 – a e b).

A porção inicial do perfil DH mostra valores de condutividade menores que os registrados no mês anterior, sugerindo um solo mais resistivo. A tendência geral no perfil permanece, mas é este perfil que mais se distancia do BG. Além de ruídos, é possível que o perfil reflita a infiltração desigual de água. No modo DV não há destaques.

L_{fev/08}

Finalmente, no mês de fevereiro, quando houve a maior precipitação (Figura 6.15), a água não teria sido totalmente evaporada, restando uma quantidade considerável de água nos poros das rochas, o que explicaria o aumento considerável da condutividade no local, como é observado nos gráficos para o modo DH e mesmo no DV (linha verde das Figuras 6.16 – a e b).

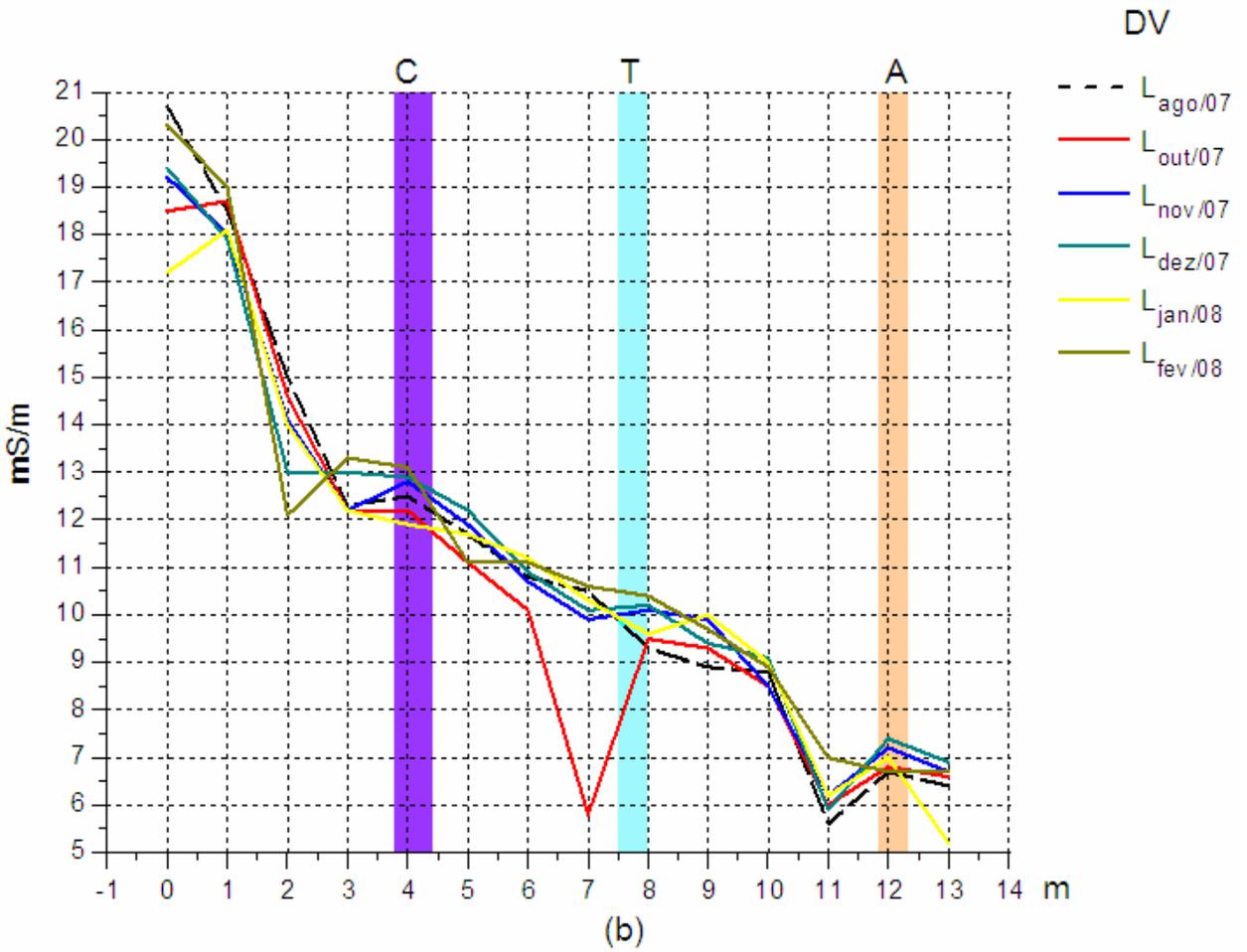
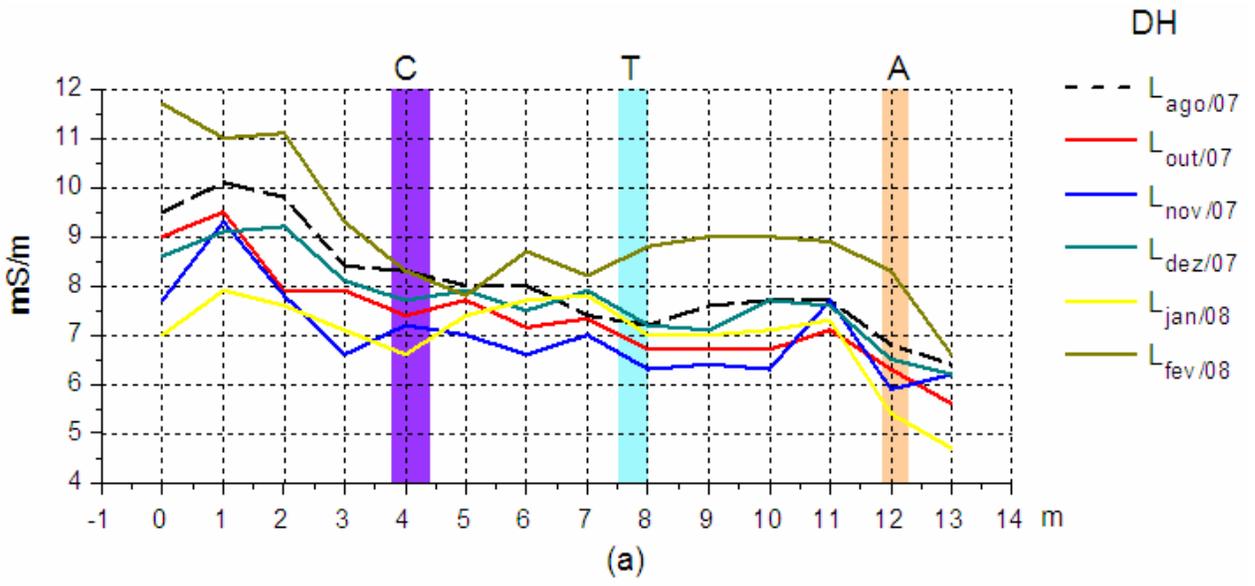


Figura 6.16 – Resultados do LIN no modo DH (a) e no modo DV (b)

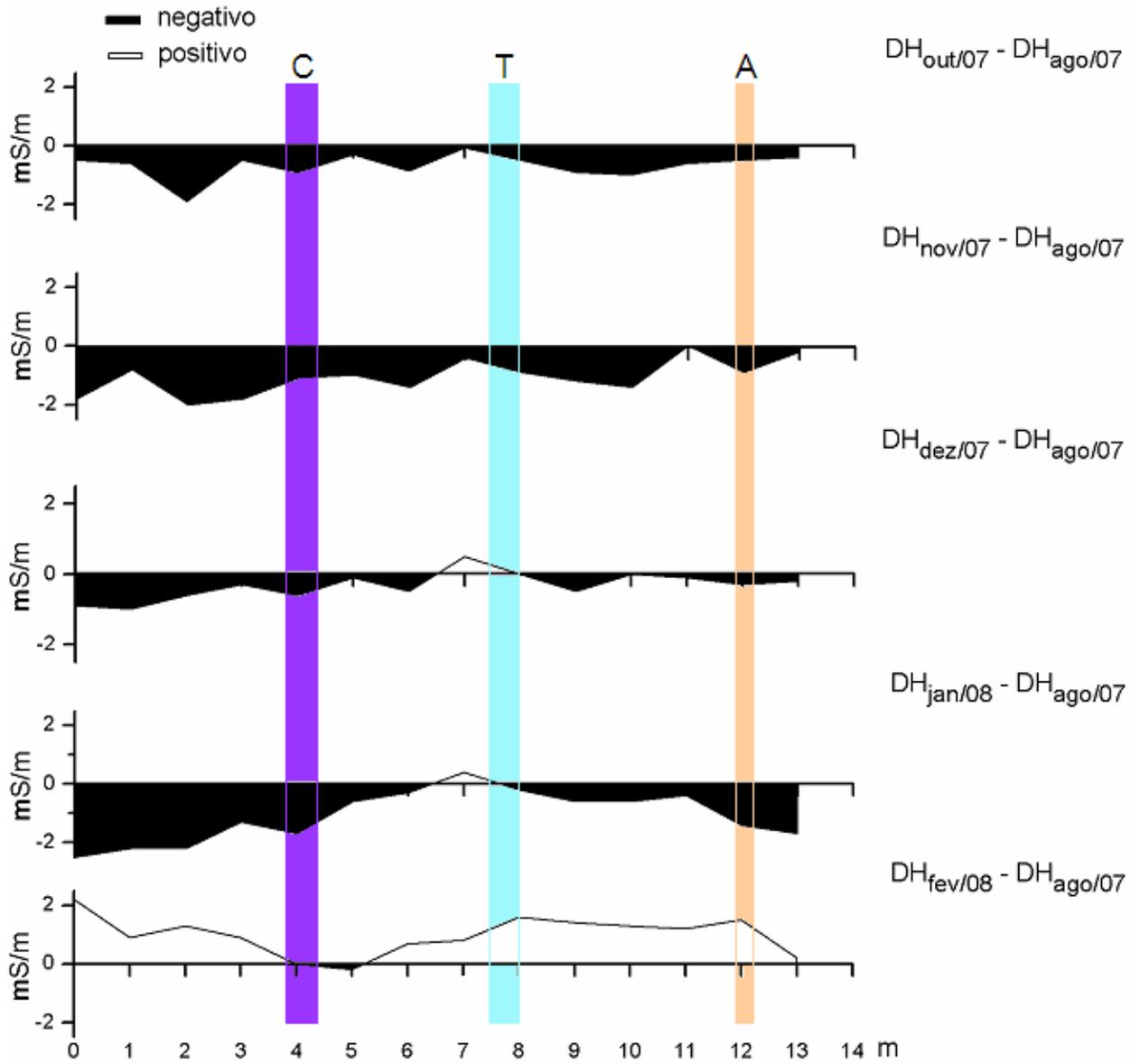


Figura 6.17 – Gráfico dos resíduos no modo DH

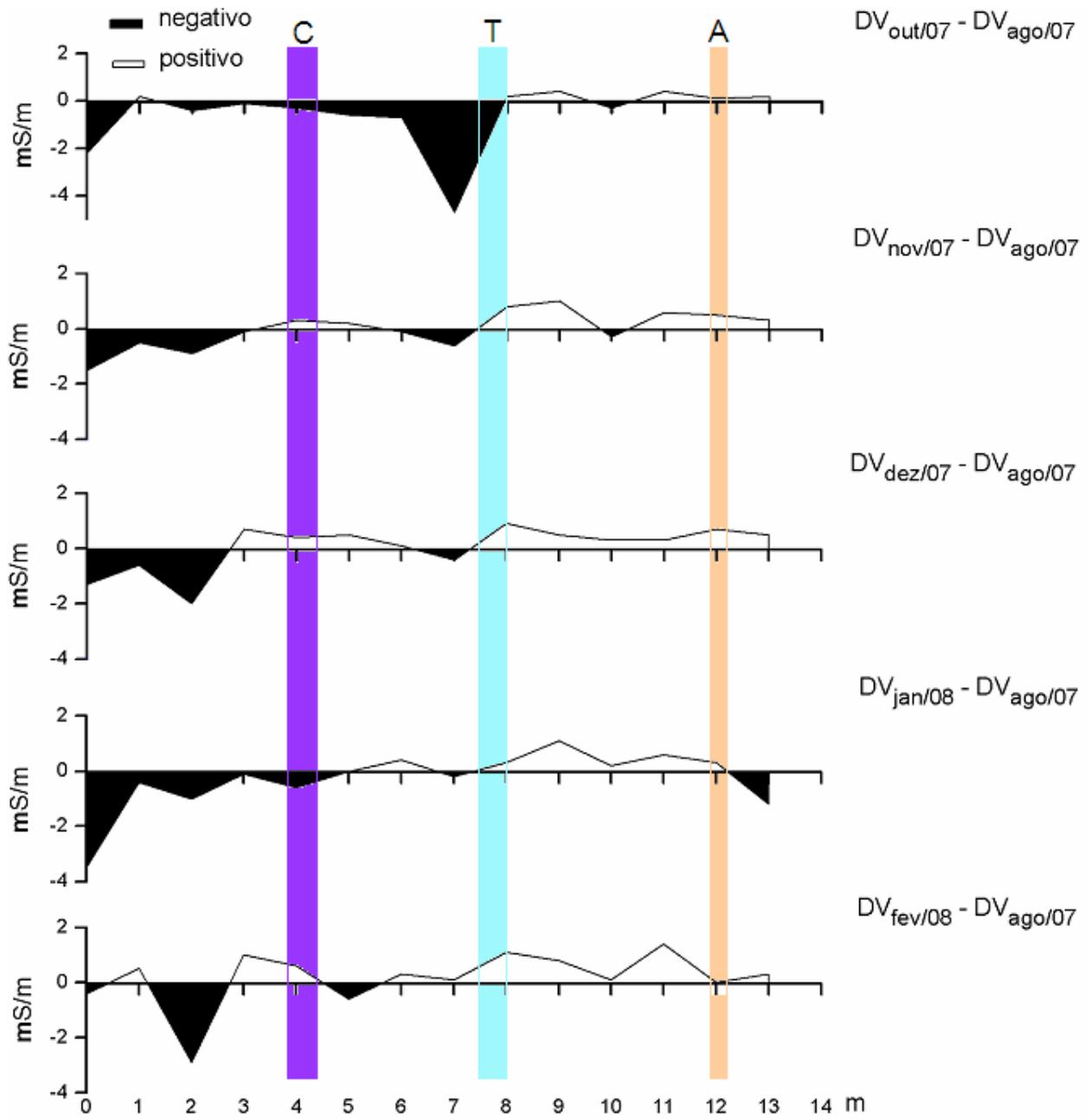


Figura 6.18 - Gráfico dos resíduos no modo DV

6.4.2 GPR

Os levantamentos com o GPR na área disponível para teste foram todos realizados por meio do *afastamento comum*, no modo tempo, com marcações a cada 2 m.

Os dados foram processados com o software Reflexw versão 4.2 (SANDMEIER, 2006). As etapas de processamento seguiram basicamente a seqüência: *Importing GPR Data Files; Markerinterpol*, onde o valor do incremento do traço utilizado foi 0,005 m; *Static Correction; Subtract-mean (Dewow)*, com janela do tempo de 5 ns e *Time-Depth Conversion*. Não foram necessários outros procedimentos, visto que os dados mostraram-se satisfatórios para a interpretação, exceto o mês de novembro.

A Figura 6.19 mostra os radargramas brutos obtidos no perfil durante os vários meses do trabalho. A Figura 6.20 mostra esses radargramas processados, tendo sido usada a velocidade média de 0,075 m/ns, que foi encontrada por meio da equação 4.22, já que a profundidade de cada alvo é conhecida. Finalmente na Figura 6.21, é mostrada a interpretação desses radargramas processados.

L_{jul/07}

O levantamento realizado no dia 13 de julho de 2007, antes da colocação dos alvos, apresenta reflexões próximas a 1 m sugestivas de tubulação, que serão usadas como referencial na localização dos alvos enterrados. O radargrama de julho também mostra: atenuação até a profundidade de 1 m, que pode ter sido provocada pelo aterro rico em argila colocado no local, e reflexões próximas entre 8,5 e 11 m, provavelmente relacionadas à restos de Grês-do-Pará, Figura 6.21-a.

L_{out/07}

No levantamento de 19 de outubro de 2007, que é o primeiro após a disposição dos alvos, o GPR foi capaz de detectar, além do referencial, o cadáver e, principalmente, o túnel, por conta do seu tamanho maior e da parte oca com ar, que

reduz sobremaneira a constante dielétrica e a condutividade local; a resposta da caixa de armarias confunde-se com de outras anomalias próximas (Figura 6.21-b). Observa-se na profundidade próxima de 0,8 m uma linha horizontal ao longo do perfil que poderia estar relacionada com a franja de capilaridade nesta área, em conformidade com os estudos realizados por Damasceno (2001), mas essa linha pode também ter sido provocada por variação litológica.

L_{nov/07}

No levantamento do dia 16 de novembro de 2007, observa-se uma alta atenuação das ondas do radargrama, mas, ainda assim, é possível visualizar o referencial, o cadáver e o túnel; entretanto, não foi possível visualizar a caixa de armarias (Figura 6.21-c).

L_{dez/07}

Os radargramas construídos com os dados do levantamento do dia 14 de dezembro de 2007 mostram: a atenuação do sinal próximo ao local do referencial, o alargamento sinal do cadáver, em especial no sentido do fluxo d'água, provavelmente ocasionada pela fase humorosa se desenvolvendo e sendo espalhada pelas primeiras chuvas, o sinal do túnel ainda apresenta altas reflexões, ainda que neste período já tenha ocorrido o seu desmoronamento parcial por conta também das chuvas; a caixa de armaria permanece nos padrões anteriores, ou seja, não é possível destacá-la dos demais alvos (Figura 6.21-d). O radargrama mostra uma separação, na profundidade de 0,8 m, entre duas zonas; a superior com um padrão de atenuação e a inferior com os sinais mais nítidos. Essa primeira zona sugere o enriquecimento em argila, até ali trazido como aterro, que, devido a sua alta permeabilidade, reteria água das chuvas que começaram neste período (Figura 6.15).

L_{jan/07}

No levantamento do dia 11 de janeiro de 2008, observa-se o sinal do cadáver mais largo no sentido do fluxo d'água, o túnel mostra-se invariável em relação ao levantamento anterior e, pela primeira vez, aparece sinal nítido da caixa de armaria, mais resistivo, provavelmente ocasionado pela oxidação dos ferros na caixa devido às chuvas. A zona de atenuação superficial também aparece no radargrama. Destaca-se a partir deste mês, a migração do sinal do cadáver no sentido da jusante (leste), que é também o sentido do fluxo da água.

L_{fev/07}

No radargrama obtido com o levantamento do dia 20 de fevereiro de 2008, ocorre a atenuação provocada pela zona superficial, o sinal do cadáver, o sinal do túnel e o sinal da caixa de armarias.

L_{mar/07}

No ultimo levantamento, realizado no dia 26 de março de 2008, todas as feições são observadas.. Observam-se os mesmos padrões do mês de outubro, quanto à franja de capilaridade.

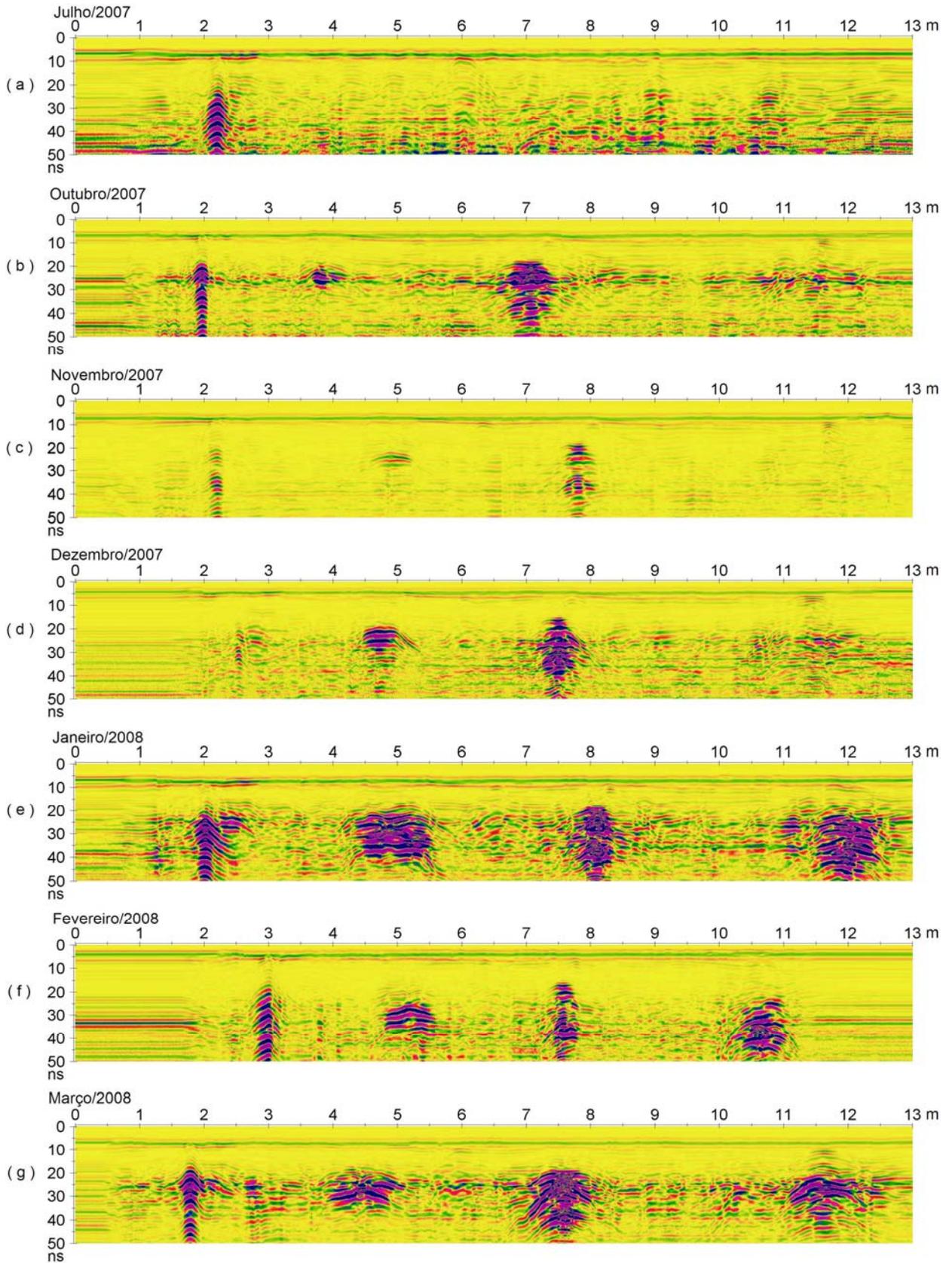


Figura 6.19 – Dados Brutos

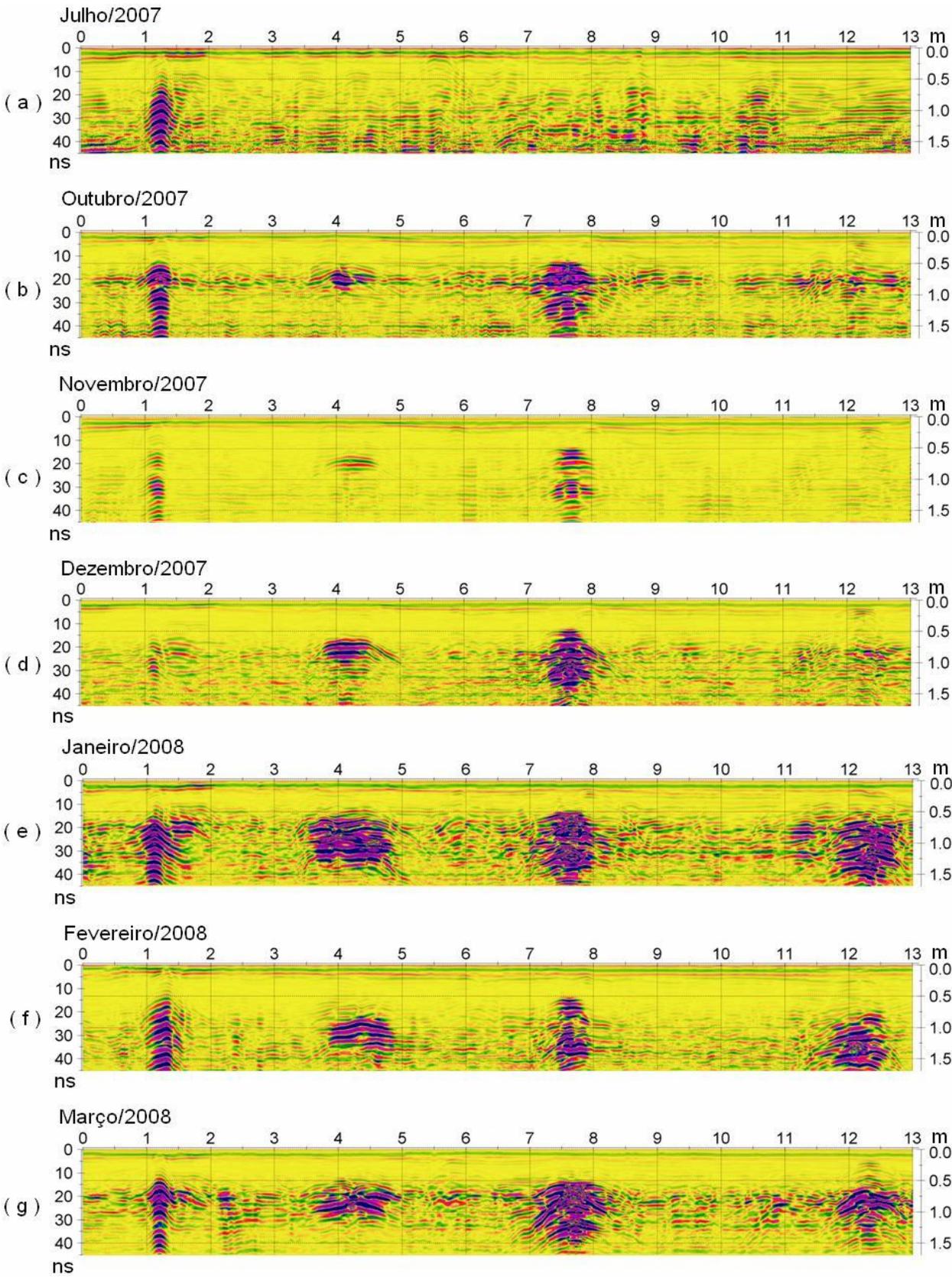


Figura 6.20 – Dados processados e convertidos em profundidade.

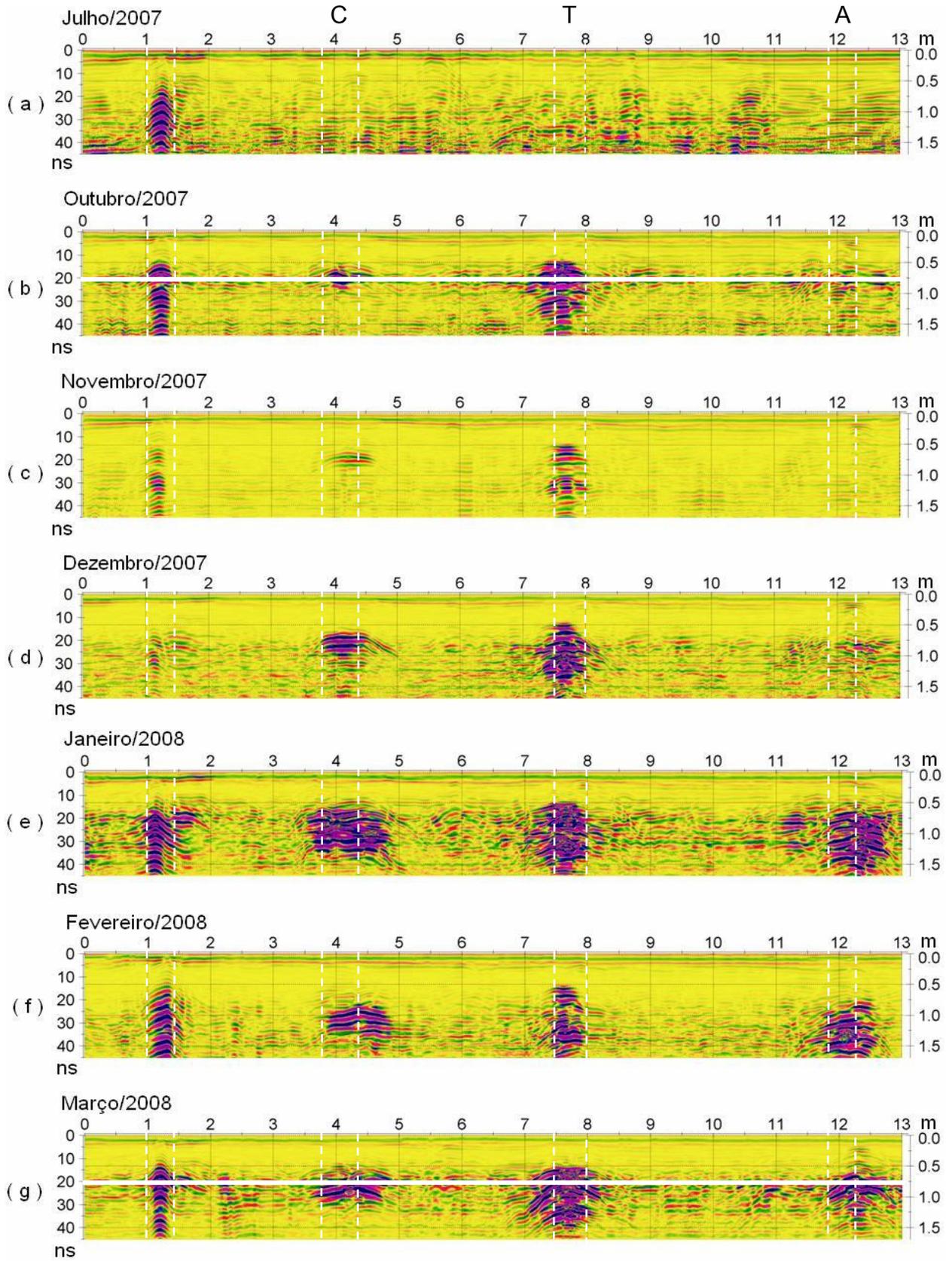


Figura 6.21 – Dados interpretados

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A detecção do NH por meio do GPR no cemitério do Bengui é uma tarefa extremamente difícil, porque: i) a extração de materiais de construção da área deixou uma topografia irregular, que foi preenchida com aterro rico em argila, e ii) a presença abundante de argila acima do nível hidrostático não favorece o desenvolvimento de uma transição abrupta entre a zona capilar e a zona saturada.

O levantamento realizado no cemitério do Bengui com o GPR, apesar da presença de argila, permitiu em alguns trechos mapear o nível hidrostático.

O estudo no cemitério do Tapanã confirmou, por meio do GPR, que o local é rico em uma camada fina de aterro argiloso, bem como sugere nível hidrostático bastante superficial na área do FORAMB, como detectado no trabalho de Damasceno (2001). Além disso, evidenciou que a fase da decomposição também deixa registro seja pela ampliação do sinal produzido pelo cadáver, seja pela observação do sinal acompanhar o gradiente hidráulico.

A umidade e a presença de argila, independente da profundidade do NH, provocam a saponificação que retarda o processo de putrefação e prolongam a contaminação cemiterial.

A permissão de exumação após tempo breve é uma herança dos códigos sanitários estaduais mais antigos. O artigo 165 da lei 7.055 de 30 de dezembro de 1977 do Código de Postura do Município de Belém, portanto, que permite a exumação após 5 anos, reflete conhecimento que, além de antigo, foi herdado de regiões diferentes da Amazônica. O tempo de exumação exíguo é responsável por impactar psicologicamente os parentes dos exumados bem como elevam sobremaneira o nível de insalubridade ao qual são submetidos os coveiros. Os restos da exumação, por sua vez, transferem para ossuários comumente mal acondicionados a possibilidade de contaminação, ao mesmo tempo em que submetem o solo e as águas já fortemente impactados, ao receber pelo sistema rotativo novo cadáver, à nova impactação. A Natureza não tem descanso para proceder à depuração biológica. Para a 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 é para crematórios. A continuação dos estudos com o GPR sobre corpos em decomposição é importante para verificar o comportamento do sinal com as diferentes fases de decomposição em nossa região, de clima úmido e freqüentemente coberta por manto de intemperismo rico em argila.

O trabalho voltado a Geofísica Forense, por sua vez, mostrou que o GPR, mesmo em condições amazônicas localiza extremamente bem cadáveres e túneis. A caixa de armaria que nos primeiros meses não foi detectada, começando as chuvas, possivelmente devido à oxidação, contudo, passou a fornecer sinal claro, que permite a sua localização. O trabalho com o LIN EM34-3 não é conclusivo, como esperado, porque a profundidade de investigação, em torno de um metro, não é adequadamente investigada com o aparelho disponível na instituição; neste caso, esperam-se melhores resultados com o LIN EM-38, uma vez que a profundidade de investigação é mais superficial.

O FORAMB, campo de teste controlado no cemitério do Tapanã, é um experimento pioneiro no Brasil que se mostrou extremamente positivo. A implantação teve custo mínimo e relativa facilidade, apesar de envolver cadáver. Está permitindo testar vários Métodos Geofísicos (aqueles aqui abordados e outros) e treinar profissionais e estudantes na investigação ambiental e forense nas condições extremas da Amazônia, para as quais, em geral, não existem dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. M. de; MACEDO, J. A. B. Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necro-chorume. Seminário de Gestão Ambiental. Instituto Vianna Junior. Universidade Federal de Juiz de Fora – MG, 2005. 12 p.
- BARREIRA, C.; DINIS, P.; FIGUEIREDO, F. P. O. 2008. Estudo de plumas de contaminação provocadas por Cemitérios, caso de estudo no cemitério de Fonte de Angeão, Vagos. In: 9º Congresso de água, Cascais (Portugal), 2-4 abril 2008, APRH Associação Portuguesa de Recursos hídricos. Disponível em: <http://www.aprh.pt/congressoagua2008/comunicações/92.pdf>.
- BELLO, L. A. L.; SADALLA NETO S. F.; SANTOS FILHO W. M. Geoenvironmental Investigations for Cemetery Installation and its Impact on the Environment – Amazônia University-UNAMA, Belém, Pará, Brasil, 2002. 6 p.
- BEVAN, B. W. The search for graves. *Geophysics* 56, p. 1310–1319, 1991.
- BORGES, W. R. Investigações Geofísicas na Borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e eletrorresistividade. 2002. 153 p. *Dissertação de Mestrado* (Departamento de Geofísica), IAG/USP, São Paulo, 2002.
- BRANDWOOD, D. **Fourier Transforms in Radar and Signal Processing**. London: Artech House. 2003. 212 p.
- BRAZ, V. N.; LOPES, M. S. B. Presença de contaminação em áreas de cemitério, após sua desativação: estudo de caso do cemitério do Benguí. Belém - Pará. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, MS. 2005.
- BRAZ, V. N.; MENEZES, L. B. C.; BERREDO, F. Contaminação de Águas resultantes do Uso Inadequado do Solo, na Instalação de Cemitérios. Estudo do Caso da Cidade de Belém-PA, BR. In: SIMP. ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 3, Gramado, 1996. 11 p. Disquete.
- BRAZ, V. N.; MENEZES, L. B. C.; SILVA, L. M. C. Integração de Resultados Bacteriológicos e Geofísicos na Investigação da Contaminação de Águas por Cemitérios. In: 1st Joint World Congress on Groundwater. Ceará, 2000. 8 p. CD-ROM.
- CAMPOS, A. P. S. Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial. 2007. 141 p. *Dissertação de Mestrado*. Faculdade de Saúde Pública, USP, São Paulo, 2007.
- CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 70 p.

CARDIMONA, S.; CLEMENT W. P.; KADINSKY-CAD, K. E. Seismic reflection and ground-penetrating radar imaging of a shallow aquifer. *Geophysics*, vol. 63, nº. 04, p. 1310-1317, 1998.

CARVALHO FILHO, José dos Santos. **Manual de Direito administrativo**. 13. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2005. 907 p.

CARVALHO JUNIOR, M. A. F. Aplicação de Métodos Geofísicos ao Estudo de Águas Subterrâneas na Grande Belém (Caso Cemitério do Bengui). 1997. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso. DGF/CG/UFGA, Belém, 1997.

CARVALHO JUNIOR, M. A. F.; SILVA, L. M. C. Métodos Geofísicos aplicados ao Estudo do Fluxo da Água Subterrânea sob Cemitério. In: WORKSHOP DE GEOFÍSICA APLICADA AO MEIO AMBIENTE, 1, Belém, 1996. Resumos Expandidos Belém: SBGf, 1996, p. 47-49.

CARVALHO JUNIOR, M. A. F.; SILVA, L. M. C. SP e Eletrorresistividade aplicados ao Estudo Hidrogeológico de um Cemitério. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 5. V. 1. São Paulo. Anais, 1997. p. 471-474.

CHALHOUB, S. **Cidade Febril**: Cortiços Epidemias na Corte Imperial. São Paulo, Companhia das Letras, 1996. 250 p.

CODEM. Levantamento Aerofotogramétrico da Área urbana e de expansão de Belém. Prefeitura Municipal de Belém/Pará. 1999. CD-ROM.

CODEM. Ortofotos do Município de Belém – Áreas urbana e de expansão urbana. Prefeitura Municipal de Belém/Pará. 1996. CD-ROM.

CONAMA. Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003. Licenciamento Ambiental de Cemitérios, CONAMA. 2003, 6 p.

CONAMA. Resolução nº 368, de 28 de março de 2006. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Edição nº 61 de 29/03/2006. 2 p.

COSTA, W. D.; MENEGASSE, L. N.; FRANCO, R. D. Contaminação da água subterrânea relacionada com os cemitérios da Paz e da Saudade no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis, 2002. 14 p.

DAMASCENO, F. F. Levantamento Geofísico do Cemitério do Tapanã. 2001. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso. DGF/CG/UFGA, Belém, 2001.

DAMASCENO, F. G.; SILVA, L. M. C.; BRAZ, V. N.; FONSECA, F. C. G. da; OLIVEIRA, W. Termo de Referência para Implantação de Cemitérios. Esforço Conjunto SECTAM/UFPA/SEICOM. Belém. 1º Workshop de Geofísica aplicada ao Meio Ambiente. Belém, Sociedade Brasileira de Geofísica. Resumos Expandidos, 1996. p. 77-80.

DANIELS, D. J. **Ground Penetrating Radar**, 2nd ed. London, U.K.: The Institution of Electrical Engineers, IEE Radar, Sonar and Navigation Series 15, 2004.

DAVENPORT, G.C.; LINDEMANN, J. W.; GRIFFIN, T. I; BOROWSKI, J. E. Crime scene investigation techniques. *Leading Edge* 7_8. 1988. pp. 64–66.

DAVENPORT, G. C.; FRANCE, D. L.; GRIFFIN, T. J.; SWANBURG, J. G.; LINDEMANN, J. W.; TRANUNELL, V.; ARMBRUST, C. T.; KONDRATEIFF, B.; NELSON, A.; CASTELLANO, K.; HOPKINS, D. "A Multidisciplinary Approach to the Detection of Clandestine Graves," *Journal of Forensic Sciences*, JFSCA. VOL. 37, Nº. 6, November 1992, pp. 1445-1458.

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.

DI PIETRO, M. S. Z. *Direito administrativo*. 11. ed. São Paulo/SP: Atlas, 1999. 674 p.

DIAS FILHO, N.; LOPES, A. O. Deslizamentos e desabamentos – A visão da Criminalística. *Revista de Perícia Federal*, Ano VI, nº23, Janeiro a Abril de 2006, p. 15-17.

ECKERT, William G. *Introduction to forensic sciences*, second edition/ William G. Eckert Originally published: New York: Elsevier, 1992.

ESPÍNDULA, J. C. Caracterização bacteriológica e físico-química das águas do aquífero freático do cemitério da várzea – Recife. 2004. 91 p. Dissertação de Mestrado. UFPE. Recife, 2004.

FONSECA, D. R. M. Contaminação das águas periféricas a cemitérios de Belém. 1994. 25 p. Trabalho de Conclusão de Curso, DHS/CT/UFPA, Belém, 1994.

FORGANES, Rosely. Os mortos que nunca descansam. In: *Caminhos da Terra: Azul*, Março de 1998, Ano 07 - nº3. Edição 71, p. 66-71.

FREELAND, R. S.; MILLER, M. L.; YODER, R. E.; KOPPENJAN, S. K. Forensic applications of FM-CW and pulse radar. *Journal Environmental Engineer Geophysics*, nº 8, p. 97–103, 2003.

GEONICS. Geonics Limited, Leaders Eletromagnetics. *EM34-3/EM34-3XL*. Disponível em: <<http://www.geonics.com/html/em34-3.html>>, acessado em 03/04/2008.

GRANT, F. S.; WEST, G. F. **Interpretation theory in Applied Geophysics**. New York: Mc Graw-Hill Book, 1965. 584 p.

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

GUTIÉRREZ. Jorge Martín. VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía. Analisis del Subsuelo Utilizando técnicas Geofísicas. Sistema Georadar/RAMAC/GPR, 2004. 17 p.

HAMMON III, W. S.; MCMECHAN, G. A.; ZENG, X. Forensic GPR: Finite-Difference Simulations of Responses from Buried Human Remains. *Journal of Applied Geophysics*, nº 45: p. 171-186, 2000.

HUISMAN, J. A.; HUBBARD, S. S.; REDMAN, J. D.; ANNAN, A. P. Measuring Soil Water Content with Ground Penetrating Radar: A Review. *Vadose Zone Journal*. 2, 2003. p. 476-491.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados diários de precipitação pluviométrica em Belém, estação convencional do INMET. Belém, 2007. Obtido em www.inmet.gov.br.

KELLER, V. G.; FRISCHKNECHT, F. C. **Electrical methods in geophysical prospecting**. Oxford, Pergamon Press. 1966. 517 p.

MACHADO, V. M.. Avaliação do Potencial de Contaminação de Cemitérios da Região da Baía de Guanabara [Rio de Janeiro] 2006, 212 p. Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

MARCELINO, T. H.; SHIRAIWA, S.; BORGES, W. R.; FILHO, N. P.; RAITER, F. GPR para a verificação do nível d'água subterrânea em transição Floresta Amazônica e Cerrado. *Acta Amazônica*. Vol. 35(3), p. 367-374, 2005.

MARINHO, A. M. C. P. Contaminação de Aquíferos por Instalação de Cemitérios. Estudo de Caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza – Ceará. 1998. 88 p. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

MARTINS, M. T.; PELLIZARI, V. H.; PACHECO, A.; MYAKI, D. M.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N. R. S.; MENDES, J. M. B.; HASSUDA, S. Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. *Revista de Saúde pública*, S. Paulo, Vol. 25, p. 47-52, 1991.

MATOS, B. A. Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha município de São Paulo. 2001. 113 p. Dissertação (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 2001.

MATOS, B. A.; BASTIANON, D.; BATELLO, E.; PACHECO, A.; PELLIZARI, V.; MENDES, J. M. B. Contaminação do Aquífero Livre em Cemitérios: Estudo de Caso. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo, 1998. 9 p.

McNEILL, J. D. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical Note TN – 6. 1980. p. 6–15.

MELLET, J. S.; GEISMAR, J. GPR survey of an Afro-American cemetery in Little Falls. NJ, Poster paper, 3ª Intern. Conf. on Ground Penetrating Radar, Lakewood, Co. 1990, May 14-18, USGS OF Report 90-414, p. 49.

MENDES, J. M. B.; PACHECO, A.; HASSUDA, S. Cemitérios e Meio Ambiente – A geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas subterrâneas. Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, 2. Florianópolis. Anais v. 1, 1989. p. 50-57.

MIGLIORINI, R. B. Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo. 1994. 74 p. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MILSOM, J. Field geophysics. John Milsom.– 3rd ed. Publicação: Chichester: John Wiley. 2003. 174p.

MIOTTO, S. L. Aspectos geológico-geotécnicos da determinação da adequabilidade de áreas para a implantação de cemitérios. Rio Claro-SP. 1990. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1990.

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

O LIBERAL – 1992 – Água em excesso no São José. Belém, O Liberal. Cidades (01/11/1992), p. 5.

O LIBERAL – 2006a - Crianças do Bengui brincam no cemitério. Belém, O Liberal. Cidades (07/03/2006), p. 5.

O LIBERAL - 2006b - Famílias querem retirar seus mortos. Belém, O Liberal. Cidades (03/11/2006), p. 5.

O LIBERAL - 2007 - Cemitérios vão atrair trinta mil. Belém, O Liberal. Cidades (10/08/2007), p. 4.

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

ORELLANA, E. **Prospeccion Geoelectrica por Campos variables**. Madri, Paraninfo.1974. 561 p.

PACHECO, A. Os Cemitérios como Risco Potencial para as Águas de Abastecimento. *Revista do Sistema de Planejamento e da Administração Metropolitana*, Ano 4, n. 17, p. 25-37, 1986.

PACHECO, A.; BATELLO, E. A influência de fatores ambientais nos fenômenos transformativos em cemitérios. *Revista Engenharia e Arquitetura*, v. 2, n. 1, p. 32-39, 2000.

PAIXÃO, M. S. G. Análise da Acurácia das Estimativas de Posicionamento do Nível Freático e dos Teores de Umidade do Solo com o Emprego dos Métodos de Sísmica de Refração Rasa e Georadar a partir de um Estudo no Campus da USP, São Paulo/SP. 2005. 117 p. *Dissertação de Mestrado* (Departamento de Geofísica), IAG/USP, São Paulo, 2005.

PARASNIS, D. S.1989. In memoriam - Sture Werner (1908 – 1989). *Geoexploration*, 26 (3): 73.

PAX-VÓBIS 2. Minimizando Impactos Sócio – Econômico – Urbanístico - Ambientais de Necrópoles. Programa de Extensão DGF/CG /UFPA, 2006. 17 p.

PERSONS, S. 1990. Burial detection using ground penetrating radar. 3rd Intern. Cant. On Ground Penetrating Radar. Lakewood, Co., May 14-18. USGS OF Report 90-414 pg. 61.

PIPPET, T.; TOFT, M. Alpha Geoscience, Technical Note n° 9, Junho de 2005, p. 1-5.

PIRES, A. C. B. Pesquisando em subsuperfície. *Revista de Perícia Federal*, Ano III, n° 10, Setembro de 2001, p. 24-29.

POPOVIC. Z.; POPOVIC. B. D. **Introductory Electromagnetics**. Prentice Hall – New Jersey. 1999. 556 p.

PORSANI, J. L.; BORGES, W. R.; ELIS, V. R.; DIOGO, L. A.; HODO, 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.

POWELL, K. Detecting Buried Human Remains Using Near- Surface Geophysical Instruments', *Exploration Geophysics*, vol. 35, n°. 1, pp. 88-92, 2004.

REYNOLDS, J. M. **An Introduction to applied and environmental geophysics**, John Wiley & Sons LTd., New York, 1997. 796 p.

RIJO, L. **Electrical Geophysics: 1-D Earth Direct Modeling**. [S. l.: s. n.], 2004.

ROSA, E. T. da. A relação das áreas de cemitérios públicos com o crescimento Urbano. 2003. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

RUFFELL, A.; MCKINLEY, J. Forensic geoscience: applications of geology, geomorphology and geophysics to criminal investigations. *Archaeological. Earth-Science Reviews* Volume 69, Issues 3-4, pp. 235-247, 2005.

SÁ, M. M. F. Estudo da profundidade do lençol freático em áreas com diferentes usos do solo utilizando georadar. 2007. 30 p. Monografia – Instituto Florestal - UFRRJ. Seropédica, Rio de Janeiro, 2007.

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. 2006. 209 p.

SANTANA. J. E. Termo de Referência Valor estimado na Licitação Editora Negócios Públicos do Brasil Ltda. Curitiba. 2008. Fonte: IBAMA <http://www.portalbiologia.com.br/biologia/principal/conteudo.asp?id=4639>. Acesso 22 de junho de 2008.

SCHULTZ, J. J. Using Ground-Penetrating Radar to Locate Clandestine Graves of Homicide Victims *Homicide Studies*. Sage Publications, Vol. 11, Nº 1, p. 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, pp. 607-616, Maio de 2006.

SILVA, L. M. “Contaminação do lençol freático pelos cemitérios”. *Revista Integração*, Ano IV, n.º 13, pp. 103–110, Maio de 1998.

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. CD-ROM.

SILVA, L. M. C.; SOUZA, D. M. Condutividade LIN em áreas de inumações de diferentes do Cemitério do Tapanã, Belém/PA, III Simpósio Brasileiro de Geofísica. Belém, 2008. CD-ROM.

SILVA, R. W. C.; MALAGUTTI FILHO, W.; MOREIRA, C. A.; COSTA, A. F. da. Aplicação do método da resistividade elétrica em estudos de contaminação em cemitério - caso de Vila Rezende Piracicaba/SP. In: 10th International Congresso of the Brazilian Geophysical Society, 2007, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2007.

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.

TRAVASSOS, J. M. Geofísica Aplicada. O Método GPR (II). Observatório Nacional. Rio de Janeiro. 2006. 39 p.

UNTERBERGER, R. R. Ground penetrating radar finds disturbed earth over burials. Proceedings, 4th International Conference on Ground Penetrating Radar, Geol. Surv. Finland., 1992. pp. 351-357.

VALLADARES, Clarival do Prado. **Arte e Sociedade nos Cemitérios Brasileiros**. Brasília: MEC-RJ, 1972.

VAN DAM, R. L. Causes of ground-penetrating radar reflections in sediment. Ph.D. Thesis, Vrije Universiteit Amsterdam. 2001. 110 p.

VANRELL, J. P. Mecanismo da Morte. Disponível em: <<http://www.pericias-forenses.com.br/mecamorte.htm>>. Acesso: 19 de maio de 2008.

WARD, S. H.; HOHMANN, G. W., 1987. Electromagnetic theory for geophysical applications: Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, ed. Misac N. Nabighian, Vol.1, p.131-311. (**Investigations in Geophysics, n. 3**).

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. The impact of cemeteries on the environment and public health. An introductory briefing. Copenhagen, Denmark, WHO Regional Office for Europe. 11 p. (Rept. EUR/ICP/EHNA 01 04 01 (A)), 1998.

YILMAZ, Ö. **Seismic Data Processing**, Investigation in Geophysics, vol. 2. Tulsa: Soc. Expl. Geophys. 1987. 526 p.

ANEXOS

ANEXO 1 - TERMO DE REFERÊNCIA DE PROJETOS PARA IMPLANTAÇÃO DE CEMITÉRIOS HORIZONTAIS

1 INTRODUÇÃO

A construção de cemitérios horizontais deve ser precedida de estudo criterioso das áreas disponíveis para sua implantação e operação considerando, principalmente, aspectos relacionados com o meio ambiente e a saúde pública.

Para ilustrar, citamos que estudos diversos, como aqueles realizados pelo Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, como pelos Centros Tecnológico e de Geociências da Universidade Federal do Pará têm demonstrado que a instalação de cemitérios em áreas não viáveis, quer do ponto de vista geológico, quer hidrogeológico, pode resultar em contaminação do lençol freático por agentes patogênicos oriundos da decomposição de corpos de pessoas mortas por doenças infectocontagiosas. Em tais circunstâncias, a água contaminada pode chegar ao consumidor através de poços situados às proximidades de cemitérios, desencadeando surtos de doenças epidêmicas como a poliomelite, a hepatite e a febre tifóide, dentre outras, o que vem demonstrar a necessidade de estabelecimento de uma política ambiental adequada, obviamente com respaldo em legislação específica, a fim de padronizar procedimentos, sempre que houver necessidade de instalar novos cemitérios, tornando possível, ao mesmo tempo, proteger os recursos hídricos subterrâneos e superficiais e facilitar o desenvolvimento correto dos projetos.

Para que se possa implementar a Política Ambiental do Estado, à luz da legislação vigente, foi estabelecido este Termo de Referência que fixa as condições exigíveis e necessárias à apresentação de projetos de construção de cemitérios à Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente - SECTAM, para a solicitação de Licenciamento Ambiental, de acordo com a Lei Estadual nº 5.887 de 09.05.95, em seus artigos 93 e 94.

A construção de cemitérios verticais deve ser precedida de estudos específicos e avaliada segundo termo de referência distinto.

2 OBJETIVO

Este Termo de Referência fixa os requisitos mínimos para a implantação, operação e monitoramento de cemitérios horizontais, no que tange à proteção e preservação da salubridade do ambiente às populações circunvizinhas, em particular das águas subterrâneas (lençol freático) e superficiais.

3 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Na aplicação deste Termo de Referência, para maiores esclarecimentos, *poderão ser consultados*:

3.1 Legislação Federal

3.1.1 Lei nº 4.771 de 15.09.65, que institui o Código Florestal.

3.1.2 Lei nº 6.766 de 19.12.79, que dispõe sobre parcelamento do solo urbano.

3.1.3 Lei nº 7.803 de 18.07.89, que modifica a Lei Federal nº 4.771 (Código Florestal).

3.1.4 Normas Técnicas da A.B.N.T.

3.1.5 Resoluções do CONAMA.

3.1.6 Portaria do Ministério da Saúde nº 36/90.

3.2 Legislação Estadual

3.2.1 Lei nº 5.887 de 09.05.95, que dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente.

3.2.2 Lei nº 5.796 de 04.01.94, que dispõe sobre a Política Minerária Hídrica.

3.3 Legislação do Município onde vier a se localizar o empreendimento.

4 DEFINIÇÕES

4.1 Necro-Chorume

É um neologismo que designa o líquido resultante da decomposição de cadáveres. Trata-se de uma solução aquosa, rica em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, cor castanho-acinzentada, mais viscosa que a água, polimerizável, odor forte e pronunciado, com grau elevado de toxidade e patogenicidade.

4.2 Aqüífero Freático

Designa o primeiro nível de acumulação de água no subsolo, geralmente à profundidade inferior a 10 m.

4.3 Permeabilidade

Capacidade do terreno de permitir a migração de fluidos. É expressa como condutividade hidráulica (m/dia ou cm/s) e permite o cálculo do tempo de percurso da água subterrânea (tempo de trânsito).

5 CONDIÇÕES GERAIS PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO

5.1 Estudos de Reconhecimento (para a fase de Licença Prévia)

Tem por objetivo a caracterização geológica geral, com destaque para a descrição geomorfológica e hidrogeológica da área-objeto e do seu entorno imediato, num raio de cerca de 5 km. Deve ser baseada nas cartas de maior escala disponível ou análise fotogeológica, incluindo mapa geológico (escala 1:10.000 ou maior) e secções geológicas, de preferência perpendiculares entre si e transversais, a serem elaboradas ou extraídas da literatura referente ao local em apreço.

Deve permitir compreender se a área é de natureza sedimentar ou cristalina, e a complexidade da mesma. (ex: trata-se de um terreno acamado simples ou com interdigitações de fácies e, no caso de terreno cristalino, apresenta-se o mesmo relativamente fraturado ?).

5.2 Estudos Locais (para a fase de licença de instalação)

Envolvem estudos geológicos, geofísicos e hidrogeológicos da área-objeto e seu entorno, num raio de cerca de 500 m. Devem incluir a descrição geomorfológica realizada na etapa 5.1, além de levantamento topográfico planialtimétrico da área-objeto, em escala mínima de 1:500, sendo recomendável, para áreas inferiores a 7 ha, que a escala seja 1:300.

Deverão ser realizadas sondagens e/ou caminhamentos geofísicos, por exemplo com o método da Eletrorresistividade, arranjo Schlumberger, ou qualquer outro método geofísico que permita conhecer a geometria do subsolo (camadas geofísicas existentes e profundidade do nível do aquífero livre e se possível do aquífero confinado) e o sentido do fluxo da água subterrânea entre as posições pontuais das sondagens mecânicas.

Deverão ser executadas sondagens mecânicas, de preferência perpendiculares entre si e paralelas aos eixos geológicos, que deverão atingir o nível freático (aprofundando-se na zona saturada pelo menos 3 m) ou o embasamento e ser niveladas topograficamente. Caso nem um nem outro sejam atingidos, a profundidade mínima das sondagens será de 10 m ou a profundidade “nega”. Descrição litológica, ensaios de permeabilidade e amostras de águas coletadas para análise físico-química e microbiológica, deverão ser realizados “*in situ*”.

No estudo hidrogeológico as informações obtidas com os estudos anteriores deverão ser integradas, permitindo a construção de carta (mapa de contorno, bloco-diagrama, por exemplo) com o sentido do fluxo e a geometria das águas superficiais e subterrâneas, de modo a orientar a construção do sistema de drenagem, se necessário, além de outras obras que, por ventura, necessitem ser realizadas.

O número mínimo de sondagens deve estar de acordo com o quadro abaixo:

| ÁREA DO CEMITÉRIO Ha (1 ha = 10.000 m²) | NÚMERO MÍNIMO DE PERFURAÇÕES NECESSÁRIAS |
|---|---|
| até 1,5 | 3 |
| 1,5 - 2,5 | 6 |
| 2,5 - 3,5 | 9 |
| 3,5 - 4,5 | 12 |

CETESB (1993)

Obs: Acima de 4 ha deve-se proceder a mais um furo a cada hectare.

O número de sondagens depende do nível de complexidade do quadro hidrogeológico da área que, apenas em parte, pode ser previsto com o auxílio de informações geológicas e geofísicas, antes das sondagens do terreno. O projetista pode se guiar pela tabela da CETESB, mas o quadro hidrogeológico encontrado pode acarretar um menor ou, menos provavelmente, maior número de sondagens mecânicas. As três primeiras sondagens podem ser realizadas com sondas percussivas ou rotativas nas posições indicadas pela geofísica (investigação lateral e/ou em profundidade), visando a parametrização dos resultados geofísicos e, especialmente, o aproveitamento dos furos para o monitoramento (6.1.2.a), e as demais sondagens, com trado, devido ao baixo custo dos furos assim realizados.

6 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

a) Áreas com substrato rochoso extremamente vulnerável, tais como zonas de falhamentos, zonas catacladas, rochas calcárias ou calcossilicáticas intemperizadas ou com erosão subsuperficial (canais de dissolução, dolinas, cavernas, etc.) ou ainda, áreas com dificuldade quanto à escavabilidade, deverão ser aprioristicamente descartadas ou consideradas com restrições (viabilidade técnico-econômica em função dos condicionamentos exigidos, relação custo-benefício, etc.).

b) Os cemitérios deverão ser implantados onde as condições de fluxo do lençol freático não alterem as condições de potabilidade pré-existentes.

c) A zona de inumação deverá situar-se a uma distância mínima de 50 a 150 m (6 semanas de trânsito) dos cursos d'água, lagos, lagoas, represas e barragens, bem como de poços de captação.

d) Internamente, o cemitério deverá ser contornado por uma faixa de largura mínima de 5,0 m destinada à implantação de cortinas constituídas por árvores e arbustos, preferencialmente de essências nativas. A arborização deverá perfazer 20% da área total do cemitério. No interior do cemitério, na chamada zona de enterramento

ou sepultamento, não é aconselhável o plantio de espécies com raízes pivotantes ou freatófitas, a fim de evitar a destruição do piso e jazigos ou danos às redes de água, esgoto e drenagem. Recomenda-se a não utilização de vasos ou outros tipos de ornamentos que possam reter água de forma a evitar a proliferação de insetos vetores de doenças.

e) O perímetro e o interior do cemitério serão providos de um sistema de drenagem adequado e eficiente, destinado a captar, encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais, evitando sua ação erosiva e contaminações de corpos d'água.

f) A permeabilidade no fundo da sepultura até o lençol freático deve estar compreendido entre 10^{-5} e 10^{-3} cm/s e o nível inferior das sepulturas deverá estar, no mínimo a 2,0 m acima do topo do lençol freático, atingido na estação chuvosa. A determinação desta distância fica condicionada ao resultado dos estudos geológicos e hidrogeológicos.

g) Caso as condições naturais do terreno não permitam que as distâncias previstas no item anterior sejam obedecidas, o nível do solo deverá ser elevado artificialmente, através do aterramento, tomando-se os devidos cuidados contra a sua erosão e compactação.

6.1 Monitoramento das Águas

6.1.1 Padrões de proteção das águas subterrâneas

O cemitério deve ser construído e operado de forma a manter a qualidade das águas subterrâneas e superficiais, para tanto, exige-se monitoramento.

6.1.2 Localização dos poços de monitoramento

a) o sistema de poços de monitoramento deve ser instalado, em especial, com base nos dados hidrogeológicos e ser constituído de, no mínimo três poços em triângulo, sendo um à montante, de modo a representar a qualidade da água existente no aquífero mais raso na área do cemitério, e dois à jusante, no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático;

b) os poços devem ter diâmetro mínimo de 50 mm (2") para coleta de amostras, ser revestidos, ter filtros que penetrem de 2 a 3 m na zona saturada, e ser tampados na parte superior para evitar sua contaminação.

6.1.3 Período de monitoramento

A instalação deve ser monitorada durante a vida útil do cemitério e após seu fechamento, durante 10 anos.

Nota: Caso a qualidade das água subterrâneas e superficiais seja prejudicada, o titular do cemitério ficará obrigado a tomar medidas corretivas e o empreendimento, se ativo, poderá ser interditado.

6.1.4 Programa de monitoramento

O programa de Monitoramento do cemitério deve:

a) apresentar os resultados de análises mensais dos parâmetros: condutividade elétrica, pH e temperatura em cada poço de monitoramento. Mesmo não havendo significativa alteração desses parâmetros, uma análise mais criteriosa deverá ser apresentada semestralmente (em períodos de maior e menor pluviosidade), constando dos seguintes parâmetros: cor, turbidez, nitrogênio amoniacal, nitrato, cloreto, coliformes totais e fecais, estreptococos e bactérias heterotróficas.

Caso haja alteração significativa dos valores mensais, deverá ser imediatamente providenciado a análise dos parâmetros acima citados, e qualquer outro que se fizer necessário à pedido da SECTAM.

b) estabelecer valores iniciais para todos os parâmetros do item a), o que pode ser realizado a partir de amostras de poços situados à montante e jusante da instalação, antes do funcionamento do cemitério, sendo que, por uma questão de representatividade estatística, os valores iniciais devem ser estabelecidos a partir de amostragens realizadas, de preferência em intervalos de seis meses, no período de menor e maior pluviosidade.

c) registrar o nível do lençol freático a cada coleta realizada.

Obs: se houver indícios de alteração dos valores iniciais, o responsável deverá:

- notificar a SECTAM dentro de até 07 dias após a detecção da alteração.

6.2 Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem de águas superficiais deve:

a) suportar uma precipitação com tempo de recorrência de 25 anos;

b) ser inspecionado regularmente e obrigatoriamente após as tempestades, com a finalidade de manter, desassorear e esgotar as caixas de contenção e de dissipação de energia a fim de assegurar a operação do sistema.

7 PLANO DE ENCERRAMENTO

7.1 Objetivos do Plano de Encerramento

Por ocasião do encerramento da operação do cemitério, devem ser mantidas as medidas para minimizar ou evitar a liberação de líquido percolado contaminado e/ou

gases para o lençol de água subterrânea, para os corpos d'água superficiais ou para a atmosfera.

7.2 Plano de Encerramento

Deverão ser informadas as etapas a serem seguidas no fechamento total ou parcial do cemitério.

7.3 Atividade após encerramento do cemitério

7.3.1 Monitoramento das águas subterrâneas por um período de 10 anos após o fechamento da instalação.

Nota: Este período pode ser reduzido uma vez constatado o término da geração de líquido.

8 ROTEIRO MÍNIMO NECESSÁRIO PARA LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE CEMITÉRIOS HORIZONTAIS

8.1 Consulta Prévia

Antes de definir e/ou adquirir a área, o empreendedor deverá solicitar posicionamento prévio desta SECTAM, mediante requerimento de consulta prévia a respeito da localização do cemitério proposto, onde deverá constar a seguinte documentação:

- a) requerimento modelo SECTAM;
- b) posicionamento da Prefeitura local quanto à não infringência de posturas municipais;
- c) mapa de detalhamento, em escala 1:5.000 da área proposta e de seu entorno imediato, num raio mínimo de 5 km.

8.2 Licenciamento Prévio - L.P.

- a) requerimento de Licença (modelo SECTAM);
- b) Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) dos responsáveis pelo projeto;
- c) apresentação do projeto, contendo as informações do item 5.1 (em duas vias);
- d) levantamento cadastral de residências e poços de abastecimento de água.

8.3 Licença de Instalação - L.I.

- a) requerimento de Licença de Instalação (modelo SECTAM);
- b) apresentação do projeto, contendo as informações descritas no item 5.2 e item 6 desse roteiro (em duas vias);
- c) Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) dos consultores responsáveis;
- d) memorial descritivo;
- e) lay-out do cemitério;
- f) plotagem dos poços de monitoramento.

8.4 Licença de Operação - L.O.

- a) requerimento de Licença de Operação (modelo SECTAM);
- b) resultado(s) de Monitoramento já realizado, conforme item 6.1.4 deste roteiro.

9. INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Poderão ser solicitadas informações complementares, a critério do analista, no caso das mesmas serem insuficientes para a perfeita compreensão do projeto ou as exigências estabelecidas neste roteiro encontrem barreiras ao seu cumprimento.

ANEXO 2 - NORMA TÉCNICA L1.040 (CETESB, 1999)

| | | |
|---|----------------------------------|--------------------------------|
|  | IMPLANTAÇÃO DE CEMITÉRIOS | L1.040 jan/99 |
|---|----------------------------------|--------------------------------|

Introdução

Dentro de uma política ambiental que objetiva preservar o solo e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, ressalta-se a necessidade de normas técnicas para a implantação de empreendimentos com potencial poluidor.

Neste contexto, os cemitérios envolvem uma problemática intrinsecamente vinculada à saúde pública e à qualidade ambiental, dado o comprometimento potencial a que estão sujeitos os solos e as águas.

A CETESB, no cumprimento de suas atribuições como órgão responsável pelo controle ambiental no Estado de São Paulo, por conseguinte, houve por bem elaborar a presente Norma Técnica para a implantação de cemitérios.

1 - Objetivo

Esta Norma estabelece os requisitos e as condições técnicas para a implantação de cemitérios destinados ao sepultamento no subsolo, no que tange à proteção e à preservação do ambiente, em particular do solo e das águas subterrâneas.

2 - Documentos Complementares

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

- Ministério da Saúde - Portaria nº 36, de 18.01.1990.
- Resolução nº 5 de 05.08.1993 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.
- Norma ABNT NBR 8.036 – Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundação de edifícios – Procedimento
- Norma ABNT NBR 13.895 - Construção de poços de monitoramento e amostragem – Procedimento
- Norma CETESB E15.011 - Sistema de incineração de resíduos de serviços de saúde, portos e aeroportos - Especificação.

- Boletim 04 da ABGE – Ensaios de permeabilidade em solos – Orientações para sua execução no campo (Junho/1996).

3 - Definições

3.1 Essências nativas

São espécies vegetais, arbustivas ou arbóreas, naturais de uma dada região geográfica.

3.2 Necro-chorume

É um neologismo, também conhecido como putrilagem, que designa o líquido resultante da decomposição de cadáveres. Trata-se de uma solução aquosa rica em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, de cor castanho-acinzentada, mais viscosa que a água, polimerizável, de odor forte e pronunciado, com grau variado de toxicidade e patogenicidade.

4 – Caracterização da Área

4.1 - Caracterização geográfica

A área destinada ao cemitério deverá ser localizada geograficamente por meio de demarcação em carta planialtimétrica regional (Cartas FIGBE em escala 1:50.000; Cartas IGC em escalas 1:50.000, 1:25.000 ou 1:10.000; ou outra carta similar).

Esta área deverá, ainda, ser demarcada em levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral cuja escala mínima, para áreas superiores a 7 hectares (70.000 m²), será de 1:1.000, com curvas de nível de metro em metro. Para áreas iguais ou inferiores a 7 hectares, a escala mínima será de 1:500, com curvas de nível de metro em metro. Neste levantamento deverão estar representados os atributos encontrados num entorno de 30 m, tais como ruas e equipamentos urbanos.

4.2 - Caracterização geológica

A informação básica que deverá constar da caracterização do terreno é o mapeamento geológico básico, ou seja, a descrição das litologias do substrato, com indicação das formações onde se inserem, dados estes obtidos por meio de sondagens mecânicas de reconhecimento adequadamente localizadas. Estas sondagens deverão ser realizadas de acordo com a Norma ABNT NBR 8.036 – Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundação de edifícios – Procedimento e seccionar o maciço geológico até atingir o lençol freático (aprofundando-se na zona saturada pelo menos 3 m), ou até uma profundidade de 10 m ou impenetrável a percussão.

Nessas sondagens serão conduzidos ensaios de permeabilidade e/ou infiltração, conforme Boletim 04 da ABGE – Ensaios de permeabilidade em solos – Orientações para sua execução no campo.

Nos casos de ocorrência ou risco de viabilização no terreno, de erosões, escorregamentos, subsidências ou movimentação de solo, é necessário, também, uma carta geotécnica onde estes processos estejam representados.

4.3. Caracterização hidrogeológica

As informações básicas que devem ser apresentadas são: indicação das profundidades dos níveis do aquífero freático, medidos no fim da estação de cheias, em mapa potenciométrico com indicação do sentido de fluxo das águas subterrâneas e indicação dos atributos existentes num entorno de 30 m, como fontes, surgências, córregos, drenos, poços ou cacimbas de abastecimento de água.

Nos casos em que for comprovado que o nível mais alto do lençol freático (medido no fim da estação de cheias) está a mais de 10 m de profundidade, não será necessária a apresentação do mapa potenciométrico.

No caso de utilização de método geofísico, este deverá ser devidamente especificado.

5 - Condições Gerais

a) A área-objeto deverá situar-se a uma distância mínima de cursos d'água (rios, riachos, córregos), bem como de corpos naturais ou artificiais (lagos, lagoas e reservatórios), de acordo com a legislação vigente.

b) Os cemitérios deverão ser implantados onde as condições de fluxo do lençol freático não ensejem a deterioração das condições de potabilidade (Portaria 36/90 do Ministério da Saúde) pré-existentes de captações de água subterrânea.

c) Internamente, o cemitério deverá ser contornado por uma faixa com largura mínima de 5 m, destituída de qualquer tipo de pavimentação ou recobertura de alvenaria, destinada à implantação de uma cortina constituída por árvores e arbustos adequados, preferencialmente de essências nativas. Parte dessa faixa poderá ter 20% em sua extensão linear destinada a edifícios, sistema viário ou logradouro de uso público, desde que não contrariem a legislação vigente. Caso a faixa interna exceda este valor mínimo, em situações específicas, poderá ser permitida a construção de ossários regulamentares, sistema viário ou outras construções.

d) Deverão ser mantidas as faixas de isolamento previstas na legislação vigente, onde não serão efetuados nenhum sepultamento.

e) No interior do cemitério, na chamada zona de enterramento ou sepultamento, é aconselhável o plantio de espécies com raízes pivotantes, a fim de evitar invasões de jazigos, destruição do piso e túmulos ou danos às redes de água, de esgoto e drenagem.

f) O perímetro e o interior do cemitério deverão ser providos de um sistema de drenagem adequado e eficiente, além de outros dispositivos (terraceamentos, taludamentos, etc.) destinados a captar, encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra.

g) O subsolo deverá ser constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10^{-3} e 10^{-7} cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático (medido no fim da estação de cheias); ou até 10 m de profundidade, nos casos em que o lençol freático não for encontrado até este nível. Coeficientes de permeabilidade diferentes só devem ser aceitos, condicionados a estudos geológicos e hidrogeológicos, fundamentados em conjunto com a tecnologia de sepultamento empregada, os quais demonstrem existir uma condição equivalente de segurança, pela profundidade do lençol freático e pelo uso e importância das águas subterrâneas no local, bem como pelas condições de projeto.

h) O nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos 1,5 m acima do mais alto nível do lençol freático (medido no fim da estação de cheias). Distâncias inferiores poderão vir a ser consideradas aceitáveis, condicionadas a estudos geológicos e hidrogeológicos fundamentados em conjunto com a tecnologia de sepultamento empregada, os quais demonstrem existir uma condição equivalente de segurança, por ser o subsolo extremamente favorável à atenuação dos poluentes, em função de sua granulometria, permeabilidade, umidade e condição de aeração, bem como pelas condições de projeto.

i) Caso as condições naturais do terreno não permitam que as distâncias previstas no item anterior sejam obedecidas, o lençol freático deverá ser rebaixado artificialmente através da instalação de um sistema de drenagem subterrânea, convenientemente locado e implantado, tomando-se os devidos cuidados para que sua eficiência não seja comprometida ao longo do tempo.

j) Resíduos sólidos relacionados à exumação dos corpos, tais como urnas e material descartável (luvas, sacos plásticos, etc.) deverão ter, preferencialmente, o mesmo tratamento dado aos resíduos sólidos gerados pelos serviços de saúde, de acordo com a legislação vigente (Resolução CONAMA nº 5, de 1993 e, no caso de incineração local, Norma CETESB E15.011). Se os resíduos sólidos forem enterrados no próprio cemitério, deverá ser usada unicamente a zona de sepultamento com recobrimento mínimo de 0,5 m de solo. Fica vetado o uso da faixa especificada no item 5.c, para tal finalidade.

6. Condições específicas

a) A implantação e a operação de cemitérios em Áreas de Proteção Ambiental (APAs) ou Áreas de Proteção de Mananciais (APMs) fica condicionada às exigências adicionais e/ou complementares às estabelecidas nesta Norma, em consonância com a legislação ambiental vigente e as especificações da Secretaria do Meio Ambiente e do CONAMA.

b) Áreas com substrato rochoso extremamente vulnerável, tais como zonas de falhamentos, zonas catacladas, rochas calcárias ou calcossilicatadas intemperizadas ou com erosão subsuperficial (canais de dissolução, dolinas, cavernas, etc.) deverão ser previamente descartadas ou consideradas com restrições.

c) Caso os estudos geológicos e hidrogeológicos efetuados em âmbito local demonstrem que o aquífero freático é potencialmente vulnerável a contaminações, o cemitério deverá ser provido de um sistema de poços de monitoramento, instalados em conformidade com a norma vigente (ABNT NBR13.895 Construção de Poços de monitoramento de Amostragem). Desde que possível, é recomendável a instalação de alguns poços de monitoramento no entorno da área-objeto, estrategicamente localizados a montante e a jusante da área de sepultamento, com relação ao sentido de escoamento freático. Neste caso, os poços deverão ser amostrados e as águas subterrâneas analisadas, antes do início de operação do cemitério, para o estabelecimento da qualidade “em branco” do aquífero freático, de acordo com os padrões de potabilidade da Portaria nº 36, do Ministério da Saúde (1990). A cada trimestre, os poços deverão ser amostrados, em conformidade com a norma NBR13.895 e as amostras de água analisadas para os seguintes parâmetros: condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, dureza total, pH, cor aparente, cloretos, cromo total, ferro total, fosfato total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato, coliformes totais, coliformes fecais e bactérias heterotróficas. Caso ocorram indícios de contaminação, deverão ser analisados novamente os parâmetros de potabilidade estabelecidos na portaria nº 36 do Ministério da Saúde

ANEXO 3 - RESOLUÇÃO 335 e ALTERAÇÃO 368/CONAMA

Edição Número 101 de 28/05/2003

Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente

RESOLUÇÃO 335, DE 3 DE ABRIL DE 2003

Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios e

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, Anexo à Portaria nº 499, de 18 de dezembro de 2002, e

Considerando a necessidade de regulamentação dos aspectos essenciais relativos ao processo de licenciamento ambiental de cemitérios;

Considerando o respeito às práticas e valores religiosos e culturais da população; e

Considerando que as Resoluções CONAMA nºs 001, de 23 de janeiro de 1986 e 237, de 19 de dezembro de 1997, indicam as atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental e remetem ao órgão ambiental competente a incumbência de definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento, observadas as especificidades, os riscos ambientais e outras características da atividade ou empreendimento, visando a obtenção de licença ambiental;

Considerando que o art. 12, da Resolução CONAMA nº 237, de 1997, permite a criação de critérios para agilizar e simplificar os procedimentos de licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos similares, visando a melhoria contínua e o aprimoramento da gestão ambiental, resolve:

Art. 1º Os cemitérios horizontais e os cemitérios verticais, doravante denominados cemitérios, deverão ser submetidos ao processo de licenciamento ambiental, nos termos desta Resolução, sem prejuízo de outras normas aplicáveis à espécie.

Art. 2º Para efeito desta Resolução serão adotadas as seguintes definições:

I - cemitério: área destinada a sepultamentos;

a) cemitério horizontal: é aquele localizado em área descoberta compreendendo os tradicionais e o do tipo parque ou jardim;

b) cemitério parque ou jardim: é aquele predominantemente recoberto por jardins, isento de construções tumulares, e no qual as sepulturas são identificadas por uma lápide, ao nível do chão, e de pequenas dimensões;

c) cemitério vertical: é um edifício de um ou mais pavimentos dotados de compartimentos destinados a sepultamentos; e

d) cemitérios de animais: cemitérios destinados a sepultamentos de animais.

II - sepultar ou inumar: é o ato de colocar pessoa falecida, membros amputados e restos mortais em local adequado;

III - sepultura: espaço unitário, destinado a sepultamentos;

IV - construção tumular: é uma construção erigida em uma sepultura, dotada ou não de compartimentos para sepultamento, compreendendo-se:

a) jazigo: é o compartimento destinado a sepultamento contido;

b) carneiro ou gaveta: é a unidade de cada um dos compartimentos para sepultamentos existentes em uma construção tumular; e

c) cripta: compartimento destinado a sepultamento no interior de edificações, templos ou suas dependências.

V - lóculo: é o compartimento destinado a sepultamento contido no cemitério vertical;

VI - produto da coliquação: é o líquido biodegradável oriundo do processo de decomposição dos corpos ou partes;

VII - exumar: retirar a pessoa falecida, partes ou restos mortais do local em que se acha sepultado;

VIII - reinumar: reintroduzir a pessoa falecida ou seus restos mortais, após exumação, na mesma sepultura ou em outra;

IX urna, caixão, ataúde ou esquife: é a caixa com formato adequado para conter pessoa falecida ou partes;

X - urna ossuária: é o recipiente de tamanho adequado para conter ossos ou partes de corpos exumados;

XI - urna cinerária: é o recipiente destinado a cinzas de corpos cremados;

XII - ossuário ou ossário - é o local para acomodação de ossos, contidos ou não em urna ossuária;

XIII - cinerário: é o local para acomodação de urnas cinerárias;

XIV - columbário: é o local para guardar urnas e cinzas funerárias, dispostos horizontal e verticalmente, com acesso coberto ou não, adjacente ao fundo, com um muro ou outro conjunto de jazigos;

XV - nicho: é o local para colocar urnas com cinzas funerárias ou ossos; e

XVI - traslado: ato de remover pessoa falecida ou restos mortais de um lugar para outro.

Art. 3º Na fase de Licença Prévia do licenciamento ambiental, deverão ser apresentados, dentre outros, os seguintes documentos:

I caracterização da área na qual será implantado o empreendimento, compreendendo:

a) localização tecnicamente identificada no município, com indicação de acessos, sistema viário, ocupação e benfeitorias no seu entorno;

b) levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral, compreendendo o mapeamento de restrições contidas na legislação ambiental, incluindo o mapeamento e a caracterização da cobertura vegetal;

c) estudo demonstrando o nível máximo do aquífero freático (lençol freático), ao final da estação de maior precipitação pluviométrica;

d) sondagem mecânica para caracterização do subsolo em número adequado à área e características do terreno considerado; e

II - plano de implantação e operação do empreendimento.

§ 1º É proibida a instalação de cemitérios em Áreas de Preservação Permanente ou em outras que exijam desmatamento de Mata Atlântica primária ou secundária, em estágio médio ou avançado de regeneração, em terrenos predominantemente cársticos, que apresentam cavernas, sumidouros ou rios subterrâneos, em áreas de manancial para abastecimento humano, bem como naquelas que tenham seu uso restrito pela legislação vigente, ressalvadas as exceções legais previstas.

§ 2º A critério do órgão ambiental competente, as fases de licença Prévia e de Instalação poderão ser conjuntas.

§ 3º Excetua-se do previsto no parágrafo anterior deste artigo, cemitérios horizontais que:

I- ocupem área maior que cinqüenta hectares;

II- localizem-se em Áreas de Proteção Ambiental-APA's, na faixa de proteção de Unidades de Conservação de Uso Integral, Reservas Particulares de Patrimônio Natural e Monumento Natural;

III - localizem-se em terrenos predominantemente cársticos, que apresentam cavernas, sumidouros ou rios subterrâneos; e

IV- localizem-se em áreas de manancial para abastecimento humano.

Art. 4º Na fase de Licença de Instalação do licenciamento ambiental, deverão ser apresentados, entre outros, os seguintes documentos:

I - projeto do empreendimento que deverá conter plantas, memoriais e documentos assinados por profissional habilitado; e

II - projeto executivo contemplando as medidas de mitigação e de controle ambiental.

Art. 5º Deverão ser atendidas, entre outras, as seguintes exigências para os cemitérios horizontais:

I - a área de fundo das sepulturas deve manter uma distância mínima de um metro e meio do nível máximo do aquífero freático;

II - nos terrenos onde a condição prevista no inciso anterior não puder ser atendida, os sepultamentos devem ser feitos acima do nível natural do terreno;

III - adotar-se-ão técnicas e práticas que permitam a troca gasosa, proporcionando, assim, as condições adequadas à decomposição dos corpos, exceto nos casos específicos previstos na legislação;

IV - a área de sepultamento deverá manter um recuo mínimo de cinco metros em relação ao perímetro do cemitério, recuo que deverá ser ampliado, caso necessário, em função da caracterização hidrogeológica da área;

V - documento comprobatório de averbação da Reserva Legal, prevista em Lei;e

VI - estudos de fauna e flora para empreendimentos acima de cem hectares.

Art. 6º Deverão ser atendidas as seguintes exigências para os cemitérios verticais:

I - os lóculos devem ser constituídos de:

a) materiais que impeçam a passagem de gases para os locais de circulação dos visitantes e trabalhadores;

b) acessórios ou características construtivas que impeçam o vazamento dos líquidos oriundos da coligação;

c) dispositivo que permita a troca gasosa, em todos os lóculos, proporcionando as condições adequadas para a decomposição dos corpos, exceto nos casos específicos previstos na legislação; e

d) tratamento ambientalmente adequado para os eventuais efluentes gasosos.

Art. 7º Os columbários destinados ao sepultamento de corpos deverão atender ao disposto nos arts. 4º e 5º, no que couber.

Art. 8º Os corpos sepultados poderão estar envoltos por mantas ou urnas constituídas de materiais biodegradáveis, não sendo recomendado o emprego de plásticos, tintas, vernizes, metais pesados ou qualquer material nocivo ao meio ambiente.

Parágrafo único. Fica vedado o emprego de material impermeável que impeça a troca gasosa do corpo sepultado com o meio que o envolve, exceto nos casos específicos previstos na legislação.

Art. 9º Os resíduos sólidos, não humanos, resultantes da exumação dos corpos deverão ter destinação ambiental e sanitariamente adequada.

Art. 10. O procedimento desta Resolução poderá ser simplificado, a critério do órgão ambiental competente, após aprovação dos respectivos Conselhos de Meio Ambiente, se atendidas todas as condições abaixo:

I - cemitérios localizados em municípios com população inferior a trinta mil habitantes;

II - cemitérios localizados em municípios isolados, não integrantes de área conurbada ou região metropolitana; e

III - cemitérios com capacidade máxima de quinhentos jazigos.

Art. 11. Os cemitérios existentes e licenciados, em desacordo com as exigências contidas nos arts. 4º e 5º deverão, no prazo de cento e oitenta dias, contados a partir da publicação desta Resolução, firmar com o órgão ambiental competente, termo de compromisso para adequação do empreendimento.

Parágrafo único. O cemitério que, na data de publicação desta Resolução, estiver operando sem a devida licença ambiental, deverá requerer a regularização de seu empreendimento junto ao órgão ambiental competente, no prazo de cento e oitenta dias, contados a partir da data de publicação desta Resolução.

Art. 12. No caso de encerramento das atividades, o empreendedor deve, previamente, requerer licença, juntando Plano de Encerramento da Atividade, nele incluindo medidas de recuperação da área atingida e indenização de possíveis vítimas.

Parágrafo único. Em caso de desativação da atividade, a área deverá ser utilizada, prioritariamente, para parque público ou para empreendimentos de utilidade pública ou interesse social.

Art. 13. Sempre que julgar necessário, ou quando for solicitado por entidade civil, pelo Ministério Público, ou por cinquenta cidadãos, o órgão de meio ambiente competente promoverá Reunião Técnica Informativa.

Parágrafo único. Na Reunião Técnica Informativa é obrigatório o comparecimento do empreendedor, da equipe responsável pela elaboração do Relatório Ambiental e de representantes do órgão ambiental competente.

Art. 14. O descumprimento das disposições desta Resolução, dos termos das Licenças Ambientais e de eventual Termo de Ajustamento de Conduta, sujeitará o infrator às penalidades previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e em outros dispositivos normativos pertinentes, sem prejuízo do dever de recuperar os danos ambientais causados, na forma do art. 14, § 1º, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

Art. 15. Além das sanções penais e administrativas cabíveis, bem como da multa diária e outras obrigações previstas no Termo de Ajustamento de Conduta e na legislação vigente, o órgão ambiental competente, mediante decisão motivada, poderá exigir a imediata reparação dos danos causados, bem como a mitigação dos riscos, desocupação, isolamento e/ou recuperação da área do empreendimento.

Art. 16. Os subscritores de estudos, documentos, pareceres e avaliações técnicas utilizados no procedimento de licenciamento e de celebração do Termo de Ajustamento de Conduta são considerados peritos, para todos os fins legais.

Art. 17. As obrigações previstas nas licenças ambientais e no Termo de Ajustamento de Conduta são consideradas de relevante interesse ambiental.

Art. 18. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

MARINA SILVA

Presidente do Conselho

Diário Oficial da União - Seção 1 - Edição Número 61 de 29/03/2006
Gabinete
Ministério do Meio Ambiente
RESOLUÇÃO Nº 368, DE 28 DE MARÇO DE 2006

Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria nº 168, de 10 de junho de 2005, e

Considerando a necessidade de revisão da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios, em função das particularidades existentes em áreas de proteção de mananciais localizadas em regiões metropolitanas, resolve:

Art. 1º Os arts. 3º e 5º da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, passam a vigorar com a seguinte redação:

"Art. 3º

§ 1º É proibida a instalação de cemitérios em Áreas de Preservação Permanente ou em outras que exijam desmatamento de Mata Atlântica primária ou secundária, em estágio médio ou avançado de regeneração, em terrenos predominantemente cársticos, que apresentam cavernas, sumidouros ou rios subterrâneos, bem como naquelas que tenham seu uso restrito pela legislação vigente, ressalvadas as exceções legais previstas.

(NR)

"Art. 5º

I - o nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias.

§ 1º Para os cemitérios horizontais, em áreas de manancial para abastecimento humano, devido às características especiais dessas áreas, deverão ser atendidas, além das exigências dos incisos de I a VI, as seguintes:

I - a área prevista para a implantação do cemitério deverá estar a uma distância segura de corpos de água, superficiais e subterrâneos, de forma a garantir sua qualidade, de acordo com estudos apresentados e a critério do órgão licenciador;

II - o perímetro e o interior do cemitério deverão ser providos de um sistema de drenagem adequado e eficiente, destinado a captar, encaminhar e dispor de maneira

segura o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra;

III - o subsolo da área pretendida para o cemitério deverá ser constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. Para permeabilidades maiores, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja dez metros acima do nível do lençol freático.

§ 2º A critério do órgão ambiental competente, poderão ser solicitadas informações e documentos complementares em consonância com exigências legais específicas de caráter local."

" (NR)

Art. 2º Fica revogado o inciso III, do § 3º, do art. 3º da Resolução nº 335, de 2003.

Art. 3º Os cemitérios existentes na data de publicação da Resolução nº 335, de 2003, terão prazo de até dois anos para adequar se às normas constantes desta Resolução, contados a partir da data de sua publicação.

Art. 4º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

MARINA SILVA

ANEXO 4 - RESOLUÇÃO Nº 019/04 e ALTERAÇÃO Nº 016/05 - SEMA

O Secretário de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 10.066, de 27.07.92, Lei nº 11.352, de 13.02.96, Lei nº 8.485, de 03.06.87, pelo Decreto nº 4514 de 23.07.01 e Decreto nº 11, de 01.01.03,

CONSIDERANDO que a proteção do meio ambiente é um dever do Poder Público, conforme dispõe o art. 225, § 1º, da Constituição Federal do Brasil;

CONSIDERANDO que a proteção do meio ambiente é um dever do Poder Público Estadual, conforme dispõe o art. 207, § 1º, da Constituição Estadual do Paraná;

CONSIDERANDO que a realização do Estudo Prévio de Impacto Ambiental - EPIA e o seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente instituídos pela Lei Federal n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, e regulados pela Resolução n.º 001, de 23 de janeiro de 1986, do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, são obrigatórios para os empreendimentos que, mesmo que potencialmente, causem significativa degradação ambiental, conforme disposição dos artigos 225, § 1º, inciso IV, e art. 207, § 1º, inciso V, da Constituição Federal e Estadual, respectivamente;

CONSIDERANDO a necessidade de regulamentação da instrução e trâmite de processos de licenciamento ambiental de cemitérios;

CONSIDERANDO o contido na Política Nacional de Meio Ambiente - Lei Federal n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981 e nas resoluções CONAMA de nº 01/86, 237/97 e 335/03, os quais disciplinam o Sistema de Licenciamento Ambiental, estabelecendo procedimentos e critérios, visando a melhoria contínua e o aprimoramento da gestão ambiental;

CONSIDERANDO a necessidade de dar efetividade ao princípio da prevenção, consagrado, em seu artigo 2º, incisos I, IV e IX, bem como no princípio n.º 15, da Declaração do Rio de Janeiro de 1992;

CONSIDERANDO que a competência concorrente dos Estados-Membros para legislar sobre a proteção do meio ambiente e suas formas de poluição, conforme determina o art. 24, da Constituição Federal do Brasil, permite aos Estados editar normas mais protetoras do meio ambiente em relação às normas federais;

CONSIDERANDO a potencial e efetiva degradação ambiental provocada pela instalação e manutenção de cemitérios e a necessidade da adoção de uma Política Ambiental que vise a proteção do solo, subsolo, recursos hídricos superficiais e subterrâneos, e a proteção da saúde pública e a sadia qualidade de vida da população;

CONSIDERANDO o respeito às práticas e valores religiosos e culturais da população;

RESOLVE:

Estabelecer requisitos e condições técnicas para a implantação de cemitérios destinados ao sepultamento, no que tange à proteção e à preservação do ambiente, em particular do solo e das águas subterrâneas.

Art. 1º Os cemitérios horizontais e verticais deverão ser submetidos ao processo de licenciamento ambiental, nos termos desta Resolução e dos demais dispositivos legais cabíveis.

Art. 2º Para efeito desta Resolução serão adotadas as seguintes definições:

I – cemitério: área destinada a sepultamentos;

a) cemitério horizontal: é aquele localizado em área descoberta compreendendo os cemitérios tradicionais e os cemitérios parques ou jardins;

b) cemitério parque ou jardim: é aquele predominantemente recoberto por jardins, isento de construções tumulares, e no qual as sepulturas são identificadas por uma lápide, ao nível do chão, de pequenas dimensões;

c) cemitério vertical: é um edifício de um ou mais pavimentos dotados de compartimentos destinados a sepultamentos;

d) cemitérios de animais: cemitérios destinados a sepultamentos de animais.

II – sepultar ou inumar: é o ato de colocar pessoa falecida, membros amputados e restos mortais em local adequado;

III – sepultura: espaço unitário, destinado a sepultamentos;

IV - construção tumular: é uma construção erigida em uma sepultura, dotada ou não de compartimentos para sepultamento, compreendendo-se:

a) jazigo: é o compartimento destinado a sepultamento contido;

b) carneiro ou gaveta: é a unidade de cada um dos compartimentos para sepultamentos existentes em uma construção tumular.

c) cripta: compartimento destinado a sepultamento no interior de edificações, templos ou suas dependências;

V - lóculo: é o compartimento destinado a sepultamento contido no cemitério vertical;

VI - produto da coliquação ou necro-chorume: é o líquido biodegradável oriundo do processo de decomposição dos corpos ou partes;

VII - exumar: retirar a pessoa falecida, partes ou restos mortais do local em que se acha sepultado;

VIII - reinumar: reintroduzir a pessoa falecida ou seus restos mortais, após exumação, na mesma sepultura ou em outra;

IX - urna, caixão, ataúde ou esquife: é a caixa com formato adequado para conter pessoa falecida ou partes;

X - urna ossuária: é o recipiente de tamanho adequado para conter ossos.

XI - urna cinerária: é o recipiente destinado a cinzas de corpos cremados;

XII - ossuário ou ossário: é o local para acomodação de ossos, contidos ou não em urna ossuária;

XIII - cinerário: é o local para acomodação de urnas cinerárias;

XIV - columbário: é o local para guardar urnas e cinzas funerárias, dispostas horizontal e verticalmente, com acesso coberto ou não, adjacente ao fundo, com um muro ou outro conjunto de jazigos;

XV - nicho: é o local para colocar urnas com cinzas funerárias ou ossos;

XVI - traslado: ato de remover pessoa falecida ou restos mortais de um lugar para outro.

Art. 3º Dependerá de Estudo Prévio de Impacto Ambiental - EPIA e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, a ser elaborado por equipe multidisciplinar, a concessão de Licença Prévia de toda e qualquer implantação e ampliação de cemitérios, de acordo com o que estabelece o art. 225, § 1º, inciso IV, da Constituição Federal do Brasil e a Resolução do CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986.

I - O Estudo Prévio de Impacto Ambiental - EPIA dependerá de aprovação do Instituto Ambiental do Paraná - IAP.

II - O Estudo Prévio do Impacto Ambiental será submetido à consulta popular, mediante audiências públicas, promovidas pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP, nos termos da Resolução do CONAMA n.º 001, de 23 de janeiro de 1986.

Art. 4º Os projetos de implantação ou ampliação dos cemitérios, submetidos ao licenciamento do Instituto Ambiental do Paraná – IAP e constantes do EPIA/RIMA deverão atender aos seguintes requisitos mínimos:

I - O perímetro e o interior do cemitério deverão ser providos de um sistema de drenagem superficial adequado e eficiente, além de outros dispositivos (terraceamentos, taludamentos, etc.) destinados a captar, encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra, bem como a implantação de acondicionamento do necro-chorume no interior do jazigo;

II - Internamente, o cemitério deverá ser contornado por uma faixa com largura mínima de 5 (cinco) metros, destituída de qualquer tipo de pavimentação ou recobertura de alvenaria, destinada à implantação de uma cortina constituída por árvores e arbustos adequados, preferencialmente de essências nativas. Esta faixa poderá ser destinada a edifícios, sistema viário ou logradouro de uso público, desde que não contrariem a legislação vigente:

a) não será permitido o sepultamento e o depósito de partes de corpos exumados na faixa descrita neste inciso;

b) na área descrita neste inciso, deverão ser mantidas as faixas de isolamento previstas na legislação vigente, onde não será efetuado sepultamento;

III – caso sejam plantadas árvores no interior dos cemitérios, na chamada zona de enterramento ou sepultamento, estas deverão possuir raízes pivotantes a fim de evitar invasão de jazigos, destruição do piso e túmulos ou danos às redes de água, de esgoto e drenagem;

IV - O subsolo deverá ser constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10^{-4} (dez a menos quatro) e 10^{-6} (dez a menos seis) cm/s (centímetros por segundo), na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático (medido no fim da estação de cheias); ou até 10 m de profundidade, nos casos em que o lençol freático não for encontrado até este nível. Coeficientes de permeabilidade diferentes só devem ser aceitos, condicionados a estudos geológicos e hidrogeológicos, fundamentados em conjunto com a tecnologia de sepultamento empregada, os quais demonstrem existir uma condição equivalente de segurança, pela profundidade do lençol freático e pelo uso e importância das águas subterrâneas no local, bem como pelas condições do projeto;

V - O nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância mínima de 1,5 m (um metro e meio) acima do mais alto nível do lençol freático, devendo os fundos dos jazigos possuírem uma contenção para o necro-chorume;

VI - Resíduos sólidos relacionados à exumação dos corpos, tais como urnas e material descartável (luvas, sacos plásticos, etc.) deverão ter o mesmo tratamento dado aos resíduos sólidos gerados pelos serviços de saúde, de acordo com a legislação vigente (Resolução CONAMA nº 5, de 1993);

VII - Deverão ser implantados sistemas de poços de monitoramento, instalados em conformidade com a norma vigente - ABNT NBR 13.895 - Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem, estrategicamente localizados a montante e a jusante da área do cemitério, com relação ao sentido de escoamento freático:

a) os poços deverão ser amostrados e as águas subterrâneas analisadas, antes do início de operação do cemitério, para o estabelecimento da qualidade original do aquífero freático, de acordo com os padrões da Portaria nº 1469/2000, do Ministério da Saúde e suas sucessoras;

b) os poços deverão ser amostrados, em conformidade com a norma NBR 13.895 e as amostras de água analisadas para os seguintes parâmetros: sólidos totais dissolvidos, dureza total, pH, cloretos, chumbo total, ferro total, fosfato total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato, coliformes fecais, bactérias heterotróficas e mesófilas, salmonella sp., cálcio e magnésio. As amostras deverão obedecer a seguinte tabela:

| | |
|---|-----------------------|
| Cemitérios implantados até 1 (um) ano | Amostragem trimestral |
| Cemitérios implantados de 1 (um) ano a 5 (cinco) anos | Amostragem semestral |
| os implantados acima de 5 (cinco) anos | Amostragem anual |

c) caso ocorram indícios de contaminação, deverão ser analisados novamente os parâmetros de qualidade da água estabelecidos na Portaria nº 1469/2000 do Ministério da Saúde ou sua sucessora, efetuando a descontaminação do mesmo, através de projeto específico, devidamente previsto no EPIA/RIMA, devendo ainda, ser acompanhado de Anotação de Responsabilidade Técnica - ART;

d) O Instituto Ambiental do Paraná - IAP poderá realizar, concomitantemente, análises periódicas do lençol freático, através dos poços de monitoramento;

e) Os columbários para entumescimento de cadáveres deverão ser impermeabilizados, de forma a não permitir a passagem de água ou outro efluente líquido ou gasoso para a área externa;

VIII - Os Cemitérios Verticais deverão ter sistema de controle de poluição atmosférica oriundo dos gases cadavéricos, apresentando programa de combate aos vetores, bem como apresentar projeto de tratamento do líquido oriundo da decomposição dos corpos.

§ 1º A escolha da localização para implantação de cemitério deverá, além do previsto nas letras seguintes, ser observada a norma ABNT NBR nº 10157/1987:

a) fica proibida a implantação de cemitérios em terrenos sujeitos à inundação permanente e sazonal;

b) fica proibida a implantação de cemitérios onde a permeabilidade dos solos e produtos de alteração possa estar modificada e/ou agravada por controles lito-estruturais, como por exemplo, falhamentos, faixas de cataclasmamento e zonas com evidências de dissolução (relevo cárstico);

c) fica proibida a implantação de cemitérios em áreas de influência direta dos reservatórios destinados ao abastecimento público (área de proteção de manancial – APM), bem como nas áreas de preservação permanente (APP).

Art. 5º Os resíduos sólidos, não humanos, resultantes da exumação dos corpos deverão ter destinação ambiental e sanitariamente adequada, de acordo com a disposição do Art. 4º, VI, da presente Resolução, e da Resolução do CONAMA nº 05, de 1993.

Art. 6º Os cemitérios já existentes e licenciados, deverão, no prazo de 90 (noventa) dias, contados a partir da publicação desta Resolução, firmar com o Instituto Ambiental do Paraná IAP termo de compromisso para adequação, no que couber, do empreendimento.

§ 1º O cemitério que, na data de publicação desta Resolução, estiver operando sem a devida licença ambiental, deverá requerer a regularização de seu empreendimento junto ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP, no prazo de 180 (cento e oitenta) dias.

§ 2º Os cemitérios já implantados e licenciados deverão proceder a um exame ambiental, nos termos do inciso VIII, letra "b", do art. 4º, no prazo improrrogável de 180 (cento e oitenta) dias, a partir da publicação desta Resolução, devendo o mesmo ser entregue ao Instituto Ambiental do Paraná - IAP.

Art. 7º Os cemitérios já existentes, a instalar ou a ampliar em municípios com população inferior a 30.000 (trinta mil) habitantes, não integrantes de regiões conurbadas e com capacidade limitada a 500 jazigos, poderão ter o procedimento de licenciamento simplificado, a critério do IAP e nos termos da Resolução nº 031/98 - SEMA.

Art. 8º O descumprimento das disposições desta Resolução, dos termos das Licenças Ambientais e de eventual Termo de Ajustamento de Conduta sujeitará o infrator às penalidades previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e em outros dispositivos normativos pertinentes, sem prejuízo do dever de recuperar os danos ambientais causados, na forma do art. 225, § 4º, da Constituição Federal do Brasil, e do art. 14, § 1º, da Lei n. 6.938, de 1981.

Art. 9º No caso de encerramento das atividades, o empreendedor deve, previamente, requerer licença, juntando Plano de Encerramento da Atividade, nele incluindo medidas de recuperação da área atingida.

Art. 10 Revogam-se as disposições em contrário.

Art. 11 Revoga-se a Resolução 027/03 - SEMA, de 08 de agosto de 2003.

Art. 12 Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação. Curitiba, 04 de maio de 2004.

LUIZ EDUARDO CHEIDA

Secretário de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

RESOLUÇÃO Nº 016/05 - SEMA

O Secretário de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 10.066, de 27.07.92, Lei nº 11.352, de 13.02.96, Lei nº 8.485, de 03.06.87, pelo Decreto nº 4514 de 23.07.01 e Decreto nº 11, de 01.01.03,

RESOLVE:

Alterar a Resolução 019/2004 - SEMA, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios.

Art. 1º O artigo 3º da Resolução 019/2004 - SEMA passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 3º Dependerá de Estudo Prévio de Impacto Ambiental - EPIA e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental RIMA, a ser elaborado por equipe multidisciplinar, a concessão de Licença Prévia de toda e qualquer implantação de cemitérios, de acordo com o que estabelece o art. 225, § 1º, inciso IV, da Constituição Federal do Brasil e a Resolução do CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986.

I - O Estudo Prévio de Impacto Ambiental - EPIA dependerá de aprovação do Instituto Ambiental do Paraná - IAP.

II - O Estudo Prévio do Impacto Ambiental será submetido à consulta popular, mediante audiências públicas, promovidas pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP, nos termos da Resolução do CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986.

III - Para ampliação e regularização de cemitérios já existentes, será exigido Plano de Controle Ambiental - PCA, a ser aprovado pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP.”

Art. 2º O artigo 4º, inciso VII, alínea “e” da Resolução 019/2004 - SEMA passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 4º ...VII -

e) Os columbários para entumamento de cadáveres deverão conter medidas de prevenção contra a contaminação do lençol freático pelo necro-chorume, subproduto resultante da decomposição do organismo humano de forma natural direta ou indireta, contemplando medidas seguras, que garantam a acomodação e o isolamento do cadáver na urna mortuária, de forma que a sepultura e o lençol freático não venham a ser contaminados;”

Art. 3º O artigo 4º, §1º, alínea “c” da Resolução 019/2004 - SEMA passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 4º

§ 1º

c) fica proibida a implantação de cemitérios nas áreas de preservação permanente, assim definidas em Lei, bem como em até 100 metros à montante dos reservatórios destinados ao abastecimento público, assim definidos pelo IAP e pela companhia de abastecimento de águas local.”

Art. 4º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação. Curitiba, 03 de outubro de 2005.

LUIZ EDUARDO CHEIDA

Secretário de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos