



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG**

MÁRCIO MACIEL CAVALCANTI

**ESTUDO DA RESPOSTA GEOFÍSICA EM DIFERENTES CENÁRIOS DE
SEPULTAMENTO**

Brasília - DF

2017

MÁRCIO MACIEL CAVALCANTI

**ESTUDO DA RESPOSTA GEOFÍSICA EM DIFERENTES CENÁRIOS DE
SEPULTAMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas do Instituto de Geociências – IG, da Universidade de Brasília – UnB, para obtenção do Título de Doutor em Geociências Aplicadas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Peres Rocha

Co-Orientador: Marcelo de Lawrence Bassay Blum

Brasília - DF

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela benção de me ter concedido momentos fantásticos de aprendizagem e aventura, que vivenciei durante esta pesquisa.

Aos meus Pais, por terem me apoiado nesta pesquisa e de terem lutado para que eu nunca abandonasse os estudos.

Agradeço a todos que contribuíram e participaram desta pesquisa, em especial:

Ao meu Orientador e amigo Marcelo Peres Rocha, que trabalhou junto a esta pesquisa, dando suporte e orientação para obtenção dos resultados. Afirmando que é um grande amigo e ótimo professor.

Ao Instituto de Criminalística da Polícia Federal, pelo intermédio do meu Co-Orientador Marcelo L. Bassay Blum, que forneceu os equipamentos geofísicos para realização deste trabalho e por me permitir participar de casos reais de investigação na busca de desaparecidos.

À Universidade de Brasília, pela área cedida na Fazenda Água Limpa, e apoio logístico e operacional na construção do Sítio Controlado de Geofísica Forense.

Ao Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA) e ao Observatório de Sismologia (SIS), pelo empréstimo dos equipamentos de geofísica e veículos.

À Fazenda Umburama, pela doação das carcaças de suíno, e pela disponibilidade em ajudar em outras pesquisas.

À empresa GTOPE Engenharia e Topografia pelo apoio ao levantamento e instalação dos marcos topográficos, na área do Sítio Controlado de Geofísica Forense.

À Empresa Junior Phygeo, que pelo intermédio dos alunos de geofísica ajudaram na aquisição dos dados de BG da área.

Ao Amigão Umberto Travaglia (cabeça dura), pela ajuda e participação na instalação e aquisição dos dados, faça chuva ou faça sol.

Ao Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges, pelos conselhos e orientações, e por partilhar de suas experiências na construção do Sítio Controlado.

Aos alunos de Estágio supervisionado Suzana Bergmann, Kimberly Castro, André Calazans e Mateus Figueiredo, pela participação e desenvolvimento da pesquisa.

Aos técnicos e motoristas Linhares, Mendes e Péricles, pelo apoio logístico e ajuda no transporte dos materiais.

Em especial, a mais importante desta lista de agradecimentos a minha esposa, Tâmara, que participou dos campos e que me ajudou emocionalmente para juntos concluirmos esta importante fase de nossas vidas.



“...Ah! A horrenda região dos terrores sepulcrais não pode ser olhada de modo tão completamente fantástico...”.

*(Edgar Allan Poe)
Ilustração Harry Clarke*

RESUMO

CALVALCANTI, M.M. **Estudo da Resposta Geofísica em Diferentes Cenários de Sepultamento Clandestino**. 2017. 197p. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2017.

No Brasil e no mundo não são raros os casos de sepultamento clandestino de pessoas (fatores criminais), e também o soterramento relacionado a desastres naturais (por exemplo, deslizamento de encostas em épocas de chuva), ou ainda por acidentes em obras de engenharia (deslizamento de taludes e de túneis). Os métodos geofísicos rasos são ferramentas úteis para localização deste tipo de alvo em ambas as situações, pois permite investigar áreas extensas em curto espaço de tempo, fundamental em casos de soterramento, ou no direcionamento de escavações forenses, minimizando assim o tempo de investigação e a área investigada, auxiliando na conclusão de inquéritos.

Neste os métodos radar de penetração de solo (GPR) e Eletrorresistividade foram utilizados para estudar a resposta geofísica de corpos em diferentes cenários de sepultamento. Para isso, foi construído o Sitio Controlado de Geofísica Forense (SCGF), em uma área de 600 m² (15 m x 40 m), localizado na Fazenda Água Limpa pertencente a Universidade de Brasília – UnB. O SCGF é caracterizado por duas fileiras com sete cenários de sepultamento. Os cenários são representações de ocorrências históricas policiais de ocultação de corpos. Para compor a representação de corpos humanos, foram utilizadas carcaças de suínos de cerca de 60 kg, doados por falências naturais. O objetivo deste estudo é identificar os padrões de resposta dos métodos geofísicos (GPR e Eletrorresistividade) associados aos vários cenários de sepultamento, tendo a influência dos períodos de estiagem e precipitação, em um período de 24 meses. As aquisições foram adquiridas antes e após o sepultamento, permitindo analisar os resultados das anomalias produzidas pelos materiais sepultados. Os resultados de GPR permitiram identificar um melhor contraste dielétrico e de atenuação do sinal nos períodos de precipitação. As aquisições de eletrorresistividade revelaram uma melhor resolução das anomalias geoeletricas com espaçamento dos eletrodos em 0,50 m, e bom contraste de resistividade nos períodos de estiagem. A presença da carcaça de suíno foi responsável pela atenuação do sinal do GPR e dos baixos valores de resistividade, indicativos, portanto, da presença de corpos sepultados, em um latossolo vermelho típico do cerrado. Este projeto é de extrema importância para a comunidade científica de geocientistas e de especialistas em pesquisa forense, pois possibilitará o estabelecimento de melhores técnicas de aquisição de dados geofísicos, aprimoramento das rotinas de processamento de dados, e a obtenção de modelos de padrões, de respostas geofísicas associados a inumações, que guiarão a interpretação dos resultados.

Palavras Chave: Sepultamento, Sitio Controlado de Geofísica Forense, GPR, Eletrorresistividade.

ABSTRACT

CALVALCANTI, M.M. **Geophysical Response Study in Different Scenarios of Clandestine Burial**. 2017. 197 p. Thesis (doctorate) - Institute of Applied Geosciences, University of Brasília - UnB. Brasília, 2017.

In Brazil and in the world, cases of clandestine burial of people (criminal factors), as well as burial related to natural disasters (for example, sliding of slopes in times of rain), or accidents in engineering works are not rare. Sliding of slopes and tunnels. Shallow geophysical methods are useful tools to locate this type of target in both situations, as it allows investigating large areas in a short time, fundamental in cases of burial, or in the direction of forensic excavations, thus minimizing the time of investigation and the Investigated, assisting in the completion of investigations.

In this method, ground penetration radar (GPR) and Eletroresistivity should be used to study the geophysical response of bodies in different burial scenarios. For this, the Forensic Geophysical Controlled Site (FGCS) was built in an area of 600 m² (15 m x 40 m), located at the Água Limpa Farm belonging to the University of Brasília - UnB. The FGCS is characterized by two rows with seven burial scenarios. The scenarios are representations of historical police events of hiding of bodies. To compose the representation of human bodies, pig carcasses of about 60 kg were used, donated by natural bankruptcies. The objective of this study is to identify the response patterns of the geophysical methods (GPR and Eletroresistivity) associated to the various burial scenarios, with the influence of drought and precipitation periods, over a period of 24 months. The acquisitions were acquired before and after the burial, allowing to analyze the results of the anomalies produced by the buried materials. The GPR results allowed to identify a better dielectric contrast and signal attenuation in the precipitation periods. The acquisitions of electroresistance showed a better resolution of the geoelectric anomalies with electrode spacing at 0.50 m, and good resistivity contrast in the dry periods. The presence of the pig carcass was responsible for the attenuation of the GPR signal and the low values of resistivity, being an indication of the presence of buried bodies in a typical Red Latosol of the savannah. This project is of the utmost importance to the scientific community of geoscientists and forensic survey specialists, as it will enable the establishment of better techniques for the acquisition of geophysical data, improvement of data processing routines, and obtaining models of geophysical responses patterns Associated with burials, which will guide the interpretation of the results.

Keywords: Burial, Controlled Site of Forensic Geophysics, GPR, Eletroresistivity.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 2.1** – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO SÍTIO CONTROLADO DE GEOFÍSICA FORENSE DA UNB (QUADRADO AMARELO), DENTRO DOS LIMITES DA FAZENDA EXPERIMENTAL DA UNB (POLÍGONO VERDE) NA REGIÃO DE BRASÍLIA, DISTRITO FEDERAL – DF. 7
- FIGURA 2.2** – MAPA GEOLÓGICO DO DISTRITO FEDERAL. ADAPTADO DE FREITAS E CAMPOS (1998). ÁREA DA FAL-UNB REPRESENTADA POR FIGURA GEOMÉTRICA VERMELHA. ... 8
- FIGURA 2.3** – MAPA DE SOLOS DA FAZENDA ÁGUA LIMPA, DF. A ÁREA DO SCFG-UNB ESTÁ INDICADA PELO RETÂNGULO PRETO. FONTE: (LACERDA ET AL., 2007). 9
- FIGURA 2.4** – GRÁFICOS DE RADIAÇÃO GLOBAL MENSAL, TEMPERATURA DO AR, PRECIPITAÇÃO MENSAL E UMIDADE RELATIVA DO AR NO ANO DE 2014, MEDIDOS NA FAL-UNB (FAV, 2016) 10
- FIGURA 2.5** – (A) E (B) FOTOS DA INSTALAÇÃO DOS MARCOS, (C) E (D) LEVANTAMENTO DA TOPOGRAFIA. (E) MAPA TOPOGRÁFICO DA ÁREA DO SCGF DA UNB. 11
- FIGURA 2.6** – AQUISIÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS DO BG NO SCGF-UNB DE: (A) E (B) ELETRORRESISTIVIDADE, E GPR (C) EQUIPAMENTO DE GPR DE DUPLA FREQUÊNCIA (250 E 700 MHZ) E (D) EQUIPAMENTO DE GPR DE 400 MHZ. 12
- FIGURA 2.7** – DISPOSIÇÃO DAS COVAS INDICANDO CADA UM DOS CENÁRIOS DE SEPULTAMENTO NA ÁREA DO SCGF-UNB. 13
- FIGURA 2.8** – FOTOS DA ÁREA DO SCGF-UNB. (A) ANTES DAS ESCAVAÇÕES COM (B) DETALHE DAS DEMARCAÇÕES DOS LIMITES DAS COVAS. DURANTE (C) ESCAVAÇÃO COM RETROESCAVADEIRA E (D) CORREÇÃO DAS BORDAS E FUNDO DAS COVAS COM DETALHE DE (E) USO DE RÉGUA TOPOGRÁFICA PARA CONTROLE DA PROFUNDIDADE. (F) APÓS AS ESCAVAÇÕES. 14
- FIGURA 2.9** – (A) PESAGEM DA CARCAÇA DE SUÍNO. (B) MEDIÇÃO DAS DIMENSÕES DA CARCAÇA. (C) ZONAS DE MEDIÇÃO: TAMANHO (LINHA TRACEJADA AZUL) E CIRCUNFERÊNCIAS: CABEÇA, TÓRAX, BARRIGA E LOMBO (LINHA TRACEJADA VERMELHA). 15
- FIGURA 2.10** – (A) POSIÇÃO DA CARCAÇA DE SUÍNO NA COVA. (B) E (C) REGISTRO DA PROFUNDIDADE DO ALVO COM EQUIPAMENTOS TOPOGRÁFICOS. (D) MEDIÇÃO DISTÂNCIA ALVO-PAREDE DA COVA. 16
- FIGURA 2.11** – ACOMODAÇÃO E POSICIONAMENTO DOS MATERIAIS EMPREGADOS NOS SEPULTAMENTOS NA ÁREA SCGF-UNB. 17
- FIGURA 2.12** - ACOMODAÇÃO E POSICIONAMENTO DOS MATERIAIS, JUNTO COM AS CARCAÇAS DE SUÍNO EMPREGADOS NOS SEPULTAMENTOS NA ÁREA SCGF-UNB. 18
- FIGURA 2.13** – (A) TRABALHO MANUAL COM ENXADA NO COBRIMENTO DO ALVO. (B) COVAS COM OS VERGALHÕES DISPOSTOS NAS LATERAIS A UMA PROFUNDIDADE DE 0,25 M. (C) USO

DO TRATOR PARA FINALIZAR O COBRIMENTO DA COVA E NIVELAMENTO DA ÁREA ESCAVADA.	19
FIGURA 3.1 – (A) ANTENA BLINDADA DE GPR (MODO BIESTÁTICO) COM O COMPORTAMENTO DAS FRENTES DE ONDA. (B) TRAÇO ESQUEMÁTICO MOSTRANDO AS CHEGADAS DAS PRINCIPAIS FRENTES DE ONDA DO GPR.	21
FIGURA 3.2 – RADARGRAMA OBTIDO COM ANTENA DE 200 MHZ BLINDADA.	21
FIGURA 3.3 – EFEITO DA PRESENÇA DE CAMPO EM NA DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS EM UM CORPO CONDUTOR: A) DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS POR CONDUÇÃO; B) DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS POR DESLOCAMENTO (MODIFICADO DE ANNAN, 2001).	22
FIGURA 3.4 – GRÁFICO DE VARIAÇÃO DA VELOCIDADE E DA ATENUAÇÃO COMO LOGARITMO DA FREQUÊNCIA, MOSTRANDO A FREQUÊNCIA DE TRANSIÇÃO (F_t), E AS ZONAS DE DISPERSÃO E DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS EM (JOL, 2009).	24
FIGURA 3.5 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM SISTEMA BÁSICO DE GPR (PORSANI, 1999).....	28
FIGURA 3.6 – (A) ESQUEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS NO MODO RADARGRAMAS DE REFLEXÃO COM AFASTAMENTO CONSTANTE (<i>COMMON OFFSET</i>). (B) TRÊS TRAÇOS DE GPR COM AS CHEGADAS DA ONDA AÉREA, ONDA DIRETA NA TERRA E ONDA REFLETIDA EM UMA ESTRUTURA NA SUBSUPERFÍCIE (ADAPTADO DE PORSANI, 1999 E BORGES, 2007).29	29
FIGURA 3.7 – ORIENTAÇÃO DAS ANTENAS DE RADAR (ADAPTADO DE ANNAN, 2001).	31
FIGURA 3.8 – MODO DE AQUISIÇÃO DE SONDAÇÃO DE VELOCIDADE. A) ESQUEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PELA TÉCNICA CMP. B) ESQUEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PELA TÉCNICA WARR. C) EXEMPLO DE DADO CMP E SUAS PRINCIPAIS FRENTES DE ONDA COM OS VALORES DE VELOCIDADE (ADAPTADO DE BORGES, 2007).	31
FIGURA 3.9 – ESPECTRO DE FREQUÊNCIA TEMPORAL X ESPACIAL (ANTENA DE 100 MHZ). O VALOR DE 0.5 M (LINHA TRACEJADA) ACARRETERIA UMA AQUISIÇÃO INCOMPLETA DO SINAL (GRASMUECK, 2005).	33
FIGURA 3.10 – EXPERIMENTO QUASE-3D. (A) REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO CANO DE PVC INVESTIGADO. RESULTADOS OBTIDOS COM ESPAÇAMENTO ENTRE OS RADARGRAMAS DE (B) 0,5 M (ERRO DE POSICIONAMENTO DOS TRAÇOS DE 0,1 M) E (C) 0,25 M (SEM ERRO DE POSICIONAMENTO) (BORGES, 2007).	34
FIGURA 3.11 – CONJUNTO DE DADOS QUASE-3D: (A) DADOS NÃO MIGRADOS. (B) DADOS MIGRADOS (BORGES, 2007).	35
FIGURA 3.12 – ILUSTRAÇÃO GRÁFICA DOS PARÂMETROS USADOS NO CÁLCULO DA RESISTIVIDADE DE UM MATERIAL (KEAREY ET AL., 2009).	37
FIGURA 3.13 - INJEÇÃO DE CORRENTE EM UM PONTO NA SUPERFÍCIE E DISTRIBUIÇÃO DO SEU FLUXO EM SUBSUPERFÍCIE (LAGO, 2009).	38

FIGURA 3.14 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FLUXO DE CORRENTE E DO POTENCIAL ASSOCIADO NO SUBSOLO PARA QUATRO ELETRODOS EM SUPERFÍCIE (YACCUP, 2012).....	39
FIGURA 3.15 – TOMOGRAFIA ELÉTRICA COM OS NÍVEIS DE INVESTIGAÇÃO (N) ATRIBUÍDOS A INTERSECÇÃO ENTRE AS LINHAS QUE PARTEM DO CENTRO DOS ELETRODOS AB E MN COM ÂNGULO DE 45° ARRANJO UTILIZADO: DIPOLO-DIPOLO.	41
FIGURA 3.16 – ESQUEMA DO ARRANJO WENNER-SCHLUMBERGER, SEU FATOR GEOMÉTRICO E A SEQUÊNCIA DE MEDIDAS UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO DE UMA PSEUDOSEÇÃO (ADAPTADO DE LOKE, 2001 E BORGES,2007).....	43
FIGURA 3.17 – SUBDIVISÃO DA SUBSUPERFÍCIE EM BLOCOS RETANGULARES PARA INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE IMAGEAMENTO (ADAPTADO DE LOKE, 2001).....	44
FIGURA 3.18 – EXEMPLO DE RESULTADOS DE INVERSÃO: (A) PSEUDO SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE OBTIDA PARA MODELO COM BLOCO FALHADO (100 OHM.M) NA PARTE INFERIOR ESQUERDA E UM PEQUENO BLOCO RETANGULAR (2 OHM.M) À DIREITA, NUM MEIO DE 10 OHM.M. DISTRIBUIÇÃO DE RESISTIVIDADES OBTIDAS COM INVERSÃO COM (B) MÉTODO DA SUAVIDADE E (C) MÉTODO DITO ROBUSTO (LOKE,2001).	46
FIGURA 3.19 – A) CADÁVER MUMIFICADO EM SOLO ARENOSO NA ILHA DESERTA DE SAN LORENZO, NO PERU. B) CADÁVER FEMININO COM FORMAÇÃO DE ADIPOCERE (SAPONIFICAÇÃO), EXPOSTA NO MUSEU MÜTTER EM FILADÉLFIA (ADAPTADO DE SCHOTSMANS ET AL, 2017).....	48
FIGURA 3.20 – IMAGENS DA EXUMAÇÃO DE CARCAÇAS DE SUÍNOS EM UMA ÁREA DA FAL/UNB APÓS 90 DIAS DO SEPULTAMENTO, MOSTRANDO A) MUMIFICAÇÃO E B) SAPONIFICAÇÃO (DEMO, 2013).	49
FIGURA 4.1 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO MÊS DE MAIO DE 2014 NA ÁREA DA FAL-UNB, DURANTE O MÊS DE AQUISIÇÃO DOS RADARGRAMAS PARA DETERMINAÇÃO DO BG DA ÁREA DO SCGF-UNB.....	53
FIGURA 4.2 – CROQUI DA ÁREA DO SCGF-UNB E O ESQUEMA DE AQUISIÇÃO DOS RADARGRAMAS PARA DETERMINAÇÃO DO BG.....	54
FIGURA 4.3 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO MÊS DE OUTUBRO DE 2014 NA ÁREA DA FAL-UNB, DURANTE O MÊS DE AQUISIÇÃO DAS SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE PARA DETERMINAÇÃO DO BG NA ÁREA DO SCGF-UNB.	55
FIGURA 4.4 – REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE INVESTIGAÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE. LINHA VERMELHA SIMBOLIZA O COMPRIMENTO DA ÁREA DO SCGF-UNB (40 M) E A MELHOR PROFUNDIDADE (3 M) SEM A PERDA LATERAL DOS PONTOS DE INVESTIGAÇÃO.	56
FIGURA 4.5 – CROQUI DAS LINHAS DE ELETRORRESISTIVIDADE E SEU POSICIONAMENTO, REPRESENTADO PELA POSIÇÃO DOS ELETRODOS (ESPAÇAMENTO DE 1 M) SOBRE A ÁREA DO SCGF-UNB.....	57

FIGURA 4.6 – ESPECTRO F-K DOS RADARGRAMAS ADQUIRIDOS COM AS ANTENAS DE 200, 400 E 700 MHz SOBRE A ÁREA DO SCGF-UNB.	58
FIGURA 4.7 – CROQUI DO SCGF-UNB, COM A REPRESENTAÇÃO DAS LINHAS DE AQUISIÇÃO SOBRE AS COVAS, APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS.	59
FIGURA 4.8 – GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO OCORRIDOS NOS ANOS DE 2015 (A) E 2016 (B) NA ÁREA DA FAL-UNB, EM VERMELHO O MESES DE AQUISIÇÃO DOS RADARGRAMAS NA ÁREA DO SCGF-UNB.	60
FIGURA 4.9 – FOTOS DAS AQUISIÇÕES DOS RADARGRAMAS NA ÁREA DO SCGF-UNB, APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS. AQUISIÇÕES COM AS ANTENAS DE 250 MHz, 700 MHz (A) E 400 MHz (B), NO PERÍODO DE PRECIPITAÇÃO. E AQUISIÇÃO COM AS ANTENAS DE 250, 700 MHz (C) E 400 MHz (D), NO PERÍODO DE ESTIAGEM.	61
FIGURA 4.10 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO NO ANO DE 2015 NA ÁREA DA FAL-UNB, EM VERMELHO O MÊS DE AQUISIÇÃO DAS SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE NA ÁREA DO SCGF-UNB.	62
FIGURA 4.11 – LINHAS DE AQUISIÇÃO DAS SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE, APÓS SEPULTAMENTO DOS ALVOS, COM ESPAÇAMENTO DE 1,0 M (PONTOS DE COR LARANJA) E ESPAÇAMENTO DE 0,50 M (PONTOS DE COR AZUL).	63
FIGURA 4.12 - GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO OCORRIDO NO ANO DE 2016 NA ÁREA DA FAL-UNB, EM VERMELHO OS MESES DE AQUISIÇÃO DAS SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE NA ÁREA DO SCGF-UNB.	63
FIGURA 4.13 – TOMOGRAFIA APÓS O SEPULTAMENTO NOS PERÍODOS DE: A) SECA/2015; B) CHUVA/2016; C) SECA/2016, D) E E) ÁGUA E GEL PARA REDUÇÃO DE RESISTÊNCIA DE CONTATO.	64
FIGURA 4.14 – LINHAS DE ELETRORRESISTIVIDADE DAS SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE, APÓS SEPULTAMENTO DOS ALVOS, COM ESPAÇAMENTO DE 0,25 M (PONTOS DE COR ROXA) NOS PERÍODOS DE CHUVA E SECA DE 2016.	65
FIGURA 5.1 –ESPECTROS DE AMPLITUDE OBTIDOS COM DADOS BRUTOS (ESQUERDA) E DADOS PROCESSADO (DIREITA) COM 250 MHz (TOPO DA FIGURA), 400 MHz (POSIÇÃO INTERMEDIÁRIA) E 700 MHz (BASE).	67
FIGURA 5.2 – RADARGRAMAS DAS ANTENAS DE 250, 400 E 700 MHz APÓS A ROTINA DE PROCESSAMENTO.	68
FIGURA 5.3 – BLOCOS DIAGRAMAS FORMADOS COM OS RADARGRAMAS OBTIDOS COM (A) 250 MHz, (B) 700 MHz E (C) 400 MHz, ANTES DO SEPULTAMENTO DOS OBJETOS.	69
FIGURA 5.4 –: DADOS OBTIDOS COM O ARRANJO DIPOLO-DIPOLO ANTES DO ENTERRAMENTO DOS ALVOS NA LINHA 09. RESISTIVIDADE APARENTE (A) MEDIDA E (B) CALCULADA PARA O (C) MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESISTIVIDADES OBTIDO POR MEIO DE INVERSÃO. 71	

FIGURA 5.5 – DISTRIBUIÇÃO DE RESISTIVIDADES OBTIDAS POR MEIO DE INVERSÃO DE DADOS MEDIDOS COM ARRANJO (A) DIPOLO-DIPOLO E (B) WENNER-SCHLUMBERGER ANTES DO SEPULTAMENTO.....	71
FIGURA 5.6 – (A) RADARGRAMA SOBRE AS COVAS SEM CARÇAÇAS DE PORCOS (ANTENA DE 250MHZ). (B) DETALHE DA COVA COM LONA PLÁSTICA.....	72
FIGURA 5.7 – A) RADARGRAMA APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS, ANTENA DE 400 MHZ. B) EXEMPLIFICAÇÃO DO MÉTODO HIPERBÓLICO DE OBTENÇÃO DOS VALORES DE VELOCIDADE. C) MODELO DE VELOCIDADE DA ONDA ELETROMAGNÉTICA ONDE VALORES MENORES QUE 0,11 M/NS SÃO REPRESENTADOS POR CORES FRIAS E VALORES SUPERIORES A 0.01 M/NS, POR CORES QUENTES. D) RADARGRAMA APÓS A CONVERSÃO DO TEMPO EM PROFUNDIDADE.....	73
FIGURA 5.8 – BLOCOS DIAGRAMA COM CORTE EM PROFUNDIDADE PARA VISUALIZAÇÃO DAS BARRAS DE FERRO SOBRE AS COVAS COM ENVOLTÓRIOS. A) 250 MHZ. B) 700 MHZ. C) 400 MHZ.....	74
FIGURA 5.9 – RESULTADOS OBTIDOS APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS AO LONGO DA FILEIRA COM CARÇAÇAS COM ESPAÇAMENTO DE 0,50 M POR MEIO DA INVERSÃO PELO MÉTODO A) DA SUAVIDADE E B) ROBUSTO.....	76
FIGURA 6.1 – PRECIPITAÇÃO DE DURANTE O LEVANTAMENTO DO BG DA ÁREA DO SCGF-UNB..	77
FIGURA 6.2 – RADARGRAMAS DE (A) 250 MHZ, (B) 400 MHZ E (C) 700 MHZ, ANTES DO SEPULTAMENTO DOS ALVOS.....	78
FIGURA 6.3 – ANÁLISE DOS VALORES DE VELOCIDADE DA ONDA ELETROMAGNÉTICA, PELO AJUSTE HIPERBÓLICO NOS RADARGRAMAS, NAS FREQUÊNCIAS DE (A) 250 MHZ, (B) 400 MHZ E (C) 700 MHZ, SOBRE A ÁREA DO SCGF-UNB, ANTES DO SEPULTAMENTO DOS ALVOS.....	79
FIGURA 6.4 – RESISTIVIDADE APARENTE (A) MEDIDA E (B) CALCULADA PARA O (C) MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESISTIVIDADES OBTIDO POR MEIO DE INVERSÃO PARA A LINHA 11 COM O ARRANJO DD ANTES DO SEPULTAMENTO DOS ALVOS.....	80
FIGURA 6.5 – RESISTIVIDADE APARENTE (A) MEDIDA E (B) CALCULADA PARA O (C) MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DE RESISTIVIDADES OBTIDO POR MEIO DE INVERSÃO PARA A LINHA 11 COM O ARRANJO WS ANTES DO SEPULTAMENTO DOS ALVOS.....	81
FIGURA 6.6 – RADARGRAMAS SOBRE AS COVAS COM ENVOLTÓRIOS OBTIDAS COM: (A) 250, (B) 400 E (C) 700 MHZ.....	82
FIGURA 6.7 – RADARGRAMAS SOBRE AS COVAS COM ENVOLTÓRIOS OBTIDOS COM 700 MHZ EM 2015 NO PERÍODO DE: (A) CHUVAS E (B) SECO.....	83
FIGURA 6.8 - INFORMAÇÃO DA COVA COM SOLO REVIRADO: A) RADARGRAMA DO BG, B) CENÁRIO DE ENTERRO E C) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. INFORMAÇÃO DO ENTERRO COM CARÇAÇA (DE SUÍNO). D) RADARGRAMA DO BG, E) CENÁRIO DE ENTERRO E F) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. DADOS ADQUIRIDOS COM A ANTENA DE 400 MHZ.	85

FIGURA 6.9 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 250 MHZ, SOBRE AS COVAS DE SOLO REVIRADO E CARÇAÇA DE SUÍNO NU, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	88
FIGURA 6.10 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 400 MHZ, SOBRE AS COVAS DE SOLO REVIRADO E CARÇAÇA DE SUÍNO NU, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	89
FIGURA 6.11 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 700 MHZ, SOBRE AS COVAS COM SOLO REVIRADO E CARÇAÇA DE SUÍNO NU, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	90
FIGURA 6.12 - INFORMAÇÃO DA COVA COM LONA PLÁSTICA: A) RADARGRAMA DO BG, B) CENÁRIO DE ENTERRO E C) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. INFORMAÇÃO DO ENTERRO COM CARÇAÇA DE SUÍNO ENROLADO EM LONA PLÁSTICA. D) RADARGRAMA DO BG, E) CENÁRIO DE ENTERRO E F) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. DADOS ADQUIRIDOS COM A ANTENA DE 400 MHZ.	93
FIGURA 6.13 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 250 MHZ, SOBRE AS COVAS COM LONA PLÁSTICA E CARÇAÇA DE SUÍNO ENVOLTO EM LONA PLÁSTICA, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.	94
FIGURA 6.14 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 400 MHZ, SOBRE AS COVAS COM LONA PLÁSTICA E CARÇAÇA DE SUÍNO ENVOLTO EM LONA PLÁSTICA, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA NOS ANOS DE 2015 E 2016.	95
FIGURA 6.15 – RADARGRAMAS OBTIDOS COM 700 MHZ SOBRE AS COVAS COM LONA PLÁSTICA E CARÇAÇA DE SUÍNO ENVOLTO EM LONA PLÁSTICA, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA DE 2015 E 2016.	96
FIGURA 6.16 - INFORMAÇÃO DA COVA COM LENÇOL: A) RADARGRAMA DO BG, B) CENÁRIO DE ENTERRO E C) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. INFORMAÇÃO DO ENTERRO COM CARÇAÇA DE SUÍNO ENROLADO EM LENÇOL. D) RADARGRAMA DO BG, E) CENÁRIO DE ENTERRO E F) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. DADOS ADQUIRIDOS COM A ANTENA DE 400 MHZ.....	99
FIGURA 6.17 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 250 MHZ, SOBRE AS COVAS COM LENÇOL E CARÇAÇA DE SUÍNO ENVOLTO EM LENÇOL, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	100
FIGURA 6.18 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 400 MHZ, SOBRE AS COVAS COM LENÇOL E CARÇAÇA DE SUÍNO ENVOLTO EM LENÇOL, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	101
FIGURA 6.19 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 700 MHZ, SOBRE AS COVAS COM LENÇOL E CARÇAÇA DE SUÍNO ENVOLTO EM LENÇOL, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	102
FIGURA 6.20 – INFORMAÇÃO DA COVA COM CONCRETO: A) RADARGRAMA DO BG, B) CENÁRIO DE ENTERRO E C) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. INFORMAÇÃO DO ENTERRO COM	

CARÇAÇA DE SUÍNO EM CONCRETO: D) RADARGRAMA DO BG, E) CENÁRIO DE ENTERRO E F) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. DADOS ADQUIRIDOS COM A ANTENA DE 400 MHZ.....	103
FIGURA 6.21 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 250 MHZ, SOBRE AS COVAS COM CONCRETO E CARÇAÇA DE SUÍNO EM CONCRETO, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	106
FIGURA 6.22 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 400 MHZ, SOBRE AS COVAS COM CONCRETO E CARÇAÇA DE SUÍNO EM CONCRETO, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	107
FIGURA 6.23 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 700 MHZ, SOBRE AS COVAS COM CONCRETO E CARÇAÇA DE SUÍNO EM CONCRETO, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	108
FIGURA 6.24 - INFORMAÇÃO DA COVA COM RESTOS DE CONSTRUÇÃO: A) RADARGRAMA DO BG, B) CENÁRIO DE ENTERRO E C) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. INFORMAÇÃO DO ENTERRO COM CARÇAÇA DE SUÍNO EM RESTOS DE CONSTRUÇÃO: D) RADARGRAMA DO BG, E) CENÁRIO DE ENTERRO E F) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. DADOS ADQUIRIDOS COM A ANTENA DE 400 MHZ.	110
FIGURA 6.25 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 250 MHZ SOBRE AS COVAS COM RESTO DE CONSTRUÇÃO COM E SEM CARÇAÇA DE SUÍNO, PARA OS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.	111
FIGURA 6.26 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 400 MHZ, SOBRE AS COVAS COM RESTO DE CONSTRUÇÃO COM E SEM CARÇAÇA DE SUÍNO, PARA OS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.	112
FIGURA 6.27 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 700 MHZ, SOBRE AS COVAS COM RESTO DE CONSTRUÇÃO COM E SEM CARÇAÇA DE SUÍNO, PARA OS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.	113
FIGURA 6.28 - INFORMAÇÃO DA COVA COM CAIXÃO DE MADEIRA: A) RADARGRAMA DO BG, B) ESQUEMA DE ENTERRO C) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. INFORMAÇÃO DO ENTERRO COM CARÇAÇA DE SUÍNO EM CAIXÃO DE MADEIRA: D) RADARGRAMA DO BG, E) ESQUEMA DE ENTERRO E F) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. DADOS ADQUIRIDOS COM A ANTENA DE 400 MHZ.	117
FIGURA 6.29 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 250 MHZ, SOBRE AS COVAS COM CAIXÃO DE MADEIRA COM E SEM A CARÇAÇA DE SUÍNO, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	118
FIGURA 6.30 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 400 MHZ, SOBRE AS COVAS COM CAIXÃO DE MADEIRA COM E SEM A CARÇAÇA DE SUÍNO, PARA OS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.	119

FIGURA 6.31 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 700 MHZ, SOBRE AS COVAS COM CAIXÃO DE MADEIRA COM E SEM A CARÇAÇA DE SUÍNO, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	120
FIGURA 6.32 - INFORMAÇÃO DA COVA COM CAL HIDRATADO: A) RADARGRAMA DO BG, B) CENÁRIO DE ENTERRO E C) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. INFORMAÇÃO DO ENTERRO COM CARÇAÇA DE SUÍNO EM CAL HIDRATADO: D) RADARGRAMA DO BG, E) CENÁRIO DE ENTERRO E F) RADARGRAMA APÓS O ENTERRO. DADOS ADQUIRIDOS COM A ANTENA DE 400 MHZ.	124
FIGURA 6.33 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 250 MHZ, SOBRE AS COVAS COM CAL HIDRATADO COM E SEM A CARÇAÇA DE SUÍNO, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	125
FIGURA 6.34 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 400 MHZ, SOBRE AS COVAS COM CAL HIDRATADO COM E SEM A CARÇAÇA DE SUÍNO, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	126
FIGURA 6.35 - RADARGRAMAS COM FREQUÊNCIA DE 700 MHZ, SOBRE AS COVAS COM CAL HIDRATADO COM E SEM A CARÇAÇA DE SUÍNO, NOS PERÍODOS DE SECA E CHUVA, NOS ANOS DE 2015 E 2016.....	127
FIGURA 6.36 – BLOCO QUASE-3D DOS RADARGRAMAS 2D, ADQUIRIDOS COM ANTENA DE 250 MHZ, SOBRE AS COVAS NA ÁREA DO SCGF-UNB.....	130
FIGURA 6.37 – BLOCO QUASE-3D DOS RADARGRAMAS 2D, ADQUIRIDOS COM ANTENA DE 400 MHZ, SOBRE AS COVAS NA ÁREA DO SCGF-UNB.....	131
FIGURA 6.38 – BLOCO QUASE-3D DOS RADARGRAMAS 2D, ADQUIRIDOS COM ANTENA DE 700 MHZ, SOBRE AS COVAS NA ÁREA DO SCGF-UNB.....	132
FIGURA 6.39 – CORTES HORIZONTAIS DO BLOCO QUASE-3D PARA AS PROFUNDIDADES DE 0,35 M (SUPERIOR), 0,72 M (CENTRAL) E 1,8 M (INFERIOR) SOBRE A ÁREA DO SCGF-UNB, GERADO COM RADARGRAMAS DA ANTENA DE 250 MHZ.	134
FIGURA 6.40 – GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO DO MÊS DE OUTUBRO DE 2015 OCORRIDO NA ÁREA DA FAL-UNB, EM VERMELHO OS DIAS DE AQUISIÇÃO DAS SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS NA ÁREA DO SCGF-UNB.	135
FIGURA 6.41 – SEÇÕES DE RESISTIVIDADE OBTIDAS POR MEIO DE INVERSÃO DE DADOS OBTIDOS COM ARRANJO DD , NO PERÍODO DE SECA DE 2015 PARA : A) COVAS COM APENAS OS ENVOLTÓRIOS E B) COVAS COM CARÇAÇAS DE SUÍNO NOS ENVOLTÓRIOS.....	136
FIGURA 6.42 – SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE ADQUIRIDAS PELO ARRANJO WS, NO PERÍODO DE SECA DE 2015 E COM ESPAÇAMENTO DE 1,0 M ENTRE OS ELETRODOS. A) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM APENAS OS ENVOLTÓRIOS. B) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM CARÇAÇAS DE SUÍNO NOS ENVOLTÓRIOS.	137

- FIGURA 6.43** – SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE ADQUIRIDAS PELO ARRANJO DD, NO PERÍODO DE SECA DE 2015 E COM ESPAÇAMENTO DE 0,50 M ENTRE OS ELETRODOS. A) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM APENAS OS ENVOLTÓRIOS. B) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM CARÇAÇAS DE SUÍNO NOS ENVOLTÓRIOS. 142
- FIGURA 6.44** – SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE ADQUIRIDAS PELO ARRANJO WS, NO PERÍODO DE SECA DE 2015 E COM ESPAÇAMENTO DE 0,50 M ENTRE OS ELETRODOS. A) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM APENAS ENVOLTÓRIOS. B) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM CARÇAÇAS DE SUÍNO NOS ENVOLTÓRIOS. 143
- FIGURA 6.45** – GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO DO MÊS DE CHUVA (ABRIL DE 2016), OCORRIDOS NA ÁREA DA FAL-UNB, EM VERMELHO OS DIAS DE AQUISIÇÃO DAS SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS NA ÁREA DO SCGF-UNB. 144
- FIGURA 6.46** – GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO DO MÊS DE SECA (SETEMBRO DE 2016), OCORRIDOS NA ÁREA DA FAL-UNB, EM VERMELHO OS DIAS DE AQUISIÇÃO DAS SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS NA ÁREA DO SCGF-UNB. 145
- FIGURA 6.47** – SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE ADQUIRIDAS PELO ARRANJO DD, NO PERÍODO DE CHUVA DE 2016 E COM ESPAÇAMENTO DE 0,25 M ENTRE OS ELETRODOS. A) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM APENAS OS ENVOLTÓRIOS. B) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM CARÇAÇAS DE SUÍNO NOS ENVOLTÓRIOS. 147
- FIGURA 6.48** – SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE ADQUIRIDAS PELO ARRANJO DD, NO PERÍODO DE SECA DE 2016 E COM ESPAÇAMENTO DE 0,25 M ENTRE OS ELETRODOS. A) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM ENVOLTÓRIOS. B) SEÇÃO DE ELETRORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM CARÇAÇAS DE SUÍNO NOS ENVOLTÓRIOS. 150

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - PERMISSIVIDADE DIELÉTRICA RELATIVA (ϵ_r) E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (A) DE MATERIAIS COMUNS PARA AS FREQUÊNCIAS UTILIZADAS NO GPR (COMPILADO POR PORSANI, 1999).....	24
TABELA 3.2 – FREQUÊNCIA VERSUS PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO (MALA, 1997 E BORGES, 2007).....	27
TABELA 3.3 – FREQUÊNCIA CENTRAL DAS ANTENAS E SUA RESOLUÇÃO VERTICAL (ANNAN, 2001).....	27
TABELA 3.4 – PROFUNDIDADE MÉDIA DE INVESTIGAÇÃO (Z_e) PARA O ARRANJO DIPOLO-DIPOLO (ADAPTADO DE EDWARDS, 1977).....	42
TABELA 3.5 – PROFUNDIDADE MÉDIA DE INVESTIGAÇÃO (Z_e) PARA O ARRANJO WENNER-SCHLUMBERGER (ADAPTADO DE EDWARDS, 1977).	43
TABELA 3.6 – AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE DECOMPOSIÇÃO VISUAL EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO. ADAPTADO DE TUMER ET AL. (2013).	49
TABELA 4.1 – PARÂMETROS DE AQUISIÇÃO DOS RADARGRAMAS NA ÁREA DO SCGF-UNB.....	53
TABELA 4.2 – PARÂMETROS DE AQUISIÇÃO DOS ARRANJOS (DD) E (WS).....	55
TABELA 4.3 – VALORES DE ESPAÇAMENTO MÍNIMO DOS RADARGRAMAS PARA CADA TIPO DE ANTENA UTILIZADA NA ÁREA SCGF/UNB.	59
TABELA 4.4 – PARÂMETROS DE AQUISIÇÃO DOS ARRANJOS DD E WS APLICADOS NO PERÍODO DE SECA DE 2015.....	62
TABELA 4.5 – PARÂMETROS DE AQUISIÇÃO DOS ARRANJOS DD E WS APLICADOS NOS PERÍODOS DE CHUVA (CH) E SECA (SC) NO ANO DE 2016.....	65
TABELA 6.1 – RESULTADOS DOS RADARGRAMAS 2D SOBRE AS COVAS COM ENVOLTÓRIOS.	128
TABELA 6.2 – RESULTADOS DOS RADARGRAMAS 2D SOBRE AS COVAS COM A CARÇAÇA DE SUÍNO COM ENVOLTÓRIOS.	128
TABELA 6.3 – RESULTADOS QUALITATIVOS DE ELETORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM ENVOLTÓRIOS.	152
TABELA 6.4 – RESULTADOS QUALITATIVOS DE ELETORRESISTIVIDADE SOBRE AS COVAS COM CARÇAÇAS DE SUÍNO NOS ENVOLTÓRIOS.....	152

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO	1
---------------------	---

CAPÍTULO 2

2. SÍTIO CONTROLADO DE GEOFÍSICA FORENSE – SCGF-UNB.....	6
2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO SCGF-UNB.....	6
2.2 IMPLANTAÇÃO DO SCGF-UNB.....	10

CAPÍTULO 3

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1 GPR	20
3.1.1 Generalidade.....	20
3.1.2 Efeitos das Propriedades Eletromagnéticas.....	21
3.1.3 Coeficiente de Reflexão.....	25
3.1.4 Profundidade de Penetração e Resolução do GPR	26
3.1.5 Coeficiente de Reflexão.....	28
3.1.6 Processamento e Interpretação dos Dados.....	34
3.2 ELETORRESISTIVIDADE	36
3.2.1 Generalidades	36
3.2.2 Cálculo da Resistividade	38
3.2.3 Resistividade Aparente	40
3.2.4 Técnicas de aquisição de dados	40
3.2.5 Arranjo Dipolo-dipolo (DD).....	42
3.2.6 Arranjo Wenner-Schlumberger (WS).....	42
3.2.7 Interpretação dos dados	44
3.3 A DECOMPOSIÇÃO EM CORPOS SOTERRADOS	46
3.3.1 A decomposição em diferentes cenários de sepultamento.....	50

CAPÍTULO 4

4. AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	52
4.1 ANTES DO SEPULTAMENTO DOS ALVOS NA ÁREA DO SCGF-UnB	52

4.1.1	GPR	52
4.1.2	Eletrorresistividade.....	54
4.2	APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS NA ÁREA DO SCGF-UnB	57
4.2.1	GPR	57
4.2.2	Eletrorresistividade.....	61
 CAPÍTULO 5 _____		
5.	PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	66
5.1	<i>BACKGROUND</i> DA ÁREA DO SCGF-UnB	66
5.1.1	GPR	66
5.1.2	Eletrorresistividade.....	70
5.2	APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS NA ÁREA DO SCGF-UnB	72
5.2.1	GPR	72
5.2.2	Eletrorresistividade.....	75
 CAPÍTULO 6 _____		
6.	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
6.1	ANTES DO SEPULTAMENTO DOS ALVOS (<i>BACKGROUND</i>).....	77
6.1.1	GPR	77
6.1.2	Eletrorresistividade.....	79
6.2	APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS	82
6.2.1	GPR	82
6.2.2	Eletrorresistividade.....	135
 CAPÍTULO 7 _____		
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	153
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157
	ANEXOS	166

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Geofísica é uma ciência que utiliza métodos indiretos de investigação da subsuperfície baseados na identificação de variações nas propriedades físicas em subsuperfície, ou seja, sem necessidade de amostrar a subsuperfície por meio de furos de sondagem. Os resultados geofísicos são muitas vezes passíveis de ambiguidades ou incertezas na interpretação. No entanto, suas principais vantagens são a rapidez e o baixo custo das informações de alvos ou materiais existentes no subsolo que permite obter, especialmente quando é necessária a investigação de áreas extensas. Os resultados obtidos com a Geofísica não substituem aqueles obtidos com métodos diretos, porém, estes últimos fornecem apenas informações pontuais.

A aplicação de métodos geofísicos tem ganhado importância em diversas áreas, com merecimento nas aplicações em estudos forenses, especialmente quando não se tem informações precisas da localização dos alvos. Para estes casos, os resultados geofísicos permitem delimitar e diminuir a área de aplicação dos métodos tradicionais. Existem diversos trabalhos que evidenciam a aplicação dos métodos geofísicos em estudos forenses.

Dentre os primeiros trabalhos que utilizaram Geofísica para aplicações forenses, encontra-se o de Vaughan (1986), o qual discute dois estudos de caso com a aplicação do método Radar de Penetração do Solo (Ground Penetrating Radar – GPR) em conjunto com a arqueologia para localização de corpos enterrados no Canadá. O primeiro caso, de alta resolução, envolveu a busca de covas e artefatos enterrados em uma antiga estação baleeira do século XVI. O segundo caso, por sua vez, a avaliação do impacto da construção de um Museu em local de ocupação pré-histórica.

Após estes trabalhos, diversos outros foram realizados, utilizando diferentes métodos geofísicos. (DAVENPORT et al., 1988; ELLWOOD, 1990; BEVAN, 1991; MELLET, 1992; SCOTT e UNTERBERGER, 1992; MILLER, 1996; NOBES, 1999; DAVIS et al., 2000; HUNTER, 2004; CHEETHAM, 2005; JERVIS et al., 2009; PRINGLE et al., 2008).

A grande diversidade de contextos encontrados em situações de sepultamento ou soterramento de vítimas impacta diretamente os resultados geofísicos, principalmente no que diz respeito ao tamanho, comprimento e profundidade do alvo, tipo de envolvimento corporal, estado de decomposição, tipo do solo e umidade, o que muitas vezes dificulta a interpretação dos dados (JERVIS et al., 2009; SCHULTZ, 2008). Neste sentido, o estudo do padrão das respostas dos métodos geofísicos mais comuns para este tipo de aplicação é fundamental.

Recentes estudos sobre a variação de umidade do solo, e seus efeitos nas propriedades elétricas, comprovaram que os fatores climáticos sazonais podem influenciar nas características dos dados de levantamento de resistividade em covas. Há evidências de que as mudanças na umidade do solo causadas por padrões climáticos sazonais podem afetar a detecção de valas clandestinas com o GPR (HAMMON et al., 2000; SCHULTZ e MARTIN, 2012).

Schultz e Martin (2012), utilizaram o método GPR com antenas de 250 e 500 MHz no monitoramento, durante 12 meses, em 6 cenários de sepultamento em duas diferentes profundidades (0,5 e 1,0 m), em um solo do tipo espodossolo, com clima subtropical úmido. Os resultados evidenciaram que a variação de sazonalidade influenciava nas respostas do sinal, com melhores resultados durante os meses de precipitação.

Pringle et al. (2012), em seus estudos com Eletrorresistividade, identificou que em uma cova com carcaça de porco os valores de baixa resistividade foram causados pela percolação de fluido de decomposição (necrochorume) misturado com a umidade do solo. Em uma cova com porco envolvido por plástico, os valores de alta resistividade foram ocasionados pela composição do envoltório.

A crescente utilização de métodos geofísicos (Eletromagnéticos e Eletrorresistividade) na localização de covas clandestinas tem culminado em pesquisas com experimentos em sítios controlados para aperfeiçoar a compreensão das respostas e

influências dos vários cenários de sepultamento (BUCK, 2003; JERVIS et al., 2009; JUERGES et al., 2010; POWELL, 2010; PRINGLE et al., 2012; PRINGLE et al., 2008; SCOTT e HUNTER, 2004). Esses sítios tem enriquecido também o conhecimento sobre sepultamentos em diferentes tipos de solos: argila (FREELAND et al., 2002), areia (SCHULTZ, 2008), areia e argila (SCHULTZ et al., 2006) e antropogênico (JERVIS et al., 2009; PRINGLE et al., 2008). Embora estas variáveis sejam importantes em uma pesquisa geofísica, ainda é limitada a quantidade de publicações de estudos geofísicos que incorporem diferentes cenários de sepultamento.

Jervis e Pringle (2014) realizaram estudos de Eletrorresistividade, no sítio de inumações desenvolvido por Pringle et al. (2012). Em um período de três anos os resultados de estudos da variação sazonal apresentaram mudanças nos valores de resistividade. Diante das mudanças de clima, identificaram que a cova com uma carcaça de porco apresentou melhores condições de identificação nos períodos de maior umidade do solo. Com a diminuição da umidade do solo, os valores de resistividade crescem. A cova com porco ensacado não apresentou variação significativa dos valores de resistividade com as alterações de sazonalidade climática; pequenas reduções de resistividade foram atribuídas ao necrochorume parcialmente aprisionado no saco. Suas conclusões indicam que as variações sazonais afetam os valores de resistividade moderadamente e que tais alterações são dependentes principalmente das mudanças dentro das covas.

Molina et al. (2016), realizaram o monitoramento de covas em um sítio controlado, localizado na Colômbia, composto por 8 covas (solo revirado, porco desnudo, esqueleto humano e esqueleto queimado) divididas em duas profundidades: rasa (0,80 m) e profunda (1,20 m). Utilizando os métodos GPR (antenas de 250 e 500 MHz) e Eletrorresistividade (arranjo polo-polo com espaçamento de 0,50 m entre os eletrodos). Os resultados com o método GPR apresentaram reflexões de alta amplitude, relacionadas ao solo perturbado, tendo a antena de 250 MHz fornecido resultados superiores aqueles obtidos com a antena de 500 MHz. O resultado de Eletrorresistividade apresentou valores altos e baixos de resistividade sobre as covas, dependendo do período da pesquisa.

No Brasil, as pesquisas e estudos geofísicos acadêmicos aplicados ao campo da ciência forense e antropológica são recentes. Os primeiros trabalhos começaram em 2006, no Estado do Pará, no campo de testes controlados para Geofísica Forense, Ambiental e de Resgate (FORAMB), desenvolvido pela Professora Lúcia Maria da Costa e Silva, do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará

– UFPA (SILVA et al. 2008, COSTA 2009, NASCIMENTO 2009, CATETE 2010 e BRASIL 2013). A área do FORAMB serviu também para aulas práticas dos Curso de Graduação e de Pós-graduação em Geofísica da UFPA. O FORAMB foi desativado ao completar 10 anos, em 2016.

Costa (2009) utilizou Eletrorresistividade (caminhamento e tomografia elétricos), Radiometria (cintilometria) e Potencial Espontâneo no FORAMB, enquanto Nascimento (2009), GPR e Slingram (LIN) e Catete (2010), Eletrorresistividade (tomografia elétrica) e Polarização Induzida. O GPR e a tomografia forneceram os melhores resultados na identificação de corpo enterrado no FORAMB bem como simulado de túnel ali construído; os resultados obtidos variaram bastante com o clima. Em adicional, Nascimento (2009) e Catete (2010) testaram o mapeamento do nível hidrostático por meio do GPR, respectivamente no cemitério do Bengui (terreno que foi submetido a grande modificação antrópica) e no cemitério do Tapanã (terreno em condições relativamente naturais), com o objetivo de verificar as áreas inadequadas para sepultamentos. Brasil (2013) realizou levantamentos de GPR, com antenas de 200 e 400 MHz, no campo de teste FORAMB, em uma área de sepultamentos com cobertura de concreto, e em uma área a noroeste da Ilha de Mosqueiro, onde há relatos que indicavam a existência de um cemitério clandestino. Os resultados mostraram grande utilidade do GPR, a despeito do tempo transcorrido desde o sepultamento do corpo no FORAMB, na visualização desse alvo bem como de alvos sob concreto. Na área de Mosqueiro, os alvos, muito antigos, submetidos às condições climáticas e geológicas locais, não deixaram registros que permitissem uma fácil detecção pelo GPR.

Esta pesquisa de doutorado tem como objetivo a identificação das respostas geofísicas sobre vários cenários de sepultamento em um solo e clima típicos do cerrado brasileiro, com o emprego dos métodos geofísicos GPR e Eletrorresistividade. O trabalho consiste em diferenciar as respostas geofísicas de diferentes envoltórios utilizados tipicamente em sepultamentos humanos, em períodos de precipitação e de seca, e ao longo do tempo.

Os tipos de sepultamentos foram escolhidos buscando representar as ocorrências típicas de enterro e ocultação, a saber: nu (sem vestimentas ou envoltório), lona plástica, lençol ou manta de algodão, cal hidratado, caixão de madeira, cimentado e restos de construção civil.

Para realização desta tese foi construído o Sítio Controlado de Geofísica Forense (SCGF-UnB) na Fazenda Universitária Água Limpa (FAL). O SCGF-UnB é composto por 14 covas, onde 7 cenários de sepultamento são compostos somente pelos envoltórios, e os outros 7 cenários de sepultamento com os mesmos envoltórios com acréscimo de carcaças de suínos. As informações das etapas da construção do SCGF-UnB são detalhadas no Capítulo 2.

As respostas geofísicas encontradas nestes diferentes cenários de sepultamento servirão para ajudar na comparação com outros casos onde não se tenha a informação de ocultação ou enterro. A aplicação dos métodos de GPR e de eletrorresistividade contribuirá na interpretação de dados e na escolha do melhor método e parâmetro adequado à situação de busca.

CAPÍTULO 2

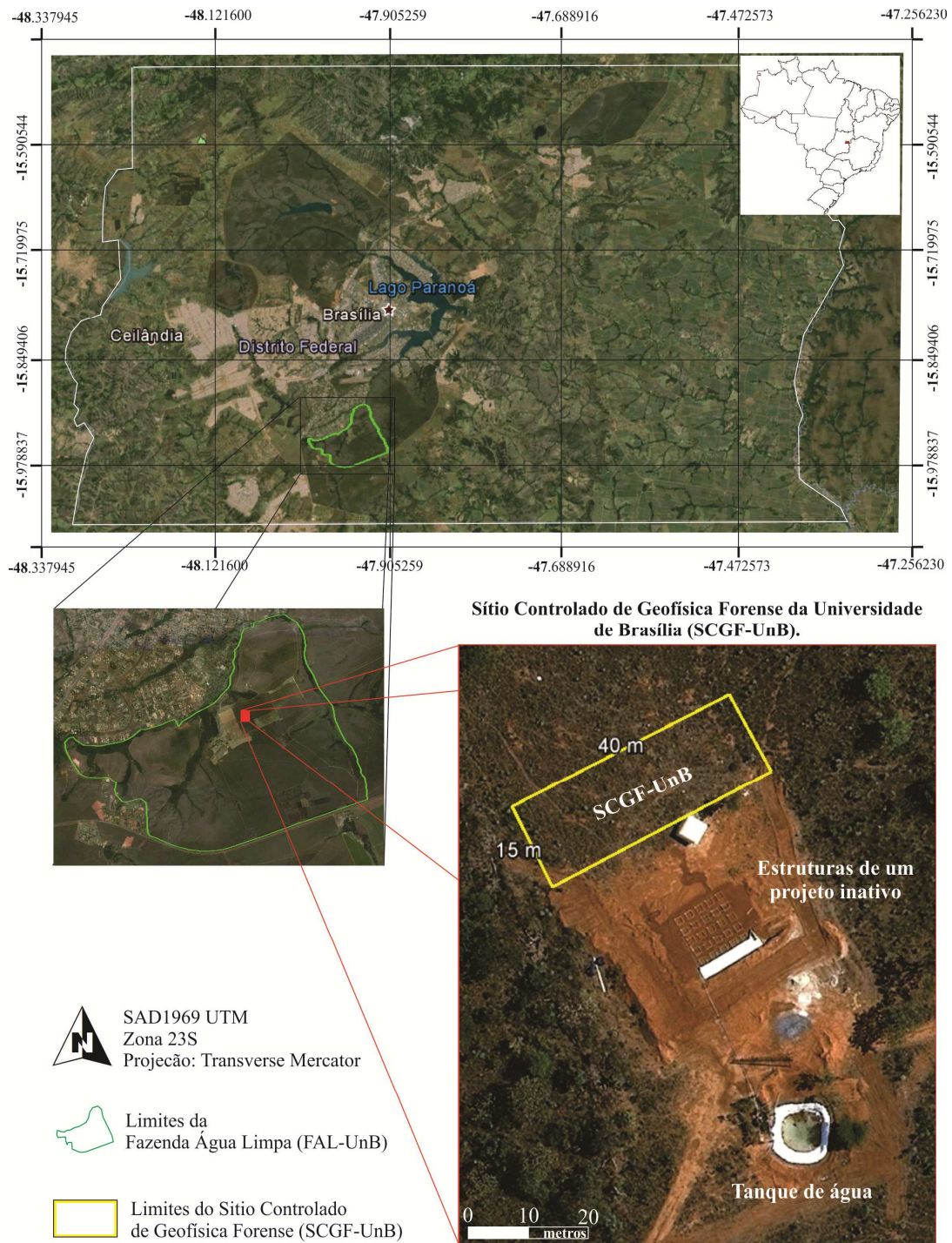
2 SÍTIO CONTROLADO DE GEOFÍSICA FORENSE – SCGF-UNB

2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

A implantação do Sítio Controlado de Geofísica Forense da Universidade de Brasília (SCGF-UnB) foi realizada em uma área da Fazenda Experimental da Universidade de Brasília (Fazenda Água Limpa – FAL/UnB). A área escolhida possui vegetação típica de cerrado composta por arbustos de pequeno a médio porte. O local possui algumas edificações de alvenaria como um tanque de água, que é abastecido por um riacho que se encontra em uma cota superior, além de algumas caixas de concreto e um pequeno abrigo construído anteriormente na área e que se encontra inativo. Na **Figura 2.1** está apresentada a localização do SCGF-UnB (quadrado amarelo) e sua posição na FAL/UnB, bem como as suas dimensões (40 m de comprimento por 15 m de largura – 600 m²).

Em termos geológicos a área do SCGF-UnB é composta por ardósia da Unidade A e por metarritmito arenosos da Unidade R₃ do Grupo Paranoá. Conforme Freitas-Silva e Campos (1998), o Grupo Paranoá é a unidade geológica que ocupa a maior área no Distrito Federal; ela é dividida em oito unidades estratigráficas. Os cavalgamentos ocasionaram inversões estratigráficas no DF, onde o Grupo Canastra ocorre sobre os grupos Paranoá e Bambuí, o Grupo Paranoá sobre o Grupo Bambuí e o Grupo Araxá sobre o Grupo Paranoá. Segundo Freitas-Silva e Campos (1998) os grupos Canastra e Paranoá são unidades cronocorrelatas dispostas lateralmente, e os grupos Araxá e Bambuí possuem sedimentações cronocorrelatas depositadas em bacias, formando porções mais internas e externas, dentro da Faixa Brasília.

A área da FAL-UnB está localizada sobre as unidades estratigráficas Ardósia e Metarrilitmo Argiloso, conforme mostra o mapa geológico do Distrito Federal (**Figura 2.2**).



Fonte: Google Earth, 2008.

Figura 2.1 – Mapa de localização da área do Sítio Controlado de Geofísica Forense da UnB (quadrado amarelo), dentro dos limites da Fazenda Experimental da UnB (polígono verde) na região de Brasília, Distrito Federal – DF.

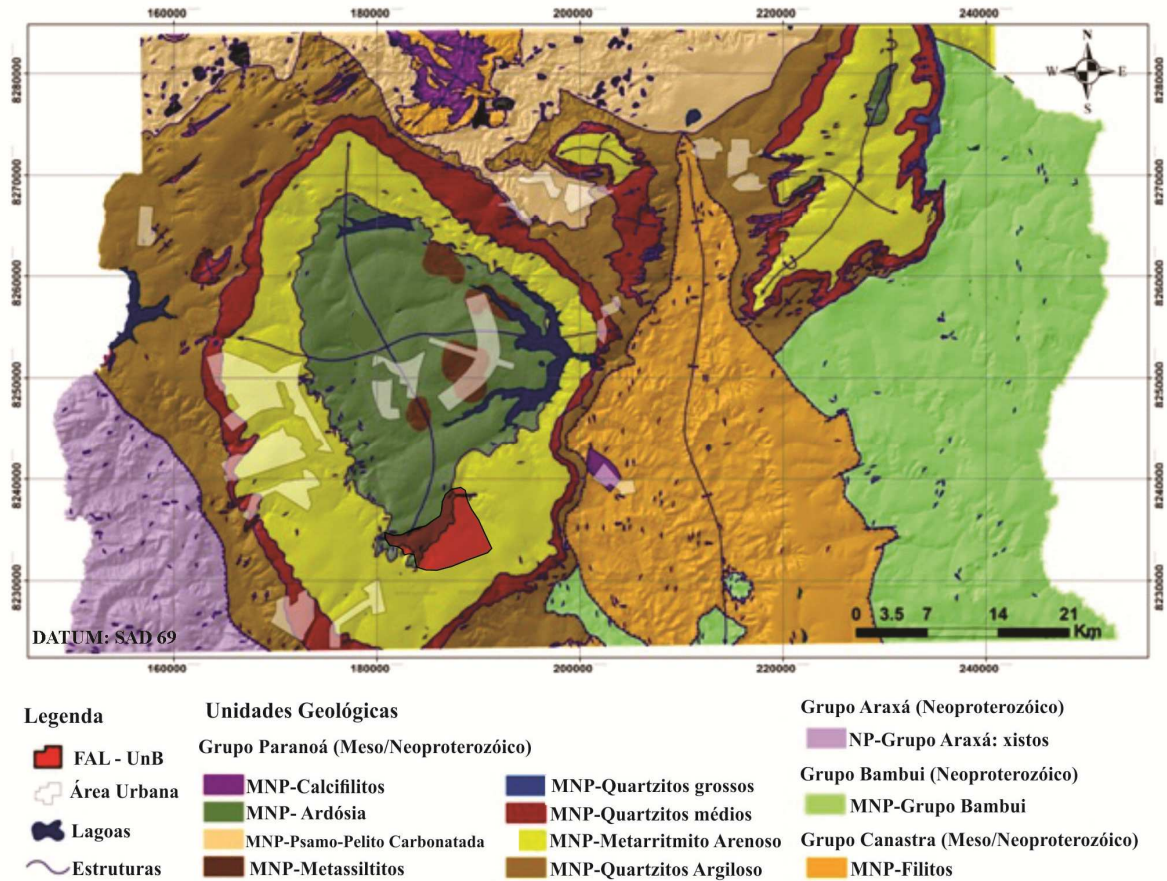


Figura 2.2 – Mapa geológico do Distrito Federal. Adaptado de Freitas e Campos (1998). Área da FAL-UnB representada por figura geométrica vermelha.

Conforme o mapa de pedoambientes da FAL gerado por Lacerda et al. (2007), esta se encontra em área de ocorrência de latossolo vermelho, com declividade de 0 a 3% (**Figura 2.3**).

O clima na região do Distrito Federal, onde se encontra a SCGF-UnB, enquadra-se na classificação de Köppen, entre os tipos tropical de savana e temperado chuvoso de inverno seco, caracterizado por duas estações bem nítidas: uma chuvosa e quente, nos períodos de outubro e abril, e outra fria e seca, de maio a setembro. A temperatura pode chegar a 12° C, nos meses mais frios, ou ser superior a 28,5° C, nos meses mais quentes. A precipitação média anual é de 1.600 mm (CODEPLAN, 1984). A FAL-UnB possui uma área experimental de Agroclimatologia, composta por duas estações meteorológicas automáticas e uma estação meteorológica convencional. Os dados são coletados diariamente e disponibilizados em um boletim mensal, que podem ser acessados via

internet pelo site: www.fav.unb.br/86-faculdade-veterinaria/128-base-de-dados-estacao-automatica-dados-diarios.

Na **Figura 2.4** são apresentados os gráficos de radiação global mensal, temperatura do ar, precipitação mensal e umidade relativa do ar ocorridos no ano de 2014, na área da FAL-UnB.

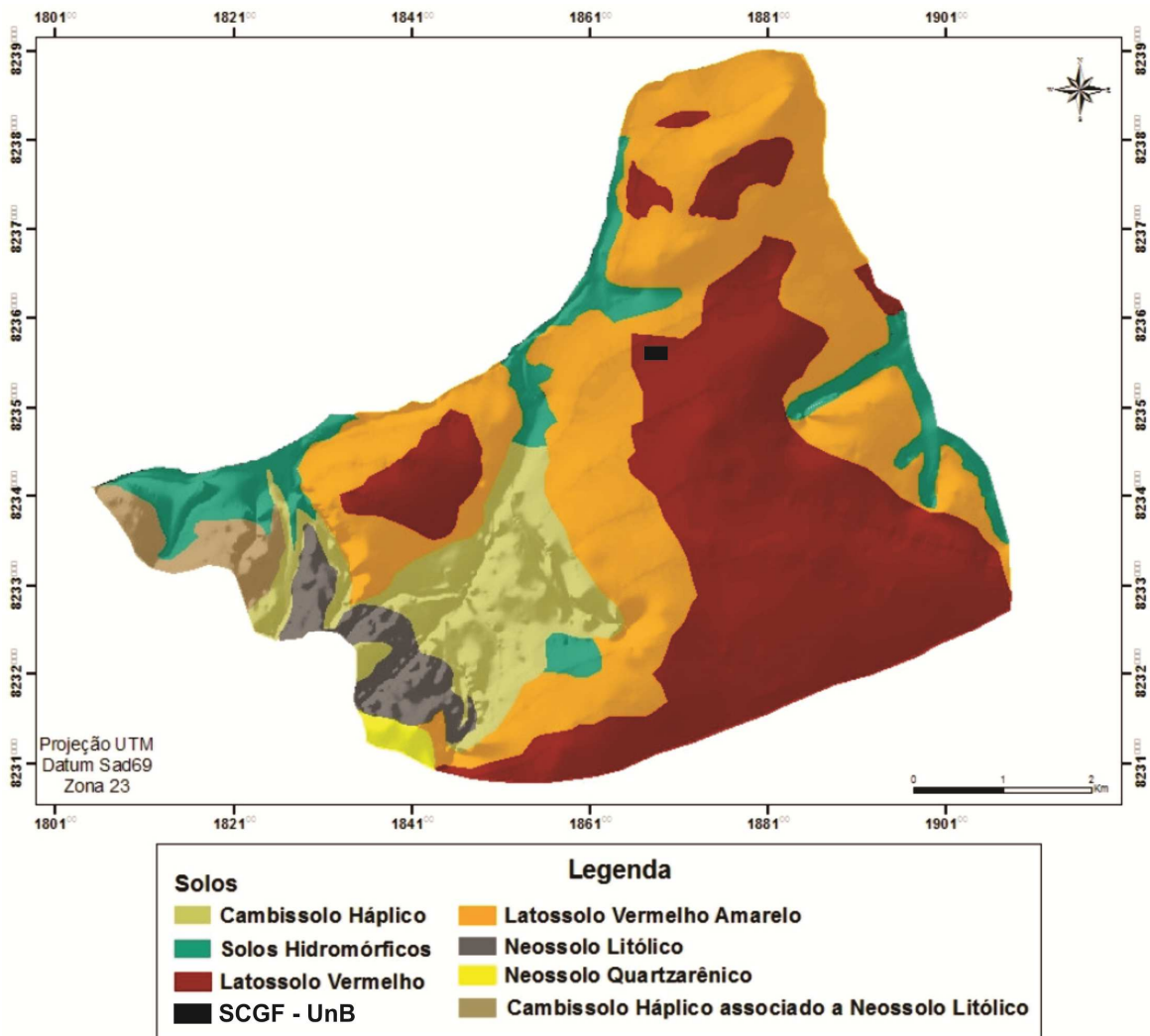


Figura 2.3 – Mapa de solos da Fazenda Água Limpa, DF. A área do SCGF-UnB está indicada pelo retângulo preto. Fonte: (LACERDA et al., 2007).

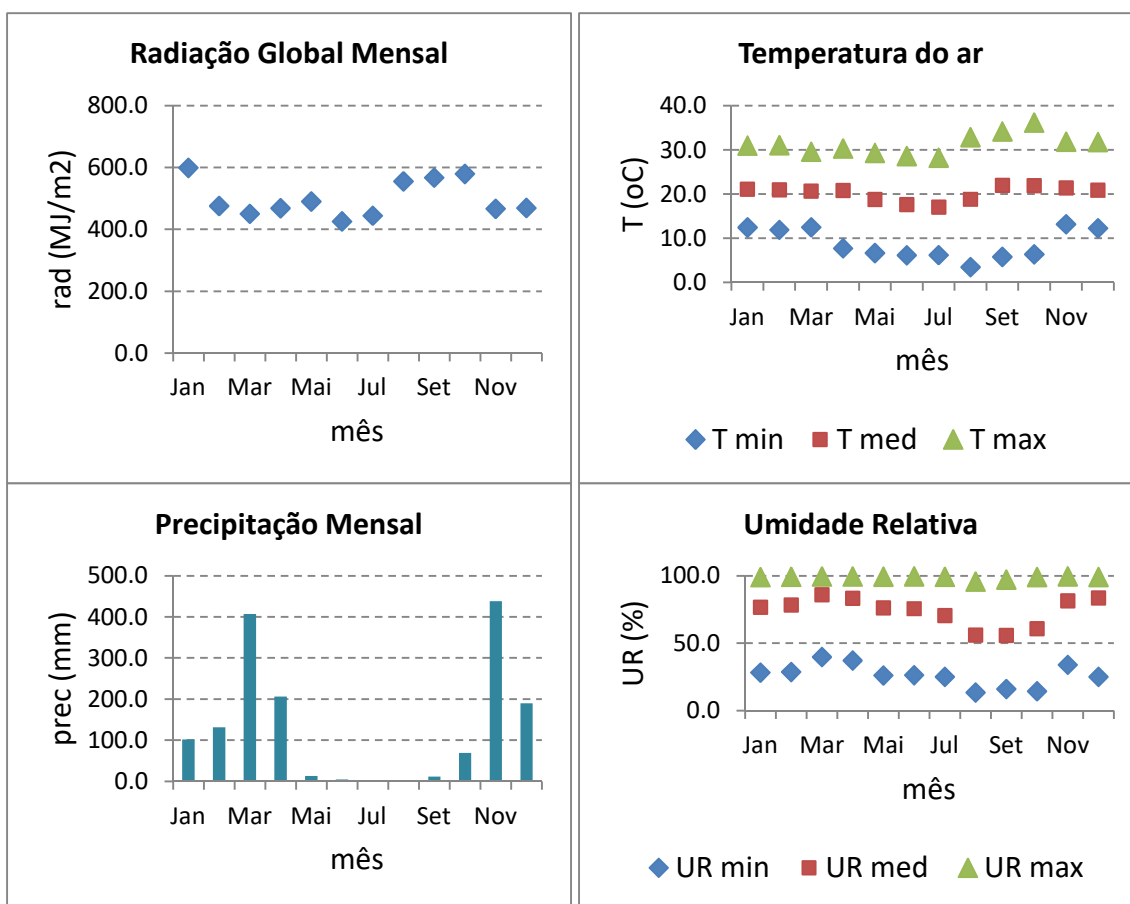


Figura 2.4 – Gráficos de radiação global mensal, temperatura do ar, precipitação mensal e umidade relativa do ar no ano de 2014, medidos na FAL-UnB (FAV, 2016) .

2.2 IMPLANTAÇÃO DO SCGF – UNB

Na área do SCGF-UnB foram instalados marcos topográfico para delimitação da área, realizados o nivelamento topográfico e o posicionamento de obstáculos que não seriam suprimidos, tais como cercas, árvores e arbustos de porte médio, e construções de alvenaria (**Figura 2.5a-d**). Este trabalho foi realizado pela empresa GTOP Engenharia e Topografia, sem custos. O mapa topográfico resultante (Figura 2.5e) mostra que a área do SCGF-UnB possui pequena inclinação e consequente escoamento de água para Noroeste. Esta informação permitiu determinar um melhor posicionamento das covas, com carcaça de suíno, para que a migração de necrochorume não causasse interferência em outras covas.

Após o trabalho topográfico deu-se início aos levantamentos geofísicos do *background* (BG) da área do SCGF-UnB, com os métodos de Eletroresistividade (**Figuras 2.6a e 2.6b**) e GPR com antenas de 250, 400 e 700 MHz (**Figuras 2.6c e 2.6d**).

Os resultados obtidos pelas aquisições do BG da área do SCGF-UnB serão apresentados no Capítulo 6.

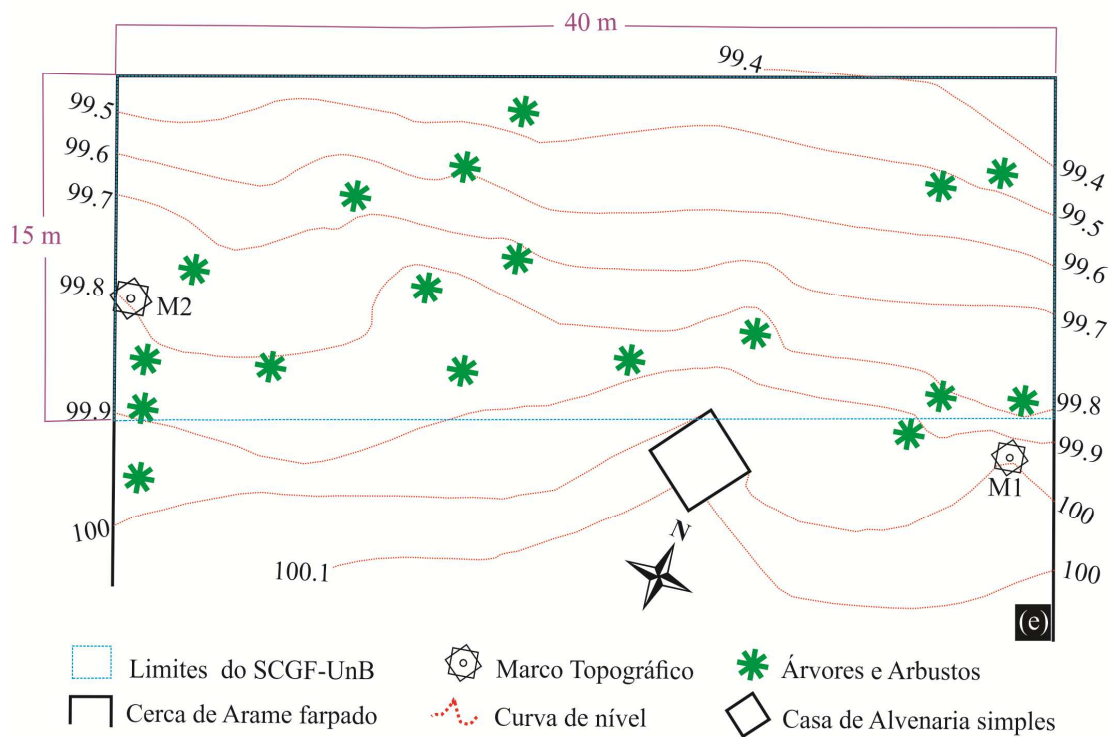


Figura 2.5 – (a) e (b) Fotos da instalação dos marcos, (c) e (d) levantamento da topografia. (e) Mapa topográfico da área do SCGF da UnB.

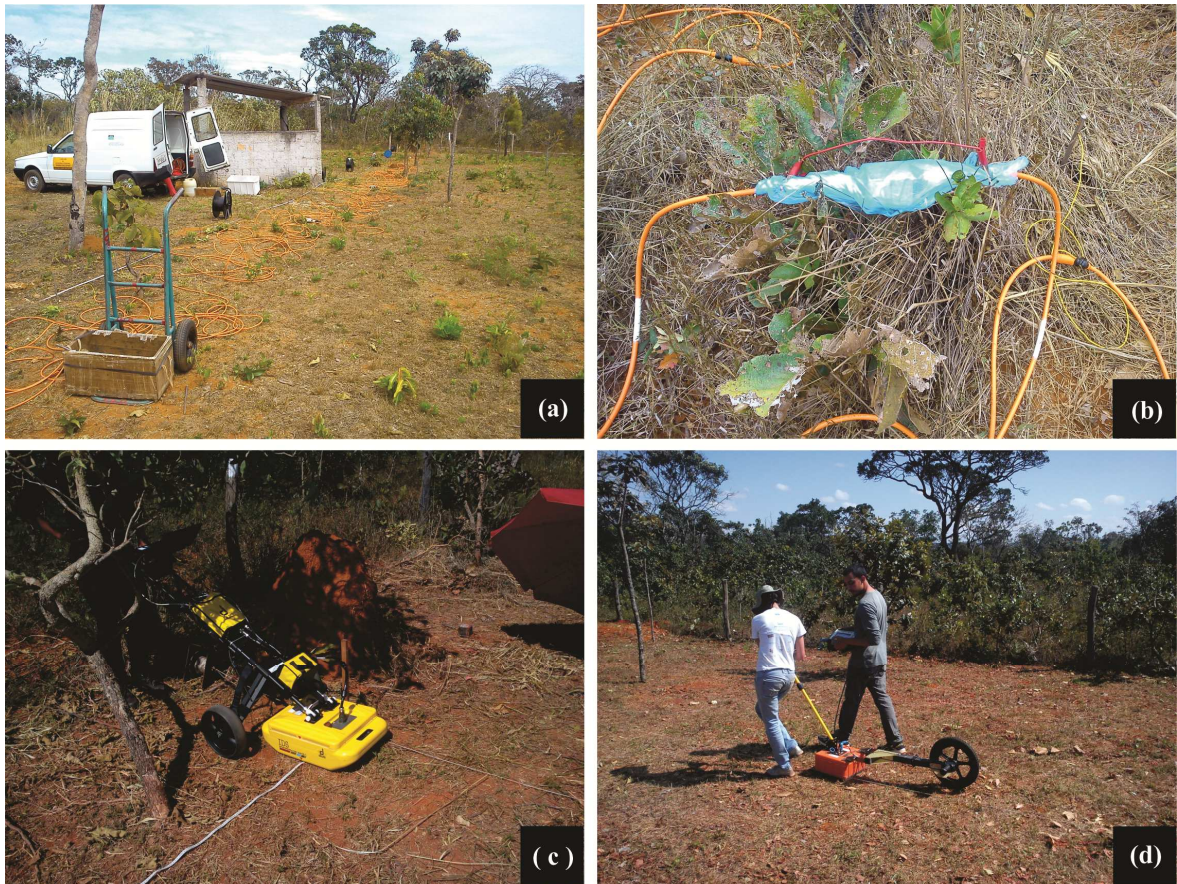


Figura 2.6 – Aquisição dos dados geofísicos do BG no SCGF-UnB de: (a) e (b) Eletrorresistividade, e GPR (c) equipamento de GPR de dupla frequência (250 e 700 MHz) e (d) equipamento de GPR de 400 MHz.

Uma modelagem do padrão de irradiação das linhas de corrente elétrica no meio foi realizada para guiar a implantação dos alvos de modo a evitar interferência entre respostas de Eletrorresistividade produzidas por alvos vizinhos. Para realizar estas modelagens utilizou-se o software RES2Dmod (GEOTOMO, 2003). A modelagem foi realizada para três diferentes espaços de distribuição das covas (3 m, 5 m e 10 m). A distância escolhida entre as covas foi de 3 m.

Os alvos na área do SCGF-UnB foram distribuídos em duas fileiras espaçadas de 3 m, cada uma com nove covas separadas também de 3 m, totalizando 18 covas (**Figura 2.7**). A primeira fileira ficou composta por covas contendo 7 diferentes tipos de envoltórios: cova com solo remexido, lona plástica, lençol, resto de construção, cimento, caixão de madeira e cal virgem. Na segunda fileira, as covas compreendem os mesmos materiais na mesma ordem da primeira fileira, mas envolvendo as carcaças de suíno. Cada

fileira ficou com duas covas, sem uso, para futuras simulações de sepultamentos (em azul na Figura 2.7).

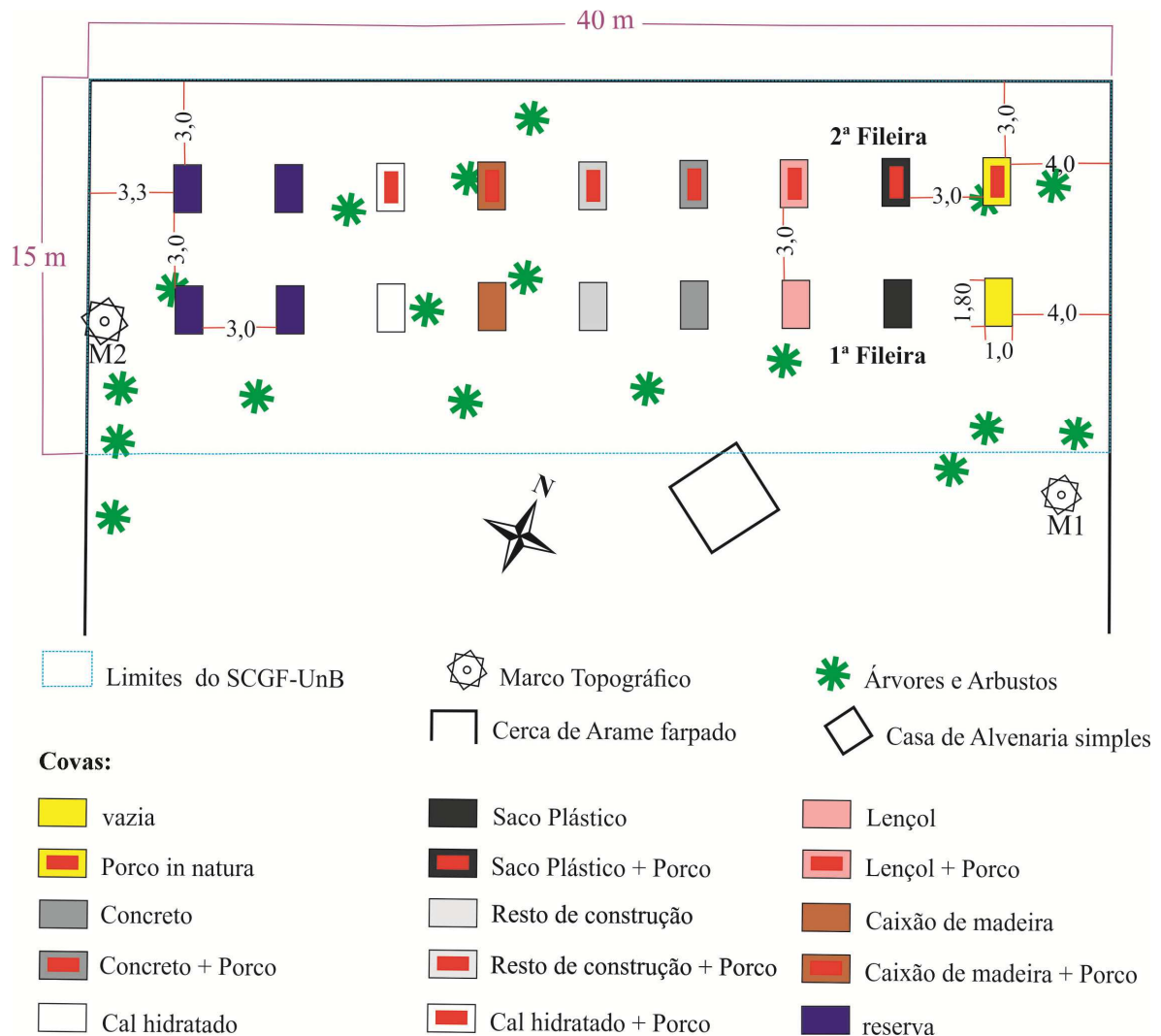


Figura 2.7 – Disposição das covas indicando cada um dos cenários de sepultamento na área do SCGF-UnB.

Todas as 14 covas foram escavadas com retroescavadeira (**Figura 2.8**), e com ferramentas manuais (enxada, alavanca e pá) foram acertadas as bordas e fundo das covas para as dimensões 1 m x 1,8 m x 1,0 m (**Figura 2.8d e Figura 2.8e**).

Durante as escavações observou-se que o solo é uniforme, com presença de algumas raízes. Foram coletadas amostras compostas de solo em duas profundidades: 0 – 0,50 m e 0,50 – 1,0 m. Os resultados revelaram elevados valores de massa específica e umidade na amostra de 0,50 a 1,0 m. Esta tendência de maiores concentrações de massa específica e umidade é comentada por Moraes (2009), que analisou o Latossolo vermelho,

em uma área da Fazenda Água Limpa, encontrando o aumento da porcentagem de argila com o aumento da profundidade, enquanto as porcentagens de areia e silte diminuíram. O solo foi caracterizado como argiloso laterítico. As tabelas e gráficos dos valores de massa específica e umidade encontram-se no anexo 2.



Figura 2.8 – Fotos da área do SCGF-UnB. (a) Antes das escavações com (b) detalhe das demarcações dos limites das covas. Durante (c) escavação com retroescavadeira e (d) correção das bordas e fundo das covas com detalhe de (e) uso de régua topográfica para controle da profundidade. (f) Após as escavações.

Após a escavação, os alvos foram sepultados demandando um dia para cada duas covas, totalizando quatro dias para a execução do trabalho. Este tempo foi necessário devido aos cuidados que foram tomados para controlar a geometria do posicionamento dos alvos dentro das covas.

As carcaças de suíno foram doadas pela Fazenda Umburana, uma das maiores granjas de suinocultura do Centro-Oeste. Os suínos utilizados foram aqueles descartados por morte súbita (estresse ou torção gástrica). Antes de serem sepultadas, as carcaças passaram por pesagem (**Figura 2.9a**) e medições de comprimento (focinho até o lombo), circunferências da cabeça, tórax, barriga e lombo (**Figura 2.9b a 2.9c**). As informações das medidas foram reunidas no Anexo 1 (tabela de informações dos alvos).

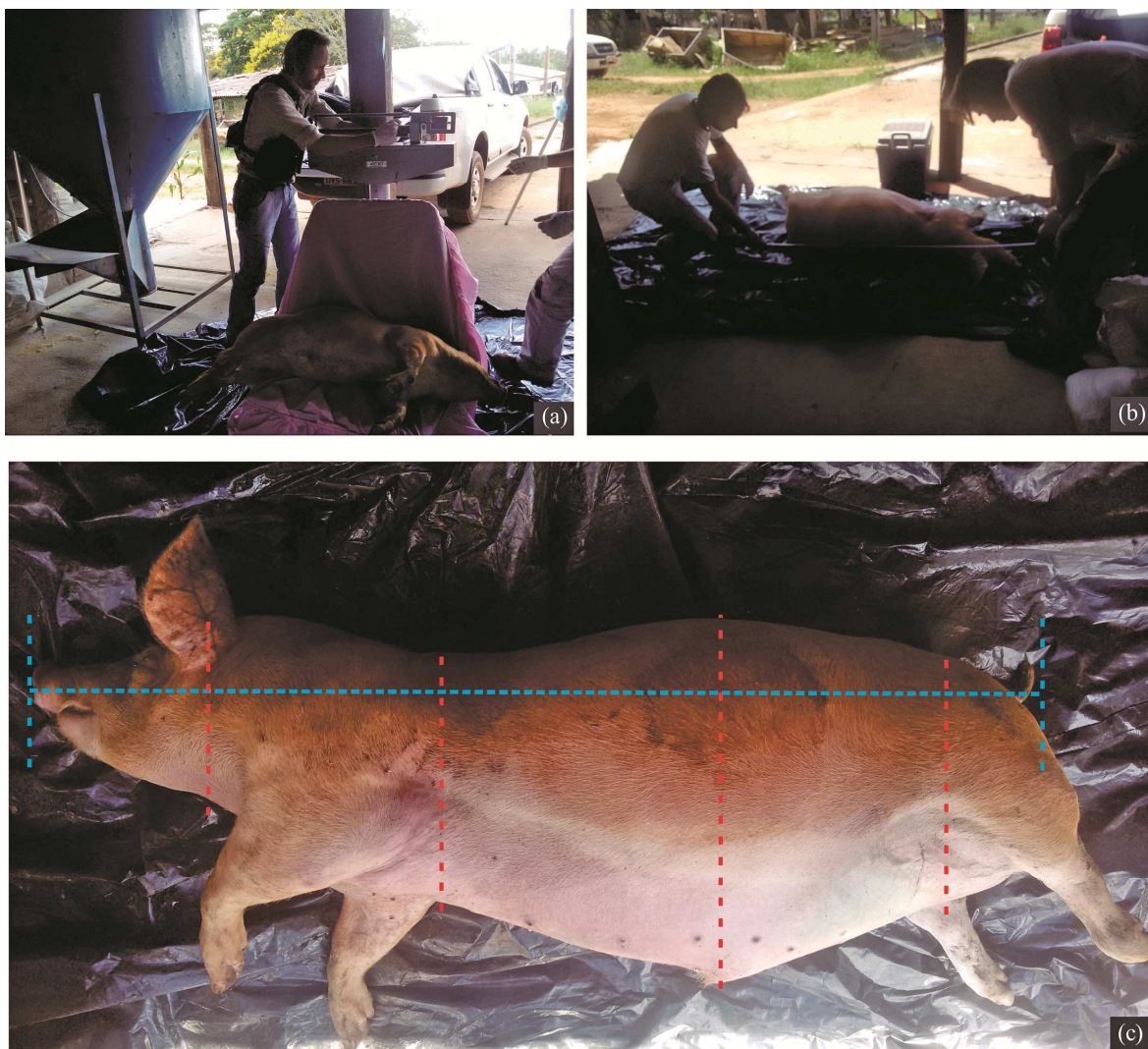


Figura 2.9 – (a) Pesagem da carcaça de suíno. (b) Medição das dimensões da carcaça. (c) Zonas de medição: tamanho (linha tracejada azul) e circunferências: cabeça, tórax, barriga e lombo (linha tracejada vermelha).

Todas as carcaças de suíno foram dispostas, dentro das covas, com o focinho apontando para o sudeste e a barriga virada para nordeste (**Figura 2.10a**). Com uso de um teodolito e mira topográfica foram anotadas as profundidades das covas, carcaças e dos envoltórios (**Figura 2.10b** e **Figura 2.10c**), com uso de uma trena foram anotadas as distâncias da carcaça e dos envoltórios em relação às paredes da cova (**Figura 2.10d**). Todos esses procedimentos foram repetidos individualmente em todos os demais cenários de sepultamento. As informações das medidas dos envoltórios, carcaças e covas podem ser vistas no Anexo 1 (tabela de informações dos alvos).



Figura 2.10 – (a) Posição da carcaça de suíno na cova. (b) e (c) Registro da profundidade do alvo com equipamentos topográficos. (d) Medição distância alvo-parede da cova.

Nas **Figura 2.11** e **Figura 2.12** é possível observar a distribuição dos alvos e as características dos diferentes cenários de sepultamento realizados na área do SCGF-UnB.

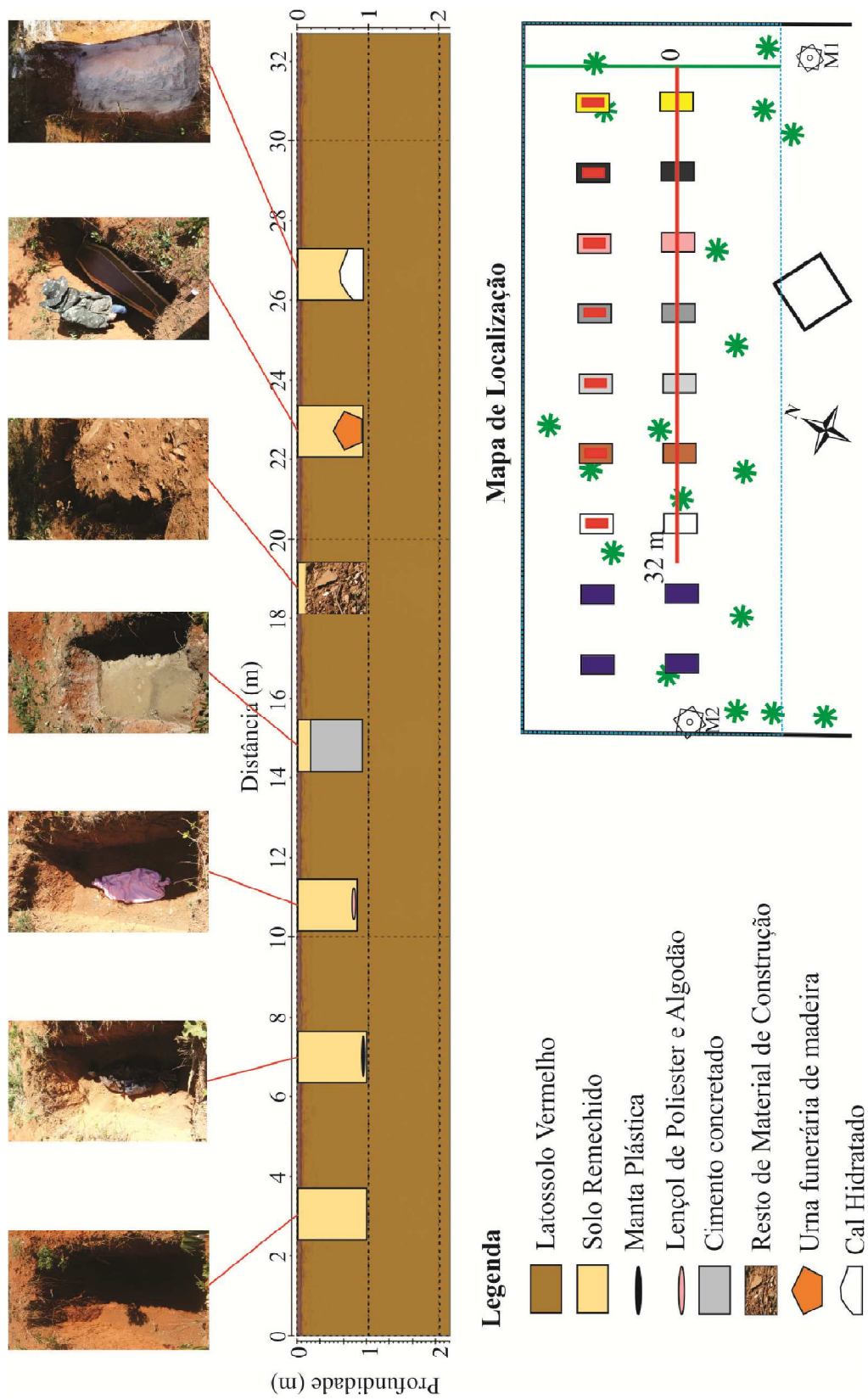


Figura 2.11 – Acomodação e posicionamento dos materiais empregados nos sepultamentos na área SCGF-UnB.

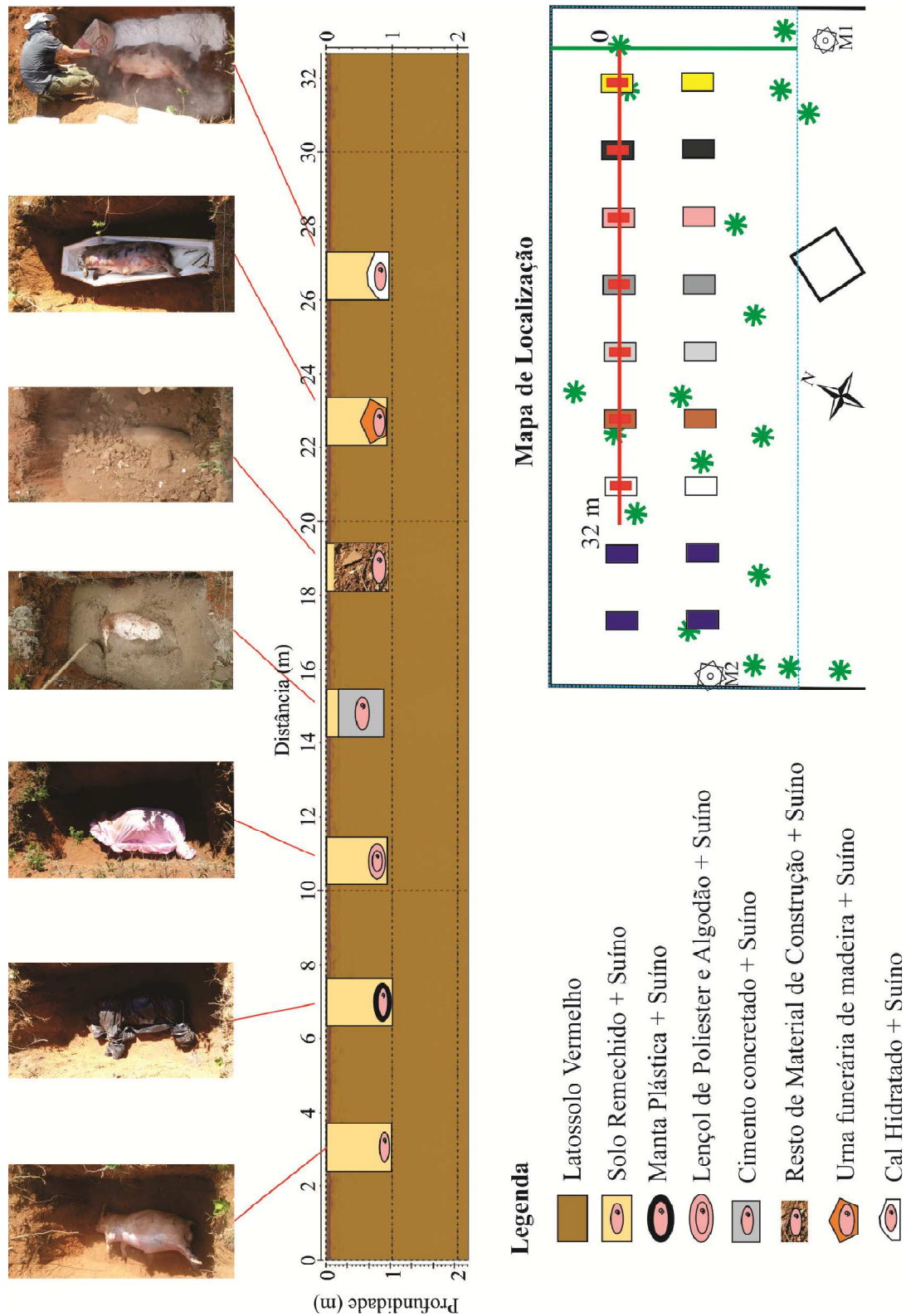


Figura 2.12 - Acomodação e posicionamento dos materiais, junto com as carcaças de suíno empregados nos sepultamentos na área SCGF-UnB.

Os alvos foram enterrados inicialmente com o uso de equipamento manual, com a intenção de preencher todos os espaços, evitando espaços vazios ao redor dos alvos (**Figura 2.13a**). Com a finalidade de identificar os limites das covas, após o sepultamento, foram colocados vergalhões de ferro de 10 mm com 1,80 m de comprimento nas laterais das covas e na profundidade de 0,25 m, em relação ao topo da cova (**Figura 2.13b**). Para finalizar o sepultamento foi usado um trator para nivelar o solo da área do SCGF-UnB, com o cuidado de não transitar sobre as covas (**Figura 2.13c**). No Anexo 2 são apresentadas todas as medidas e características dos diferentes cenários de sepultamento simulados na área do SCGF-UnB.



Figura 2.13 – (a) Trabalho manual com enxada no cobrimento do alvo. (b) Covas com os vergalhões dispostos nas laterais a uma profundidade de 0,25 m. (c) Uso do trator para finalizar o cobrimento da cova e nivelamento da área escavada.

CAPÍTULO 3

3 FUNDAMENTAÇÃO

3.1 GPR

3.1.1 Generalidade

O GPR é um método eletromagnético que emprega ondas de rádio em frequências normalmente entre 10MHz a 3.000 MHz para delimitar estruturas e feições geológicas rasas de subsuperfície ou localizar materiais enterrados pelo homem (PORSANI, 1999). A metodologia do GPR é análoga à técnica de reflexão sísmica e a técnica de sonar, mas emprega ondas eletromagnéticas (ANNAN, 2001; DANIELS, 1989; PRADO, 2000).

O método GPR se utiliza da propagação do sinal eletromagnético (EM) repetidamente radiados para dentro da Terra por uma antena transmissora colocada na superfície. A propagação do sinal EM é subordinada à frequência do sinal emitido e também às propriedades elétricas dos materiais, as quais são principalmente dependentes do conteúdo de água presente no solo (TOPP et al., 1980). Quanto maior o conteúdo de água e/ou argila maior será a atenuação do sinal da onda EM. As mudanças das propriedades elétricas em subsuperfície faz com que parte do sinal seja refletida. As ondas de radar refletidas e difratadas em subsuperfície são recebidas através de outra antena, denominada de antena receptora, também colocada na superfície (**Figura 3.1**) (BORGES, 2007).

A energia refletida é gravada em função do tempo de atraso, amplificada, digitalizada e armazenada no disco rígido de um computador notebook (DAVIS e ANNAN, 1989). Após o processamento dos dados, os pulsos gravados são exibidos como ondas eletromagnéticas, com a amplitude da onda e o tempo decorrido entre transmissão e reflexão (que pode ser transformado em profundidade conhecendo-se a velocidade das ondas no meio), fornecendo uma imagem de alta resolução da subsuperfície, conhecida como radargrama (**Figura 3.2**).

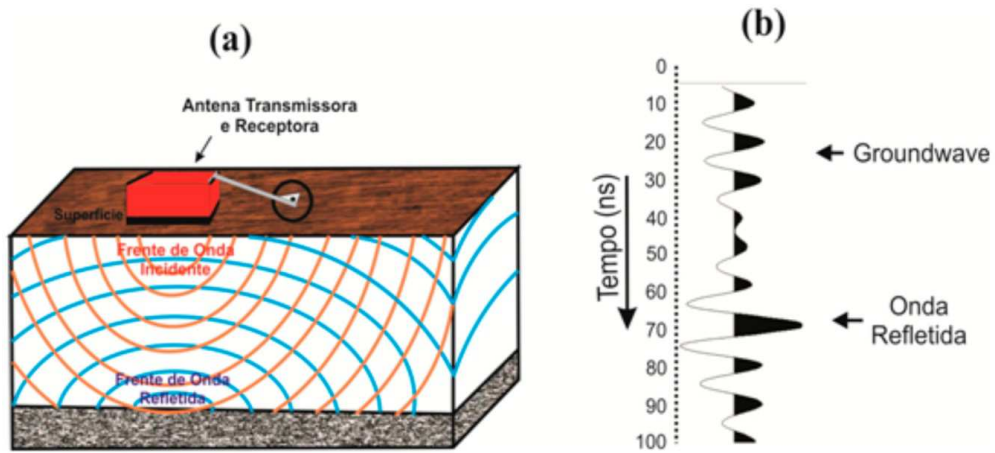


Figura 3.1 – (a) Antena blindada de GPR (modo biestático) com o comportamento das frentes de onda. (b) Traço esquemático mostrando as chegadas das principais frentes de onda do GPR.

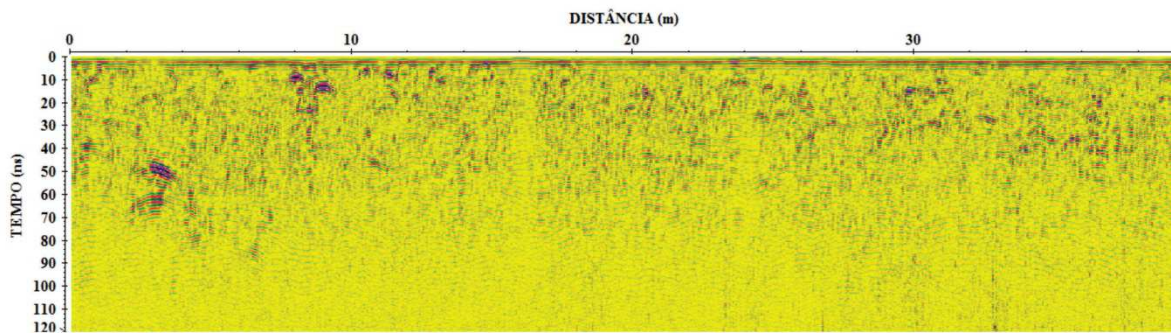


Figura 3.2 – Radargrama obtido com antena de 200 MHz blindada.

3.1.2 Efeito das Propriedades Eletromagnéticas

A ocorrência de um campo elétrico (\vec{E}) no terreno provoca a movimentação de cargas elétricas (corrente elétrica) na subsuperfície. Existem dois tipos de corrente: corrente de condução e de deslocamento (**Figura 3.3**).

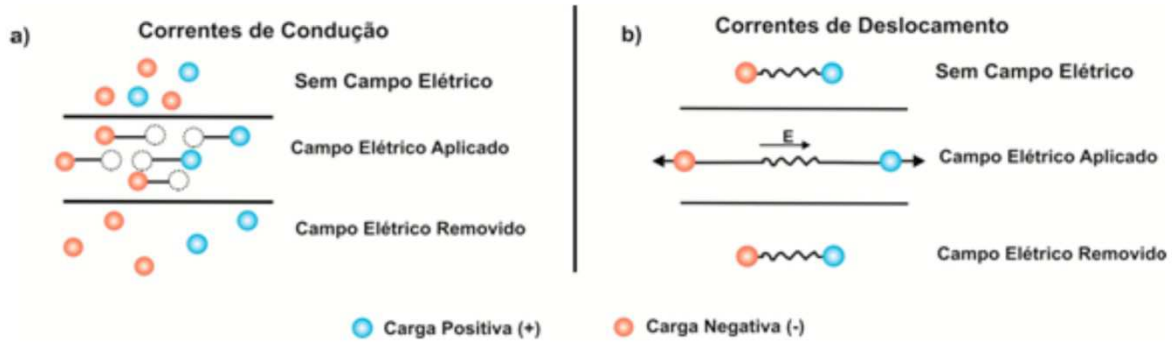


Figura 3.3 – Efeito da presença de campo EM na distribuição de cargas em um corpo condutor: a) distribuição de cargas por condução; b) distribuição de cargas por deslocamento (modificado de ANNAN, 2001).

Em baixas frequências (menores que 1 MHz), utilizadas na maioria dos estudos eletromagnéticos, a indução das correntes elétricas no solo está associada ao processo de difusão do campo eletromagnético, sendo desprezível as correntes de deslocamento e consideradas somente as correntes de condução. Em altas frequências, contudo, ambas as correntes devem ser consideradas (WARD & HOHMANN,1987; DANIELS,1989)

Ao se aplicar um campo elétrico (\vec{E}) em um material, inicia-se a distribuição do momento dipolo, sendo a separação de cargas descrita em termos da densidade do momento dipolo (\vec{D}) (**Equação 3.1**), em que ϵ é a permissividade dielétrica, a propriedade que descreve como o campo elétrico interage com o meio ;

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E} . \quad (\text{Eq. 3.1})$$

A ocorrência do momento dipolo em um material está associada à movimentação de cargas, e, por conseguinte há ocorrência de dois tipos de correntes elétricas. A corrente de deslocamento (\vec{J}_D), que é dada pela variação da densidade de momento dipolo em relação ao tempo (**Equação 3.2**),

$$\vec{J}_D = \frac{d\vec{D}}{dt} \therefore \vec{J}_D = \frac{d(\epsilon \cdot \vec{E})}{dt} \rightarrow \vec{J}_D = \epsilon \cdot \frac{d\vec{E}}{dt} . \quad (\text{Eq. 3.2})$$

A corrente de condução (\vec{J}_C) é o produto entre a condutividade e o campo elétrico (**Equação 3.3**), em que σ é a condutividade elétrica, propriedade intrínseca de um material que quantifica como ele permite o fluxo de uma corrente elétrica.

$$\vec{J}_C = \sigma \cdot \vec{E} . \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Materiais presentes no solo, com alta capacidade de troca de cátions, absorvem a energia do radar gerando atenuação.

A corrente total (\vec{J}_T) que flui em um material natural é uma resposta à aplicação de um campo elétrico e a composição das correntes de deslocamento e de condução (**Equação 3.4**).

$$\vec{J}_T = \varepsilon \cdot \frac{d\vec{E}}{dt} + \sigma \cdot \vec{E} . \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Em estruturas com condutividade e permissividade dielétricas constantes, existe uma frequência de transição (F_t), na qual $\vec{J}_C = \vec{J}_D$. Para frequências acima da frequência de transição (F_t), a corrente por deslocamento (\vec{J}_D) é predominante (ANNAN, 2001). As correntes de deslocamento se caracterizam por se propagarem como onda com pouca ou nenhuma dispersão de frequência angular de excitação (ω) dada por:

$$\omega = \frac{\sigma}{\varepsilon} . \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Para um material simples, a frequência de transição (F_t) é definida por::

$$F_t = \frac{\sigma}{2\pi\varepsilon} . \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Para frequências abaixo da F_t , a corrente por condução (\vec{J}_C) é predominante, e a energia se difunde para o material.

Na frequências acima de F_t , a velocidade (V) e a atenuação (α) das ondas são relacionadas com a permissividade dielétrica relativa (ε_r) e com a condutividade elétrica como segue (ANNAN, 2001, **Figura 3.4**):

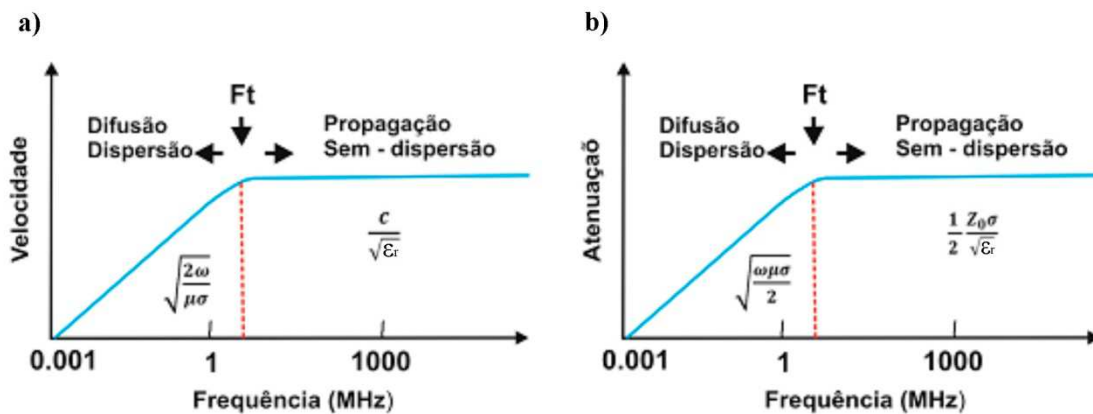
$$V = c/\sqrt{\varepsilon_r} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (\text{Eq. 3.7})$$

$$\alpha = 1,64 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{\varepsilon_r}} . \quad (\text{Eq. 3.8})$$

A **Tabela 3.1** mostra a permissividade dielétrica relativa (ou constante dielétrica) e a condutividade elétrica de alguns materiais comuns, com base em experimentos práticos com as frequências do GPR. $\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$, em que ε é a permissividade dielétrica do material (F/m) e ε_0 , a permissividade dielétrica do vácuo ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m).

Tabela 3.1 - Permissividade dielétrica relativa (ϵ_r) e condutividade elétrica (σ) de materiais comuns para as frequências utilizadas no GPR (compilado por PORSANI, 1999).

Materiais secos	ϵ_r	σ (mS/m)	Materiais Saturados	ϵ_r	σ (mS/m)
Ar	1	0	Água destilada	81	0,01
Areia seca e cascalho	2 – 6	0,01	Água fresca	81	0,5
Argila	5	2	Água do mar	81	3.000
Folhelho e siltito	5	1	Areia	20 – 30	0,1 – 1
Calcário	4	0,5	Silte saturado	10	1 – 10
Solo arenoso	2,6	0,14	Argila	40	1000
Solo argiloso	2,4	0,27	Solo arenoso	25	6,9
Sal	5 – 6	0,01 – 1	Solo argiloso	15	50
Granito	5	0,01	Arenito	20 – 30	40
Basalto	6	1	Siltito	30	100
Diabásio	7	10	Folhelho	7	100
Ferro	1	10^9	Calcário	8	2
Aço	1	∞	Granito	7	1
PVC	8	0	Basalto	8	10
Asfalto	3 – 5	0	Diabásio	8	100
Concreto	5,5	0	Concreto	12,5	0???

**Figura 3.4** – Gráfico de variação da velocidade e da atenuação como logaritmo da frequência, mostrando a frequência de transição (F_t), e as zonas de dispersão e de propagação das ondas EM (JOL, 2009).

Conforme Annan (2001), a condutividade elétrica e a permissividade dielétrica são importantes no método GPR, porque afetam diretamente a atenuação e a propagação das ondas de radar.

A terceira propriedade eletromagnética é a permeabilidade magnética (μ), uma medida da capacidade dos momentos dipolares presentes nos átomos de, ao ser submetido a campo magnético externo, serem movidos de sua orientação e alinharem-se com o campo aplicado.

A passagem da corrente elétrica no meio produz uma excitação magnética denominada de campo magnético H que origina uma indução magnética B (**Equação 3.9**) dada por:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (\text{Eq. 3.9})$$

em que a permeabilidade magnética do meio é a constante de proporcionalidade entre esses dois meios. A permeabilidade magnética raramente tem importância nas aplicações do GPR. Ela é assumida como sendo igual à permeabilidade magnética do vácuo ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m).

O sinal GPR reflete variadas escalas de heterogeneidade das propriedades eletromagnéticas do meio. Heterogeneidades pequenas geram respostas fracas e indetectáveis do sinal, porque a energia EM dispersa em várias direções ao passar pela mesma.

3.1.3 Coeficiente de Reflexão

Nos estudos de GPR, as ondas EM se propagam com uma incidência normal às interfaces das camadas (ANNAN, 2001). As propriedades eletromagnéticas são diferentes em cada camada causando uma forte impedância nas interfaces, e deste modo a quantidade do sinal é refletida e expressa pelo coeficiente de reflexão (WARD e HOHMANN, 1987; PORSANI, 1999).

A amplitude do coeficiente de reflexão pode ser descrita em termos da impedância elétrica (Z). Uma onda se propagando através de um meio sofre atenuação com a profundidade até encontrar uma interface de contraste na impedância elétrica, onde é parcialmente refletida. A impedância (Z) é definida pela relação entre o campo elétrico \vec{E} e o campo magnético (\vec{H}), ortogonais entre si (ANNAN, 2001).

$$Z = \left| \frac{E}{H} \right| . \quad (\text{Eq. 3.10})$$

Na superfície, a impedância é expressa por

$$Z = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma + i\omega\mu}} , \quad (\text{Eq. 3.11})$$

com $i = \sqrt{-1}$.

Segundo Annan (2001), para um ângulo de incidência da onda EM perpendicular à superfície (incidência normal), a amplitude do coeficiente de reflexão (r_{GPR}) é expressa por:

$$r_{\text{GPR}} = \frac{\sqrt{\sigma_1 + i\omega\varepsilon_1} - \sqrt{\sigma_2 + i\omega\varepsilon_2}}{\sqrt{\sigma_1 + i\omega\varepsilon_1} + \sqrt{\sigma_2 + i\omega\varepsilon_2}}. \quad (\text{Eq. 3.12})$$

Em meios de baixa perda, ou seja, com condutividade menor a 100 mS/m, o coeficiente de reflexão é dado por:

$$r_{\text{GPR}} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}} = r_{\text{GPR}} \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \quad (\text{Eq. 3.13})$$

sendo ε_1 e ε_2 as constantes dielétricas das camadas 1 e 2 e a relação em termos de velocidade obtida usando-se a equação 3.7.

3.1.4 Profundidade de Penetração e Resolução

A profundidade de investigação do GPR é influenciada pela atenuação da energia da onda EM, durante a sua propagação. Duke (1990) descreve quatro tipos diferentes de perdas por atenuação: espalhamento geométrico, perdas por difusão, condução elétrica e polarização.

O sinal atenua na razão de $1/e$ do valor inicial (37%) com a profundidade. Essa relação é conhecida como *skin depth* (δ). Em materiais com alta condutividade elétrica, tem-se um baixo valor de δ , enquanto com materiais com baixa condutividade elétrica, ocorre um aumento do δ , proporcionando uma maior profundidade de investigação (REYNOLDS, 1997).

A profundidade de investigação e a resolução do GPR variam de acordo com a frequência da antena. Quanto maior a frequência, menor a profundidade de investigação (**Tabela. 3.2**) e maior a resolução (**Tabela. 3.3**), ou seja, a capacidade de distinguir dois sinais gerados por alvos refletores próximos um do outro na vertical (resolução vertical) ou na horizontal (resolução horizontal).

As antenas do GPR são projetadas para atuar entre as faixas de 0,5 (frequência mínima) até 1,5 (frequência máxima) da frequência central (f_c). A frequência central tem um papel importante no entendimento da profundidade de penetração da onda eletromagnética em subsuperfície bem como da resolução.

Tabela 3.2 – Frequência versus profundidade de penetração (MALA, 1997 e BORGES, 2007).

Frequência Central (MHz)	10	25	50	100	200	400	500	1000
Profundidade de Penetração (m)	50	40	30	25	3,4	1,6	1,5	0,8

A perda por espalhamento geométrico é independente do meio e corresponde à perda de imagem que a frente de onda sofre ao se espalhar esfericamente.

A perda por difusão é causada pela heterogeneidade dos materiais com o tamanho próximo ao comprimento de onda, provocados por: porosidade, contatos litológicos, buracos na subsuperfície feitos por animais e insetos.

O comprimento de onda λ é subordinado à frequência empregada e a permissividade dielétrica presente no meio:

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad . \quad (\text{Eq. 3.14})$$

A perda por condução elétrica é dominante nos materiais condutivos para baixas frequências (< 1 MHz) e proporcional à condutividade elétrica do meio (OLHOEFT, 1981).

Por último, a perda por polarização é dominante nas altas frequências, pelo motivo das moléculas de água não conseguirem mais se polarizar pela aplicação de um campo com uma determinada frequência de polarização. Essa característica também é denominada de relaxação dielétrica da água.

A resolução vertical, no caso sob estudo, refere-se à habilidade de distinguir as reflexões provenientes do topo e da base de camadas de pequena espessura. Para um bom delineamento dos alvos enterrados, é necessário que a resolução vertical seja suficientemente alta.

Tabela 3.3 – Frequência central das antenas e sua resolução vertical (ANNAN, 2001).

Frequência central (MHz)	200	100	50	25
Resolução Vertical (metros)	0,25	0,50	1,00	2,00

A resolução horizontal, por sua vez, é definida pela zona de Fresnel (YILMAZ, 2000), que descreve o padrão de radiação da antena, comparável a um feixe de luz cônico (vertical), com um ângulo de abertura de 30° com o vértice despontando da antena

transmissora. O sinal refletido do objeto é uma média da superfície refletora (iluminada) pelo feixe de ondas eletromagnéticas (GREENHOUSE et al., 1995 e ANNAN, 2001). A resolução horizontal cresce com a diminuição da profundidade do alvo e é inferior à resolução vertical. Neste trabalho, as covas estão distantes o suficiente para permitir a distinção horizontal dos sinais GPR provocados pelos seus conteúdos.

3.1.5 Técnicas de Aquisição de Dados

O sistema GPR é constituído por módulos para oferecer um maior conforto e flexibilidade nas operações de campo. O sistema básico do GPR é representado na **Figura 3.5**.

O levantamento de dados GPR pode ser realizada por meio de três diferentes modos de aquisição: radargramas de reflexão com afastamento constante (*common offset*), sondagens de velocidade (*common mid point – CMP* ou/e *wide angle reflection and refraction – WARR*) e a transiluminação ou tomografia de radar (REYNOLDS, 1997).

No modo de radargramas de reflexão com afastamento constante (**Figura 3.6**), as antenas transmissora e receptora são mantidas a uma distância fixa e deslocadas juntas sobre a superfície do solo; a aquisição dos traços ocorre a intervalos de distância, e intervalos de tempo duplo.

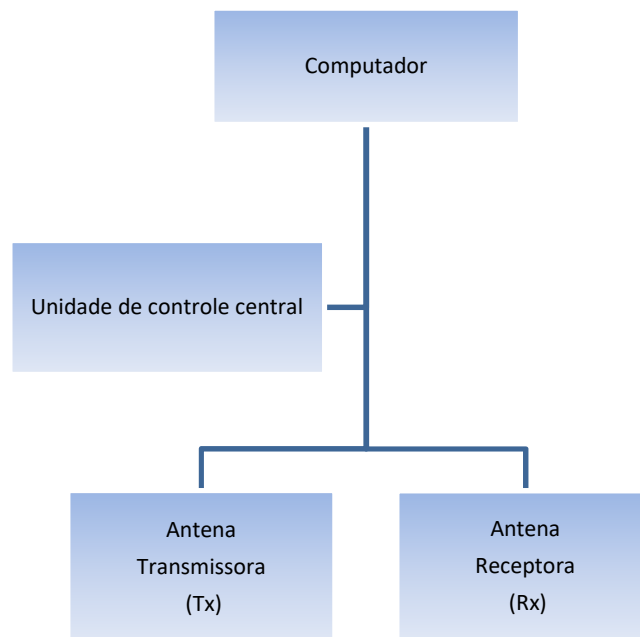


Figura 3.5 – Diagrama esquemático de um sistema básico de GPR (PORSANI, 1999).

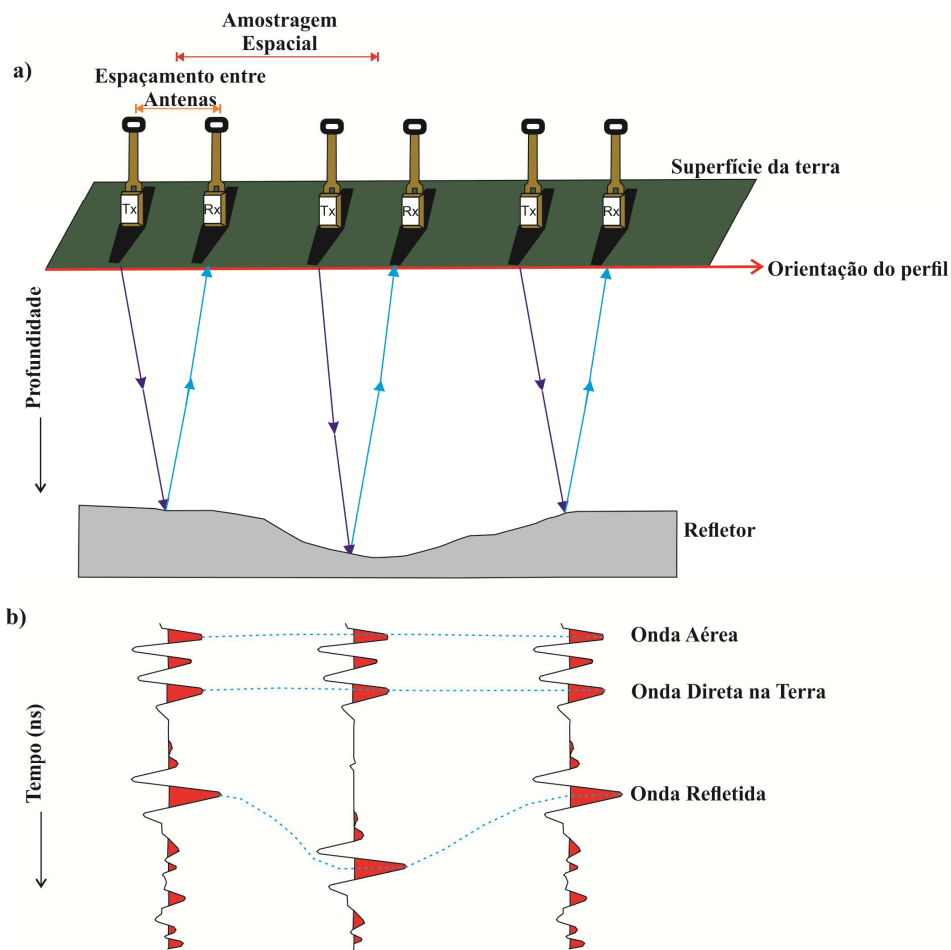


Figura 3.6 – (a) Esquema de aquisição de dados no modo radargramas de reflexão com afastamento constante (*common offset*). (b) Três traços de GPR com as chegadas da onda aérea, onda direta na terra e onda refletida em uma estrutura na subsuperfície (adaptado de PORSANI, 1999 e BORGES, 2007).

Na aquisição por reflexão com afastamento constante devem-se observar os seguintes parâmetros:

1º – Frequência da antena: como já mencionado, determina a profundidade de penetração e a resolução do alvo.

2º – Abertura da janela temporal (*range*): define o tempo de abertura para que o registro do sinal seja transmitido e recebido pelas antenas. Quanto maior a janela, maior a quantidade de dados armazenados.

3º – Amostragem espacial: está relacionada ao intervalo das emissões do sinal eletromagnético quando deslocado em um radargrama de aquisição. O valor de amostragem espacial não deve ser superior ao intervalo de amostragem de Nyquist ($1/2$ do

comprimento de onda λ , para não provocar sub amostragem, falseando as respostas (fenômeno de *aliasing*). É tomada de 6 a 20 vezes o valor da frequência central (ANNAN,2001)

4º – Espaçamento entre as antenas: na utilização de um equipamento de GPR com antenas não blindadas, em investigações que não se tem informação sobre a área, a separação entre as antenas (transmissora e receptora) é de no máximo 20% da profundidade de interesse (ANNAN, 1992). Em aquisições habituais se adota o comprimento de uma das antenas para ser a distância entre ambas. Nas antenas blindadas o espaçamento é fixo e determinado pelo fabricante.

5º - Orientação das antenas: há diferentes padrões de orientação (**Figura 3.7**), mas normalmente é utilizado o modo transversal elétrico – TE, que consiste no deslocamento das antenas perpendiculares à direção do radargrama de aquisição, o que proporciona uma maior cobertura angular de um refletor, gerando a área de maior pegada do GPR (ANNAN, 2001).

6º - Localização e orientação dos radargramas: é necessário para o conhecimento da procedência dos dados e uma interpretação acurada dos dados. A melhor orientação dos radargramas é perpendicular a maior extensão ao alvo em subsuperfície.

7º - Número de amostra por traços: é a quantidade de pontos que é amostrado em um traço ao longo do tempo. Sua manipulação é indicada para evitar o efeito de “aliasing” temporal pela discretização de um dado contínuo em digital .Os valores adotados variam de 128 a 1024. Um valor bastante utilizado é 512 amostras por traço.

O modo de aquisição pela sondagem de velocidade é basicamente a manipulação do espaçamento entre as antenas sobre uma mesma área. Sua aplicação é utilizada para determinar a velocidade de propagação do sinal GPR *in situ*. Na técnica CMP, as antenas são deslocadas das mesmas distâncias em sentidos opostos (**Figura 3.8a**). Pela técnica WARR, a antena transmissora é mantida fixa e a antena receptora é afastada deslocando-se sobre a área investigada (**Figura 3.8b**).

Orientação das Antenas

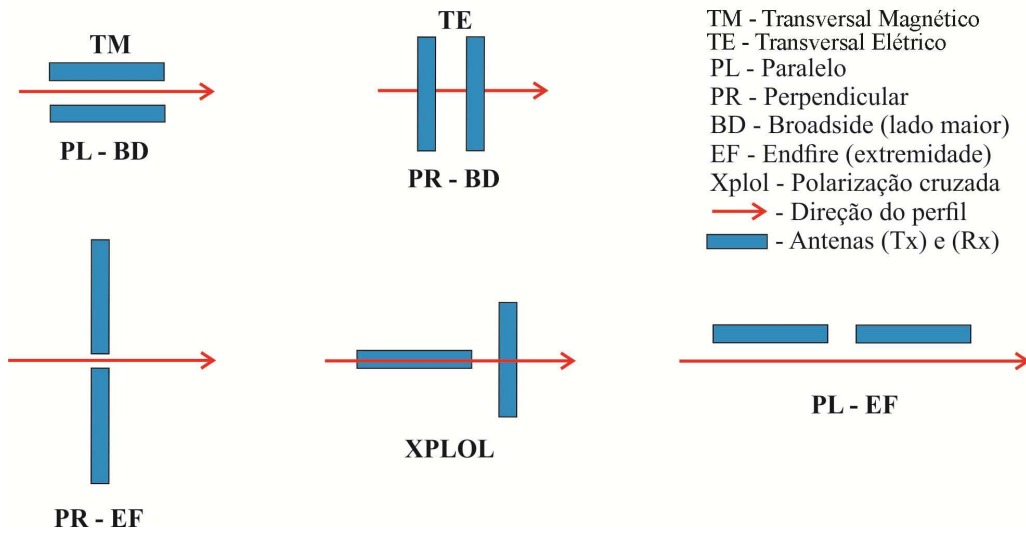


Figura 3.7 – Orientação das antenas de radar (adaptado de ANNAN, 2001).

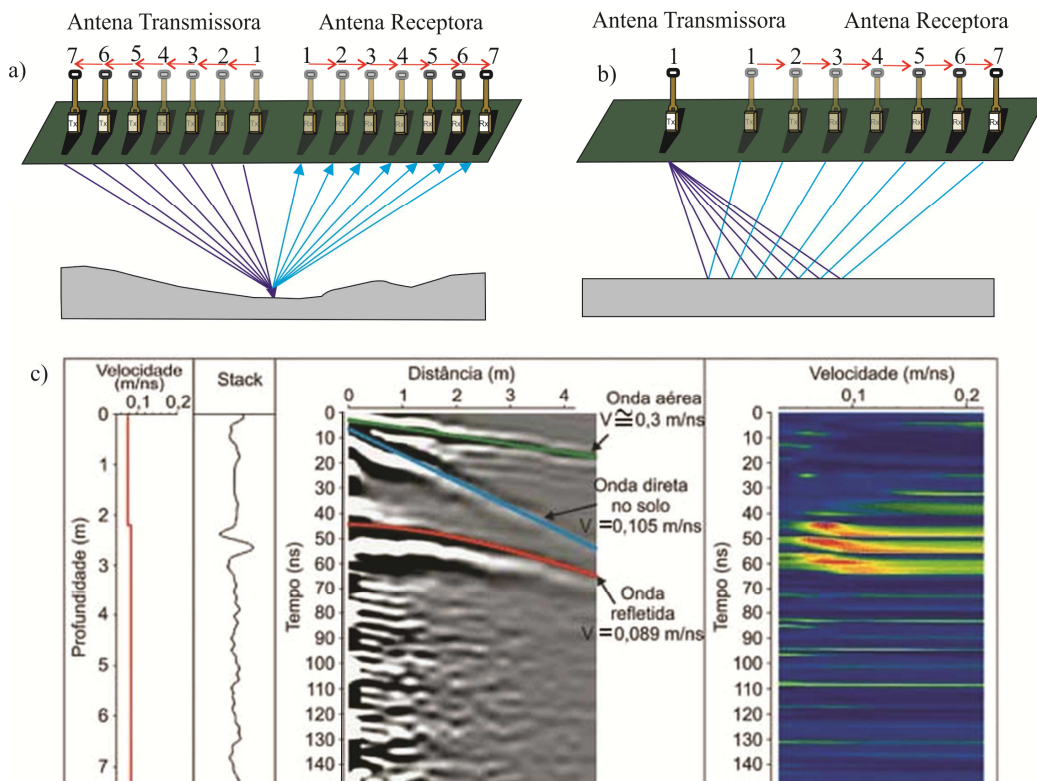


Figura 3.8 – Modo de aquisição de sondagem de velocidade. a) Esquema de aquisição de dados pela técnica CMP. b) Esquema de aquisição de dados pela técnica WARR. c) Exemplo de dado CMP e suas principais frentes de onda com os valores de velocidade (adaptado de Borges, 2007).

A aquisição GPR 3D utiliza uma fonte transmissora e vários receptores sobre a área. O espaçamento entre transmissores e receptores é proporcional ao intervalo de amostragem espacial, o que eleva o custo da aquisição pelo uso elevado de receptores. Um fator importante a ser considerado é a quantidade de energia necessária para a única fonte transmissora, para evitar considerável perda do sinal nos receptores mais distantes se a área for grande. Essas restrições fazem com que a aquisição GPR 3D se torne inviável (BORGES 2007).

O método de aquisição quase-3D é uma junção de vários radargramas 2D obtidos sobre a área investigada. Com a utilização de uma mesma unidade transmissora e receptora, o sinal eletromagnético terá a mesma assinatura em cada ponto investigado. Para uma melhor escolha do espaçamento entre os radargramas que venha a satisfazer o intervalo de amostragem espacial (Δx) sem o efeito de *aliasing*, deve-se considerar que a frequência central das antenas GPR sofre o efeito de atenuação pelas constantes físicas do meio investigado, e que o comprimento de onda (λ) depende da velocidade (v) e da permissividade dielétrica (ϵ_r). A equação de Nyquist é descrita na equação (**Equação 3.15**):

$$\Delta x \leq \frac{\lambda}{2} . \quad (\text{Eq. 3.15})$$

Segundo Grasmueck et al. (2005), uma bom imageamento 3D dos radargramas pode ser obtido pela análise do número de onda no domínio da frequência (f-k)(**Figura 3.9**). O método requer a transformação para o domínio f-k, onde o conteúdo de sinal em termos de sua frequência temporal e espacial pode ser o intervalo de amostragem espacial (Δx_N) estimado a partir do ajuste f-k transformando os valores do menor comprimento de onda (k_x) no teorema da amostragem de Nyquist (**Equação 3.16**):

$$\Delta x_N = \frac{\lambda_x}{2} = \frac{1}{(2k_x)} . \quad (\text{Eq. 3.16})$$

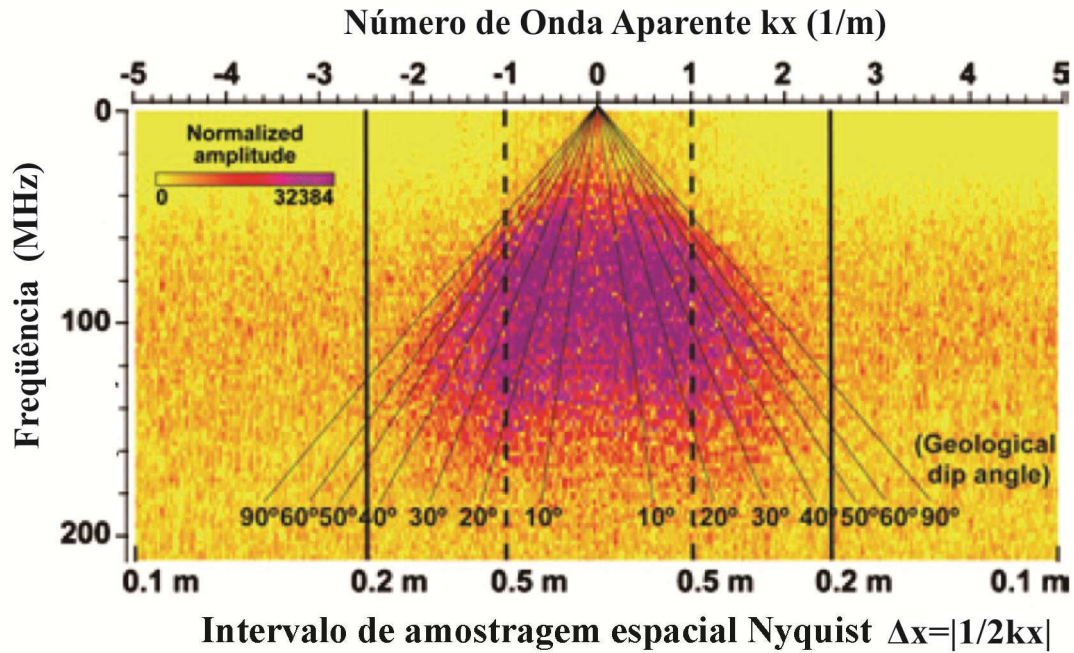


Figura 3.9 – Espectro de frequência temporal x espacial (antena de 100 MHz). O valor de 0.5 m (linha tracejada) acarretaria uma aquisição incompleta do sinal (GRASMUECK, 2005).

Outro fator importante nas aquisições quase-3D é o posicionamento dos radargramas. Borges (2007) realizou experimentos reais e sintéticos sobre um cano de PVC de 0,1 m com 200 MHz para exemplificar os efeitos dos erros de posicionamento dos dados nas imagens de GPR. Os primeiros foram realizados com espaçamento entre os traços de 0,5 m e erro de posicionamento das linhas levantadas de 0,1 m, e com espaçamento entre as linhas de 0,25 m, com o correto posicionamento dos radargramas (**Figura 3.10**). A primeira aquisição apresentou uma imagem desfocada do cano, que aparece com um diâmetro maior, ocasionado pelo erro de posicionamento e pela interpolação entre os radargramas. Na segunda aquisição, o tubo de PVC gerou imagem com melhor definição, sendo possível determinar sua real espessura.

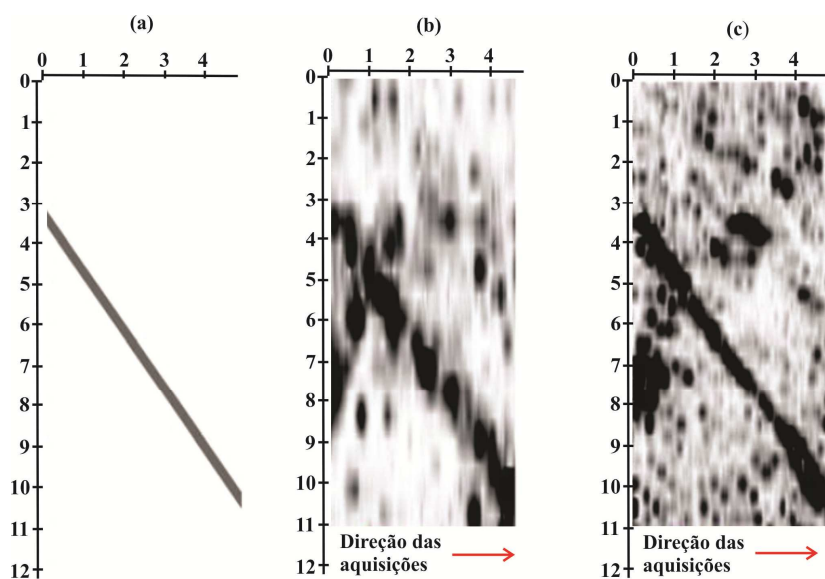


Figura 3.10 – Experimento Quase-3D. (a) Representação esquemática do cano de PVC investigado. Resultados obtidos com espaçamento entre os radargramas de (b) 0,5 m (erro de posicionamento dos traços de 0,1 m) e (c) 0,25 m (sem erro de posicionamento) (BORGES, 2007).

3.1.6 Processamento e Interpretação dos Dados

A rotina de processamento aplicada aos radargramas tem o objetivo de recuperar o sinal para valores mais próximos possíveis dos da frequência central. O processamento utilizado nesta pesquisa contou com as operações descritas a seguir.

Correção Estática – atua sobre cada traço de forma independente, realizando uma correção de tempo independente para cada traço. Esta etapa é bastante utilizada para retirada da onda aérea do sinal GPR. Foi considerado o primeiro pico positivo da onda eletromagnética refletida por representar o contato entre o ar e o solo nos radargramas (YELF, 2004)

Subtração da Média (Subtract mean - Dewow filter) – Este filtro elimina uma possível parte do sinal de baixa frequência que sofre difusão, tornando o radargrama embaçado (wow).

Remoção de Sinal de Fundo (Background Remove) – Este filtro executa uma subtração dos ruídos de fundo de alta frequência, associados à indução eletromagnética entre as antenas transmissora e receptora.

Ganho de Decaimento de energia – Aplica uma curva de ganho na direção do tempo (ns) cobrindo todo o radargrama com base em uma curva de decaimento sobre a

amplitude média do sinal, automaticamente. O ganho é determinado a partir de todos os vestígios existentes sobre o sinal realçando os refletores.

Filtro f_k – Este filtro bidimensional definido no domínio da frequência e do número de onda ($f - k$), permite realizar a supressão de ruídos no domínio f_k do sinal eletromagnético.

Finalmente, tem-se a operação de migração. Por meio dela, as difrações são colapsadas tendendo a energia a se focar em seu ápice. Borges (2007) esclareceu os efeitos da migração utilizando um modelo geofísico de dois tubos metálicos se cruzando na subsuperfície (**Figura 3.11**). Os resultados da modelagem mostraram que após a migração as difrações desaparecem e ocorre uma concentração da energia no posicionamento real dos tubos.

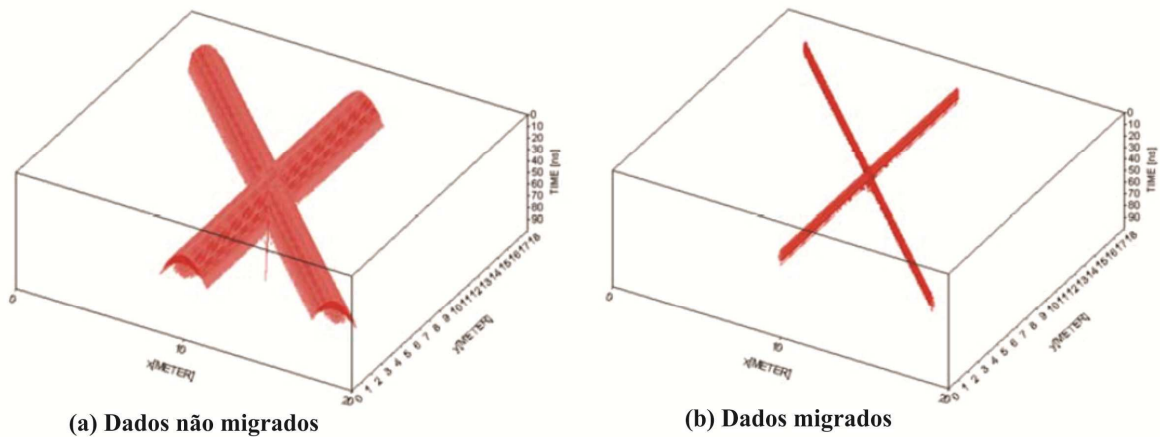


Figura 3.11 – Conjunto de dados Quase-3D: (a) Dados não migrados. (b) Dados migrados (BORGES, 2007).

3.2 ELETORRESISTIVIDADE

3.2.1 Generalidades

Quando os valores da corrente e da diferença de potencial são registrados é possível estimar a resistividade dos materiais da subsuperfície. A corrente introduzida no solo, através de 2 eletrodos de corrente (A e B), produz uma diferença de potencial que é medida por outros 2 eletrodos de potencial (M e N). Os valores medidos da diferença de potencial e da corrente injetada permitem estimar os valores da resistividade do solo (ORELLANA, 1972). A Eletorresistividade é usada no estudo de discontinuidades horizontais e verticais nas propriedades elétricas do solo e também na detecção de corpos tridimensionais de condutividade elétrica anômala (KEAREY *et al.*, 2009).

O ponto fraco deste método é a necessidade de contato galvânico que implica no aumento do tempo de aquisição, em campo. Sistemas automáticos de coleta de dados, contudo aceleraram os processos de medida e obtenção de imagens em 2D e 3D da distribuição de resistividade do subsolo, passou a ser viável.

Para o Método da Eletorresistividade, apenas uma das três propriedades vistas até aqui é responsável pelo efeito medido: a resistividade elétrica, que corresponde ao inverso da condutividade. Enquanto esta está ligada à facilidade do material de conduzir a corrente elétrica, a resistividade elétrica é uma medida da oposição do material ao fluxo de corrente elétrica.

A resistividade é considerada a mais importante propriedade elétrica do meio (TELFORD *et al.*, 1990). A resistividade (ρ) pode ser definida como a resistência elétrica (R) de um cilindro de seção transversal (A) e de comprimento (L) (**Figura 3.12**), dada por:

$$\rho = R \cdot \frac{A}{L} . \quad (\text{Eq. 3.17}).$$

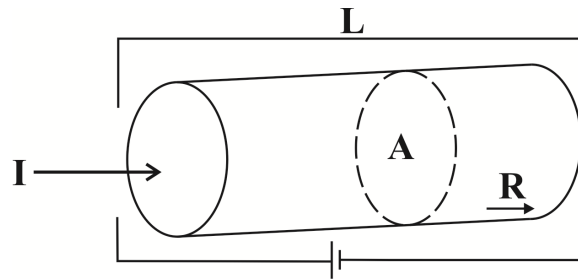


Figura 3.12 – Ilustração gráfica dos parâmetros usados no cálculo da resistividade de um material (KEAREY et al., 2009).

Apenas a corrente elétrica de condução, a corrente galvânica é medida (KELLER e FRISCHKNECHT, 1966). Ela pode ser eletrônica e iônica.

A corrente eletrônica (ou ôhmica) ocorre nos materiais com estrutura homogênea, com alta concentração de portadores de carga (elétrons livres) e com elevada mobilidade. Sua ocorrência na natureza, se dá principalmente em materiais semicondutores.

A corrente iônica (ou eletrolítica), por sua vez envolve o fluxo de íons presentes nas soluções que preenchem os espaços porosos das rochas e dos sedimentos. Este modo de condução tem uma maior importância nos estudos e levantamentos geofísicos de Eletrorresistividade.

A resistividade é dependente da: porosidade (forma e tamanho dos poros, número, tamanho e forma das passagens de interconexão); capacidade de preenchimento dos poros (quantidade de solução); concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na solução (presença de composto que possam favorecer ou não a condutividade); temperatura e estado físico da água nos poros; concentração e composição das partículas (colóides).

A razão entre a precipitação e a evaporação é primordial na definição da quantidade de água presente no solo. A água pluvial em sua maior parte é escoada superficialmente. Somente uma pequena fração infiltra-se, preenchendo os poros e as fraturas no solo.

Existem a zona saturada e a zona vadosa, sendo a primeira completamente saturada com água e a segunda com oscilações da quantidade de água (McNEILL, 1980).

Segundo Elis (1999), o mais importante para a condução eletrolítica é o teor de água e sua salinidade nas estruturas do solo/rocha. O volume de água e sua salinidade são inversamente proporcionais aos valores de resistividade do meio em que se encontram. Essa relação explica a aplicação do método em estudos ambientais e hidrogeológicos.

3.2.2 Cálculo da Resistividade

Em uma superfície homogênea e isotrópica, a corrente (I) injetada em um ponto na superfície flui radialmente para fora de uma semiesfera de raio (r), e superfície $2\pi r^2$ (**Figura 3.13**). A densidade de corrente (J) é igual à corrente (I) dividida pela área da semiesfera ($A = 2\pi r^2$), portanto, ela diminui com o aumento da distância da fonte de corrente:

$$\vec{J} = \frac{I}{2\pi r^2}. \quad (\text{Eq. 3.18})$$

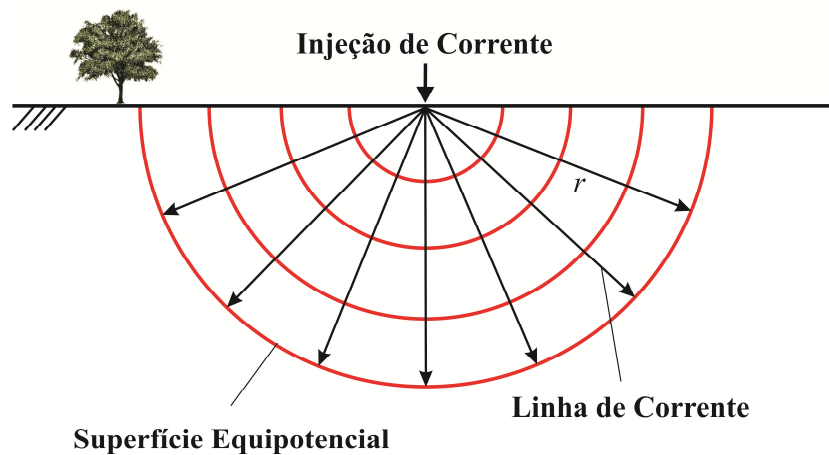


Figura 3.13 - Injeção de corrente em um ponto na superfície e distribuição do seu fluxo em subsuperfície (LAGO, 2009).

A Lei de Ohm relaciona a corrente (I) à diferença de potencial (δV) e à resistência R como segue:

$$-\delta V = \delta RI. \quad (\text{Eq. 3.18})$$

Substituindo nessa equação o valor de R dado pela **Equação 3.17** em que a distância L passa a ser representada pelo raio r da semiesfera, obtém-se:

$$\delta V = -\rho \vec{J} \delta r = -\rho \frac{I}{2\pi r^2} \delta r, \quad (\text{Eq. 3.19}). :$$

A voltagem com relação à distância (V_r) é dada pela integração da diferença de potencial em relação ao raio da semiesfera :

$$V_r = \int \delta V = - \int \rho \frac{I}{2\pi r^2} \delta r = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r}. \quad (\text{Eq. 3.20})$$

Ao inserir um novo ponto de injeção de corrente no terreno, uma nova distribuição de potencial ocorrerá. O potencial V_P em algum ponto P no solo será igual à

soma das voltagens geradas nos dois pontos, indicados por A e B, com P entre A e B, de modo que $V_P = V_A + V_B$, sendo V_A e V_B as contribuições potenciais de cada ponto de injeção de corrente, A (+I) e B (-I). Nessas condições, o potencial V_P em um ponto qualquer do solo também dependerá da distância deste ponto aos pontos de injeção de carga.

A **Figura 3.14** mostra uma configuração de quatro eletrodos, onde os eletrodos de injeção de corrente estão localizados nos pontos A e B, e os eletrodos de potencial, nos pontos M e N. Os potenciais nos eletrodos M e N podem ser calculados através das **Equações 3.21 e 3.22**.

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] \quad \text{e} \quad (\text{Eq. 3.21}).$$

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right], \quad (\text{Eq. 3.22}).$$

em que AM, BM, AN e BN correspondem às distâncias entre os eletrodos.

Na prática, é mais fácil medir a diferença de potencial, ΔV_{MN} , do que o potencial V, dado por.:

$$\Delta V_{MN} = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] - \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right] \right\}. \quad (\text{Eq. 3.23})$$

Reajustando a **Equação 3.23** para calcular a resistividade elétrica, tem-se:

$$\rho = \frac{2\pi \Delta V_{MN}}{I} \left\{ \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] - \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right] \right\}^{-1}. \quad (\text{Eq. 3.24})$$

A resistividade real de um subsolo homogêneo e isotrópico pode ser calculada por meio da **Equação 3.24**.

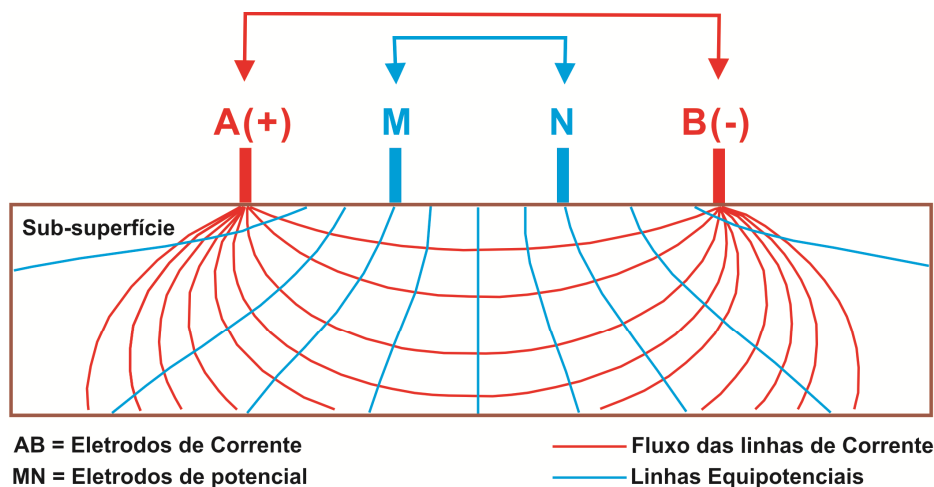


Figura 3.14 - Representação esquemática do fluxo de corrente e do potencial associado no subsolo para quatro eletrodos em superfície (YACCUP, 2012).

3.2.3 Resistividade Aparente

O subsolo quase sempre não é homogêneo e isotrópico. A equação anterior fornece então a resistividade aparente (ρ_a), que não pode ser entendida como uma média de resistividades, mas como a resistividade que o meio teria se fosse homogêneo e isotrópico (ORELLANA, 1972).

Logo, a **Equação 3.24** pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\rho_a = \frac{\Delta V_{MN}}{I} K, \quad (\text{Eq. 3.25}).$$

sendo K conhecido como Fator Geométrico, dado pela Equação 3.26:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM}\right) - \left(\frac{1}{MB}\right) - \left(\frac{1}{AN}\right) + \left(\frac{1}{NB}\right)}. \quad (\text{Eq. 3.26}).$$

O valor da resistividade aparente depende da posição dos eletrodos, ou seja, do fator geométrico (**Equação 3.26**). No entanto, outros fatores também irão influenciar, tais como, as características do meio abarcado pela corrente.

3.2.4 Técnicas de Aquisição de Dados

O levantamento de dados de Eletrorresistividade geralmente é configurado para um arranjo quadripolo (A, B, M e N). O equipamento utilizado consiste basicamente de uma fonte controlada para emissão de corrente elétrica e medidor das diferenças de potencial geradas.

A potência da fonte pode variar de centenas de watts até alguns kilowatts. A corrente varia entre 5 e 500 mA, e o potencial normalmente lido no circuito receptor, entre 10 mV a 20 V. Esses equipamentos podem trabalhar com corrente contínua ou corrente alternada de baixa frequência, preferivelmente menor que 60 Hz, tal que o fenômeno de indução eletromagnética seja desprezível (TELFORD et al., 1990). Atualmente os equipamentos usados consistem de um sistema de emissão e recepção montadas em uma única unidade, conhecidos como resistímetro (ELIS, 1999).

Há três técnicas de aquisições de dados de eletrorresistividade: Sondagem Elétrica Vertical (SEV), Caminhamento Elétrico (CE) e Tomografia Elétrica (TE), que podem ser aplicadas usando-se uma grande variedade de configurações de arranjos eletródicos, o que confere ao método um elevado grau de versatilidade. Além das técnicas, citadas acima, existe a técnica de aquisição por Perfilagem Elétrica de Poços (PEP), que é aplicada em

investigações dentro de poços que medem alguma propriedade elétrica da rocha em sua parede.

Resumidamente, a SEV permite investigar verticalmente o terreno por meio do aumento do espaçamento entre eletrodos a partir de seu centro, enquanto o CE, lateralmente, usando arranjo de eletrodos com distâncias entre eles fixa movimentando-se ao longo de uma linha investigada. Finalmente, a tomografia investiga tanto lateralmente como verticalmente o terreno.

A **Figura 3.15** mostra a tomografia sendo realizada com a emissão de corrente fixa em AB e a medição de voltagem entre pares de eletrodos MN que vão se afastando da emissão de corrente, permitindo alcançar diferentes níveis de profundidade, na figura 5 níveis. A mudança da posição do par de eletrodos da distância X e a repetição da medição de voltagem por pares de eletrodos que igualmente se afastam da emissão de corrente permitem alcançar os diferentes níveis de profundidade sob investigação, agora afastados lateralmente da distância X das medições anteriores. O processo continua, gerando uma pseudoseção, assim denominadas pois não se trata de seção verdadeira (os níveis de medida, por exemplo, encontram-se mais próximos da superfície à medida que crescem do que a posição em que aparecem na pseudoseção). O arranjo de campo mais utilizado em TE é o dispositivo dipolo-dipolo (**Figura 3.15**. ELIS, 1998).

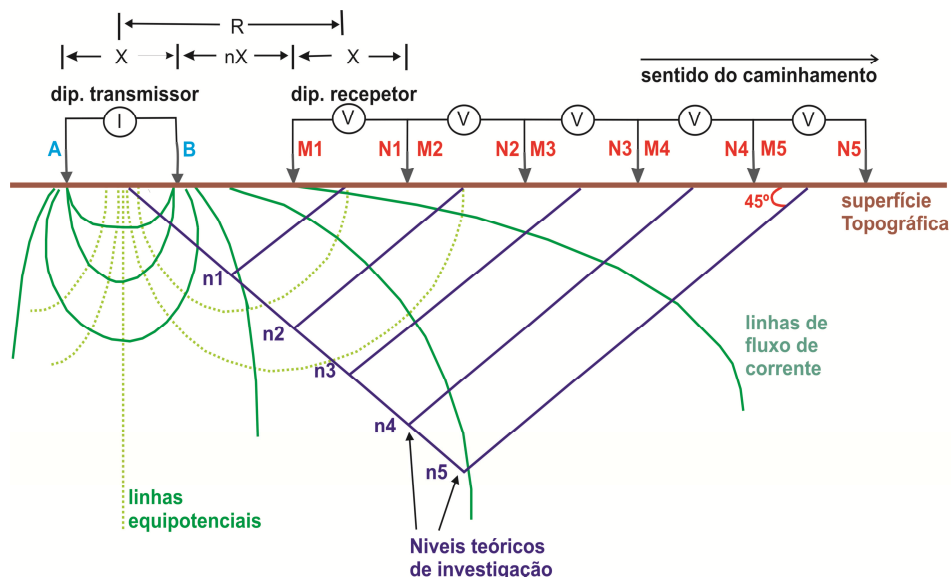


Figura 3.15 – Tomografia elétrica com os níveis de investigação (n) atribuídos a intersecção entre as linhas que partem do centro dos eletrodos AB e MN com ângulo de 45° . Arranjo utilizado: dipolo-dipolo.

Neste trabalho foram utilizados os arranjos de eletrodos Dipolo-dipolo (DD) e Wenner-Schlumberger (WS) em TE.

3.2.5 Arranjo Dipolo-dipolo (DD)

O arranjo DD é caracterizado pela disposição dos eletrodos em linha e o espaçamento entre os eletrodos de corrente AB e também entre os de potencial MN permanecerem fixos durante toda a aquisição. Uma série de medidas é realizada aumentando a separação entre eles de acordo com um fator “**n.x**”. Cada aumento da separação corresponde a um nível de investigação em profundidade (LOKE, 2001).

O arranjo dipolo-dipolo é muito sensível a variações laterais de resistividade, mas tem pouca sensibilidade a variações verticais desta propriedade. Isto implica que este arranjo é bom para mapear estruturas horizontais como sills e camadas sedimentares. A profundidade média de investigação deste arranjo também depende do fator “**n**”, assim como do fator “**x**” (**Tabela 3.4**).

Para determinar a profundidade máxima mapeada em um levantamento, multiplica-se o espaçamento máximo “**x**” entre os eletrodos, ou o comprimento máximo do arranjo “**L**” pelo fator de profundidade (**Ze**) adequado da **Tabela 3.4**. Por exemplo, se o espaçamento máximo entre os eletrodos “**x**” num arranjo dipolo-dipolo é de 10 m e com um valor máximo de 6 para “**n**”, então o comprimento máximo “**L**” é de 80 m, isto permite uma profundidade máxima mapeada de 17 m.

Tabela 3.4 – Profundidade média de investigação (**Ze**) para o arranjo dipolo-dipolo (Adaptado de EDWARDS, 1977).

Arranjo eletródico	Níveis de Investigação							
	N=1	N=2	N=3	N=4	N=5	N=6	N=7	N=∞
Dipolo-dipolo								
Ze/x	0,416	0,697	0,962	1,220	1,476	1,730	1,983	1,220
Ze/L	0,139	0,174	0,192	0,203	0,211	0,216	0,220	0,250

3.2.6 Arranjo Wenner-Schlumberger

Os arranjos Wenner e Schlumberger são colineares e possuem os eletrodos de corrente AB externos aos de potencial MN. O primeiro possui a mesma distância entre cada par de eletrodos vizinhos, enquanto o Schlumberger, AB podem ter distancias

maiores entre MN (respectivamente, pontos 1 e 3 da **Figura 3.16**). O Wenner é muito usado em caminhamentos, enquanto o Schlumberger, em sondagens.

O arranjo Wenner-Schlumberger é uma combinação desses dois arranjos (Figura 3.16). Permite que o arranjo Schlumberger possa ser usado num sistema com eletrodos dispostos em um espaçamento constante. O fator 'n' neste arranjo é a razão entre a distância dos eletrodos A-M ou N-B, e o espaçamento entre os potenciais M e N. O padrão de sensibilidade para o arranjo Schlumberger é diferente do arranjo Wenner, tendo uma sensibilidade um pouco menor nas regiões entre os eletrodos A – M e B – N, e uma maior sensibilidade abaixo dos eletrodos A – B. Isto significa que o novo arranjo é moderadamente sensível a estruturas horizontais e verticais. A profundidade e a intensidade do sinal neste arranjo são maiores do que no arranjo DD (**Tabela 3.5**). Porém a cobertura horizontal deste arranjo é menor em relação ao arranjo Dipolo-dipolo (LOKE, 2001).

Tabela 3.5 – Profundidade média de investigação (Z_e) para o arranjo Wenner-Schlumberger (adaptado de EDWARDS, 1977).

Arranjo eletrônico	Níveis de Investigação					
	N=1	N=2	N=3	N=4	N=5	N=6
Wenner-Schlumberger	N=1	N=2	N=3	N=4	N=5	N=6
Z_e/x	0,52	0,93	1,32	1,71	2,09	2,48
Z_e/L	0,173	0,186	0,189	0,190	0,190	0,190

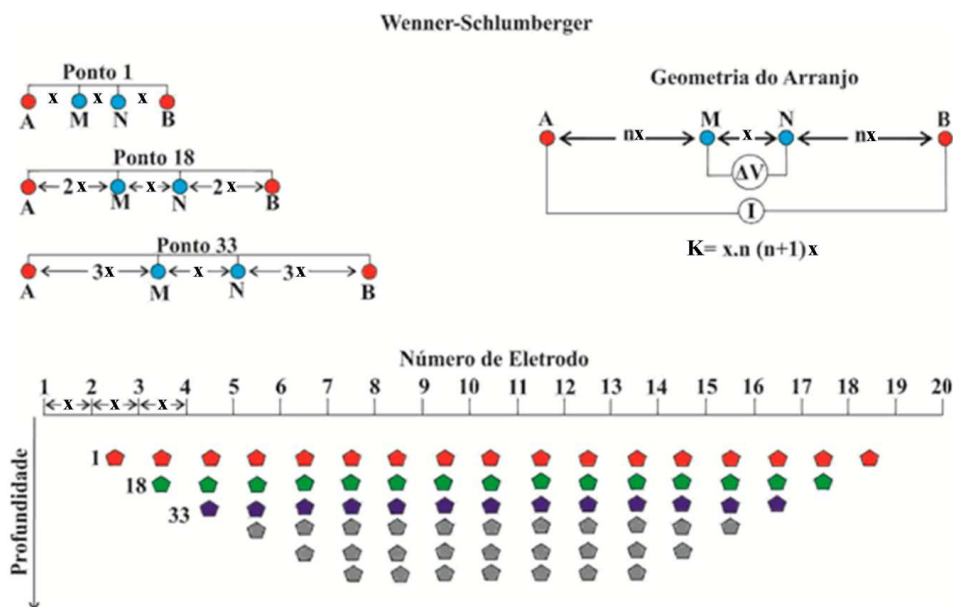


Figura 3.16 – Esquema do arranjo Wenner-Schlumberger, seu fator geométrico e a sequência de medidas utilizadas na construção de uma pseudoseção (adaptado de LOKE, 2001 e BORGES, 2007).

3.2.7 Interpretação de dados

Após a aquisição de dados, as medidas de resistividade aparente calculadas a partir da diferença de voltagem e corrente passam pela fase de sua interpretação em termos geológicos.

Na interpretação pelo chamado método inverso, os dados de resistividade aparente são introduzidos no computador (quase sempre com valores iniciais para os parâmetros que se deseja estimar os valores de resistividade do meio) e soluções que reproduzam esses dados são procurados, dentro de uma precisão pré-estabelecida. O resultado é o estabelecimento de valores possíveis para os parâmetros do meio, no caso a resistividade.

Um modelo bidimensional com grande número de blocos retangulares pode ser utilizado (**Figura 3.17**). A disposição destes blocos está moderadamente relacionada à distribuição dos pontos na pseudoseção. Uma rotina de inversão matemática é aplicada em cada bloco, obtendo-se o valor da resistividade para cada medida coletada (ROSS *et al*, 1990; SASAKI, 1994). O resultado é uma seção possível para a distribuição de resistividade.

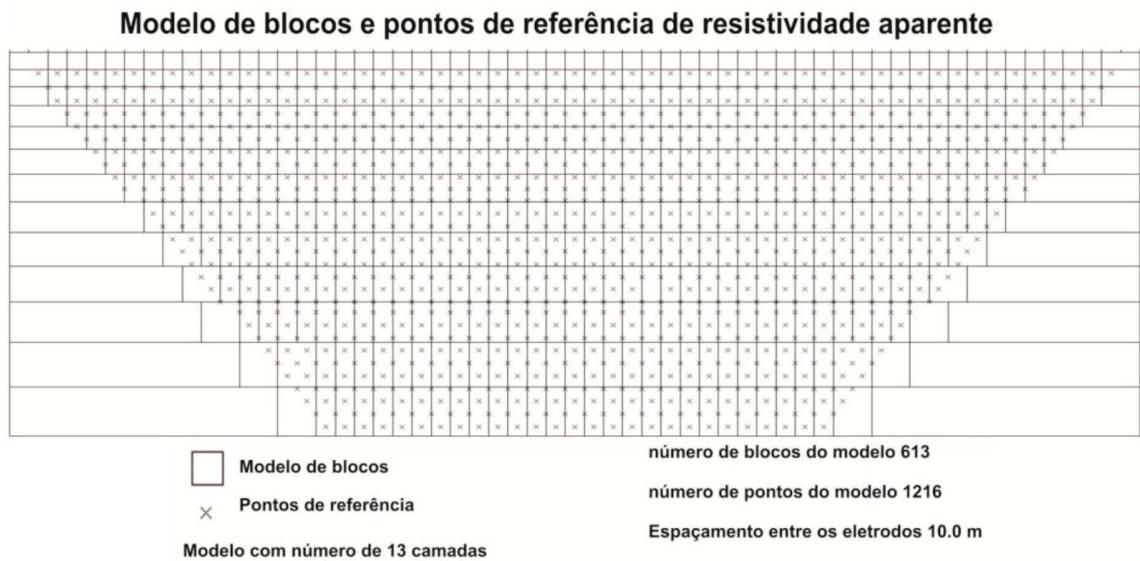


Figura 3.17 – Subdivisão da subsuperfície em blocos retangulares para interpretação de dados de imageamento (adaptado de Loke, 2001).

Uma sub-rotina é usada para calcular os valores de resistividade elétrica aparente em cada bloco, e uma técnica de otimização de mínimos quadrados não linear é usada na rotina de inversão (deGROOT-HEDLIN e CONSTABLE, 1990; SASAKI, 1992; LOKE e

BARKER, 1996). O programa utilizado neste trabalho, o Res2dinv (GEOTOMO, 2010), permite calcular os valores de resistividade aparente que o modelo produziria por meio de diferenças finitas e elementos finitos.

O método de inversão do programa tenta minimizar as diferenças entre os valores calculados e os medidos, e outros parâmetros que produzem certas características desejadas no modelo resultante.

Em geral, durante o processo de inversão, o modelo resultante é vinculado à informações *a priori*. O vínculo mais comum utilizado no método de mínimos quadrados é o de suavidade, e este pode ser apresentado conforme a **Equação 3.27**:

$$(J^T J + uF)d = J^T g - uFr, \quad (\text{Eq. 3.27}).$$

em que F = uma matriz de suavização; J = matriz Jacobiana de derivadas parciais; r = vetor contendo o logaritmo dos valores de resistividade modelados; u = fator de amortecimento (controla a informação introduzida a priori); d = vetor de perturbação do modelo; g = vetor de discrepância.

O vetor de discrepância ‘ g ’ contém a diferença entre os valores calculados e medidos de resistividade aparente. A magnitude deste vetor é frequentemente dada como um valor do erro médio quadrático (*Root Mean Square – RMS*). Este é a quantidade que o método de inversão tenta reduzir entre os valores calculados e medidos. O vetor de perturbação ‘ d ’ é a variação dos valores de resistividade do modelo calculados usando a **Equação 3.27**, resultando num modelo melhorado. A **Equação 3.27** procura minimizar a relação entre os valores medidos de resistividade aparente e calculados assim como a irregularidade ou rugosidade dos valores de resistividade (LOKE, 2001).

O programa permite utilizar uma implementação do método dos mínimos quadrados com base na técnica de otimização quasi-Newton (LOKE e BARKER, 1996b). Esta técnica é ligeiramente mais rápida que o método convencional dos mínimos quadrados, usado para grandes conjuntos de dados que requerem menos memória. Também pode ser usado o método convencional Gauss-Newton.

A **Figura 3.18** mostra resultados de inversões de um conjunto de dados sintéticos usando o método padrão dos mínimos-quadrados e um modelo robusto de inversão. Nesta simulação os corpos são internamente homogêneos e com limites abruptos. Assim sendo, não é de estranhar que a inversão robusta forneça resultados significativamente melhores. Entretanto para corpos com limites gradativos, como plumas de contaminação, o método de inversão utilizando o vínculo da suavidade por mínimos-quadrados gera modelos que representam melhor a realidade (LOKE, 2001).

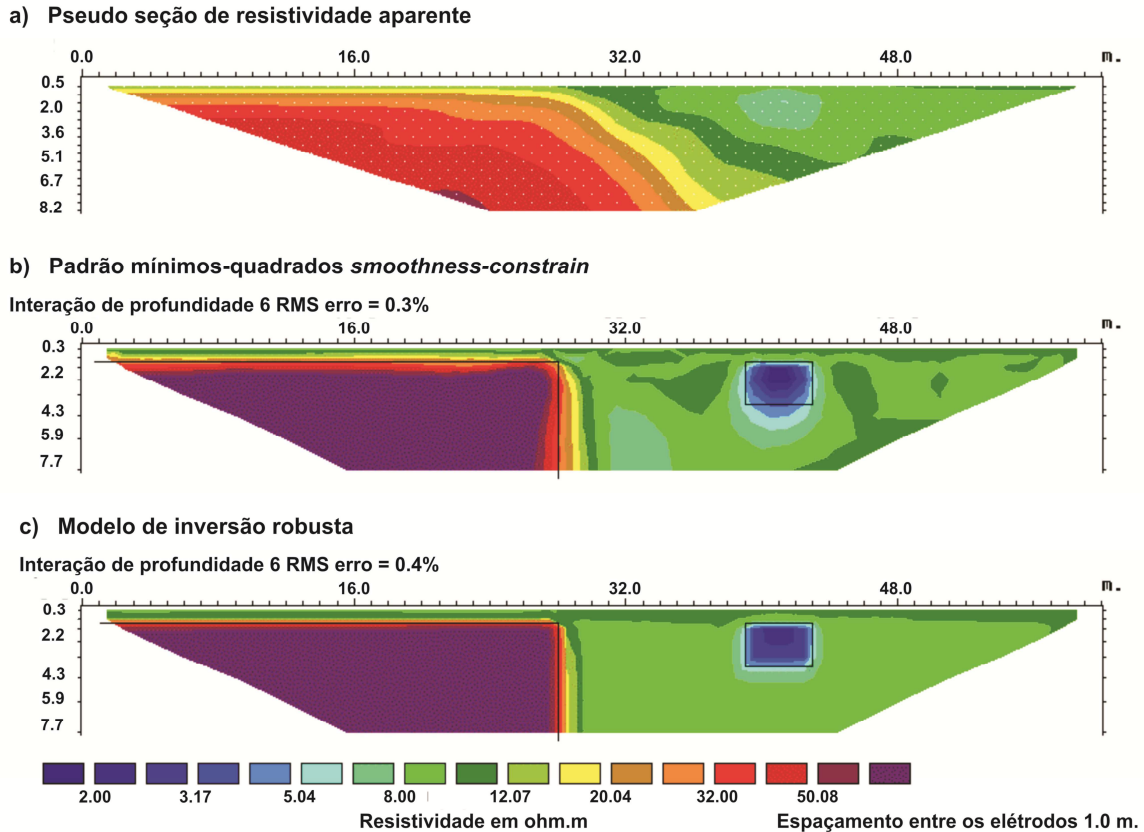


Figura 3.18 – Exemplo de resultados de inversão: (a) pseudo seção de resistividade aparente obtida para modelo com bloco falhado (100 ohm.m) na parte inferior esquerda e um pequeno bloco retangular (2 ohm.m) à direita, num meio de 10 ohm.m. Distribuição de resistividades obtidas com inversão com (b) método da suavidade e (c) método dito robusto (LOKE,2001).

3.3 DECOMPOSIÇÃO DE CORPOS SOTERRADOS

O processo de decomposição de um corpo tem início imediato após a morte e geralmente passa por uma série de etapas: autólise, putrefação e esqueletização.

A matéria orgânica é decomposta quando é exposta a três fatores primários: acesso da comunidade decompositora; propriedades físicas e químicas do ambiente da cova e biofísicoquímica provenientes do material orgânico. Um cadáver humano apresenta vários nutrientes que atraem a atenção de vários organismos, estes organismos incluem: insetos (particularmente os besouros), pássaros, répteis, mamíferos e micro-organismos.

Em ambientes de deposição do cadáver abaixo do solo, os micro-organismos decompositores serão predominantes (SCHOTSMANS et al., 2014).

Estudos têm sido conduzidos para compreender a decomposição de cadáveres após o sepultamento em solo (CARTER; TIBBETT, 2006; CARTER; YELLOWLEES; TIBBETT, 2007; RODRIGUEZ; BASS, 1985; SPENNEMANN; FRANKE, 1995; WEITZEL, 2005). Conforme Vass (2008), é geralmente aceito que o enterro de um cadáver resulte em uma diminuição da taxa de decomposição, devido à restrição de insetos e catadores, sendo a atividade de decomposição atribuída a micróbios e animais do solo (térmitas nematoides e roedores).

Nos sepultamentos foi observado que a temperatura também é um regulador da taxa de decomposição: cadáveres enterrados no verão apresentaram maior estágio de decomposição em relação aos cadáveres enterrados nos período de inverno (FIEDLER e GRAW, 2003; VINCENT et al., 2011). Em um estudo realizado em solo arenoso-argiloso observaram a duplicação microbiana com o aumento de temperatura entre 10 a 35°C (CARTER e TIBBETT, 2006).

Outro fator relevante na decomposição de cadáveres enterrados é a umidade do solo. Isso se deve ao fato da umidade do solo afetar o metabolismo dos micro-organismos decompositores. Em solos arenosos com baixa umidade frequentemente ocorre o fenômeno da mumificação ou dessecação dos tecidos e órgãos (**Figura 3.19a**). Este fenômeno é devido à capacidade do solo de perder rapidamente a umidade e permitir que gases, originados pela decomposição, se volatilizem na matriz do solo (MOLDRUP et al., 1997).

Alternativamente, em solos arenosos com alto teor de umidade, pode ocorrer a formação de pseudomorfos (cadáver em forma de areia). Este fenômeno ocorre devido à elevada concentração de cálcio, fósforo e manganês, que provavelmente é relacionada à quebra dos ossos (BETHELL e CARVER, 1987).

Em solos argilosos e de textura fina, ocorre um decaimento na taxa de decomposição, devido à troca de oxigênio com o CO₂ não ser o suficiente para atender a demanda microbiana aeróbica. Esse processo de oxiredução favorece a proliferação de micro-organismos anaeróbios que são menos eficientes na degradação da matéria orgânica. Essa queda na taxa de decomposição, em solo argiloso, favorece a formação da adipocere, que é a formação do processo de conversão da gordura corporal em uma substância sólida branca. A adipocere é um processo bastante estudado pela ciência forense devido à capacidade de preservar os restos mortais.

A adipocere é um fenômeno de pouca ocorrência, caracterizado pela hidrólise e

hidrogenação da gordura corporal pela ação das bactérias decompositoras (**Figura 3.19b**). Estas bactérias em ambiente anaeróbio produzem um elenco ceroso do tecido conhecido como saponificação (SCHOTSMANS et al., 2017).

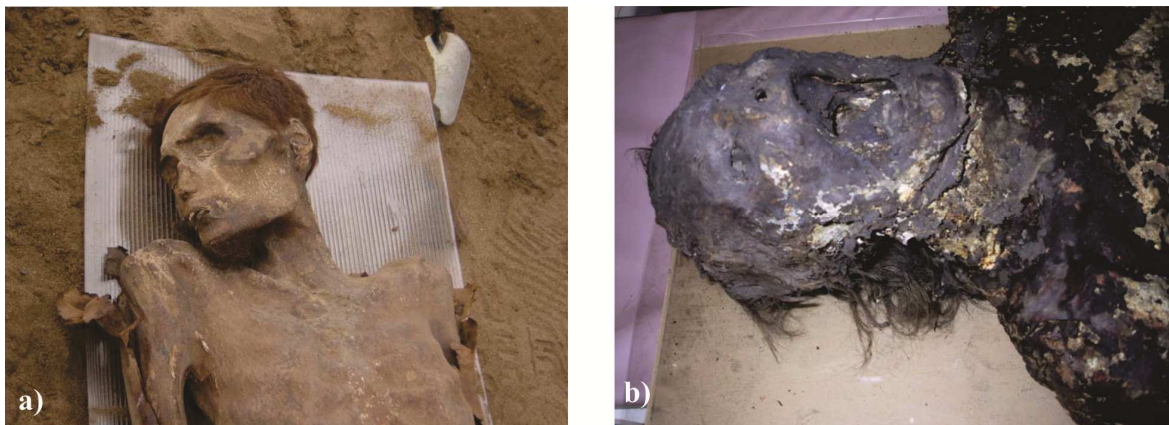


Figura 3.19 – a) Cadáver mumificado em solo arenoso na ilha deserta de San Lorenzo, no Peru. b) Cadáver feminino com formação de adipocere (saponificação), exposta no Museu Mütter em Filadélfia (adaptado de SCHOTSMANS et al, 2017).

Sobre a acidez do solo há pouca informação a respeito de seu efeito sobre a decomposição de cadáveres. Tibbert e Carter (2008) inferem uma relação extraída de outras disciplinas, como na botânica, onde em solos ácidos as plantas produzem um maior número de tanino, que pode, combinado com proteínas e carboidratos presentes no solo, resultar na diminuição da atividade microbiana. Assim, os solos ácidos podem resultar no enfraquecimento da decomposição do cadáver.

Em um experimento de Tafonomia forense, concretizado na Fazenda Universitária (Fazenda Água Limpa – FAL/UnB), foram sepultadas de seis carcaças de porcos, em diferentes profundidades, sendo 3 em profundidade de 0,60 m, no fim da estação chuvosa (março de 2010), e os demais na profundidade de 0,80 m, no fim da estação seca (setembro de 2010). As carcaças foram exumadas após o tempo de sepultamento de 90, 180 e 365 dias. As carcaças apresentaram grande quantidade de tecido mumificada (**Figura 3.20a**), mesmo após 365 dias de sepultamento, devido aos meses de pouca precipitação. Uma carcaça exumada após o período de precipitação, com 90 dias de sepultamento (**Figura 3.20b**), apresentou a ocorrência de saponificação (DEMO, 2013).

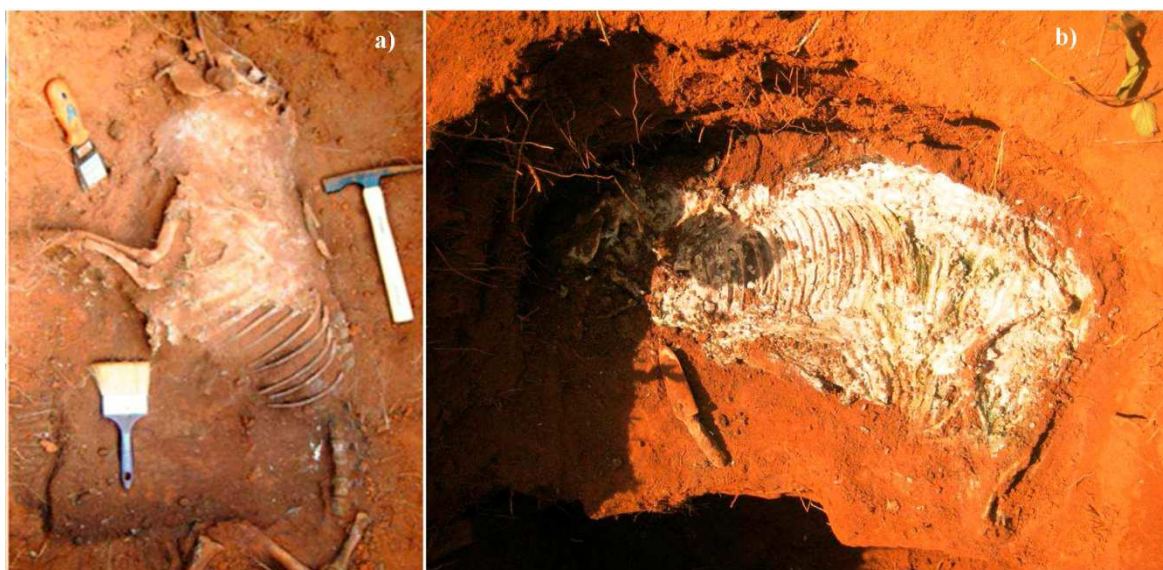


Figura 3.20 – Imagens da exumação de carcaças de suínos em uma área da FAL/UnB após 90 dias do sepultamento, mostrando a) mumificação e b) saponificação (DEMO, 2013).

Tumer et al. (2013), avaliou os processos de decomposição em 32 carcaças de suíno, em diferentes tipos de solo (barrento, argiloso, orgânico e arenoso). Em seu estudo mostrou que as mudanças relacionadas com a decomposição foram intensas em solos barrentos e orgânicos em comparação aos solos argilosos e arenosos. O grau de decomposição, nos diferentes tipos de solo pode ser observado na **Tabela 3.6**.

Em um estudo sobre a variação dos valores de condutividade da água subterrânea, para estimar o intervalo de pós-morte e pós-sepultamento em um ambiente de ocultação controlado, utilizando uma carcaça de suíno, Pringle et al (2009) observaram que houve um rápido aumento dos valores da condutividade do fluido durante o primeiro ano de sepultamento e que depois de dois anos os valores aumentaram lentamente. O rápido aumento dos valores foi relacionado aos períodos de seca, que com o aumento da temperatura do solo favoreceu a taxa de decomposição da matéria orgânica da carcaça.

Tabela 3.6 – Avaliação de parâmetros de decomposição visual em diferentes tipos de solo. Adaptado de Tumer et al. (2013).

Tipo de solo	Decomposição e Desarticulação				
	Pele	Cartilagem	Pelos e Casco	Ossos	Adipocere
Barrento	Alto	Médio	Alto	Alto	Alto
Argiloso	Baixo	Médio	Médio	Alto	Alto
Orgânico	Médio	Baixo	Alto	Médio	Baixo
Arenoso	Alto	Baixo	Alto	Médio	Baixo

3.3.1 A decomposição em diferentes cenários de sepultamento

Um corpo enterrado ou “despejado” pode ser acompanhado por uma variedade de materiais incluindo vestuário e outros envoltórios utilizados como ferramentas, plásticos e produtos de papel. Estes materiais irão responder a degradação em taxas diferentes que conduzem frequentemente à preservação diferencial. Estudos revelam que a presença de vestuário não só tem efeito sobre a decomposição do corpo, por restringir o acesso a outros micro-organismos decompositores, mas também modifica o ambiente de enterro, afetando as taxas de decomposição de materiais têxteis e outros associados (JANAWAY et al., 2003).

Os materiais de fibra sintética (nylon, poliésteres, elastano e acrílicos) são altamente resistentes à degradação química e biológica. Em um estudo de caso, foi estudada uma mulher enterrada há 16 anos, em um jardim no norte da Inglaterra em um túmulo de 0,8 m de profundidade em solo argiloso úmido. Durante a escavação, os tecidos moles eram adiposos e nenhuma vestimenta foi detectada, a não ser a meia-calça de nylon que se encontrava intacta na parte inferior do cadáver (JANAWAY et al., 2003).

Sobre sepultamento em concreto, a escassa literatura sobre o assunto, e limitada às informações relacionadas a eventos do crime organizado, descreve a conservação dos corpos neste tipo de cenário (MADEA et al 2003, TOMS et al 2008, FALLER MARQUARDT et al 2000 e GIBELLI et al. 2013). Schumann et al. (1995) descreveram um caso de vários cadáveres envolvidos em concreto que apresentaram boas condições relativas de preservação, após vários anos. A conservação do cadáver ocorre devido ao cimento apresentar uma estrutura química alcalina, que favorece a conservação de tecidos moles (adipocere), após a reação exotérmica, que favorece a aceleração da decomposição, a própria estrutura do concreto separa o cadáver do calor e do ar promovendo a diminuição da taxa de putrefação.

A prática de sepultamento com cal vem sendo utilizado desde a antiguidade, onde se preparava uma pasta de giz para preservar o corpo para a ressurreição, até os tempos modernos pelos nazistas ou em guerras civis na Espanha, África e ex-Iugoslávia (KLUG, 1989; GILCHRIST and SLOANE, 2005). Conforme a pesquisa desenvolvida por Schotsmans et al. (2014), em cenários de sepultamento com cal hidratado ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e cal calcário (CaO) de seis carcaças de porcos em um solo argiloso na Bélgica, os processos de decomposição foram retardados, favorecendo o processo de adipocere.

No cenário de sepultamento com corpo nu a influência da decomposição estará relacionada às propriedades físicas e químicas do solo.

No cenário de sepultamento com caixão a decomposição ocorrerá pelos micro-organismos decompositores em ambiente anaeróbio, e a qualidade e tipo da madeira utilizada na construção do caixão, têm influência na taxa de decomposição.

CAPÍTULO 4

4 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Neste capítulo serão apresentados os parâmetros de aquisição dos métodos GPR e de Eletrorresistividade, antes e após o sepultamento dos alvos.

4.1 ANTES DO SEPULTAMENTO DOS ALVOS NA ÁREA DO SCGF-UnB

4.1.1 GPR

Após o levantamento topográfico da área do SCGF-UnB, foi realizada a aquisição com o método GPR utilizando os equipamentos: Detector Duo (Ingenheria Dei Sistem – IDS) com antenas de 250 MHz e 700 MHz; e o equipamento SIR3000 (Geophysical Survey Systems – GSSI com antena de 400 MHz. Os equipamentos de GPR utilizados são de propriedade do Departamento de Criminalística da Polícia Federal no Distrito Federal. As aquisições foram realizadas, com afastamento *common offset*, no modo contínuo (antena acoplada e arrastada no solo).

As aquisições de GPR foram realizadas no mês de maio de 2014 nos dias 15 e 16 de maio com as antenas de 200 e 700 MHz e nos dias 24 e 25 de maio com a antena de 400 MHz. Os dados de precipitação neste período mostram uma baixa incidência de chuvas, com o valor máximo de 8,6 mm, ocorrido durante os dias 25 a 27 de maio (**Figura 4.1**).

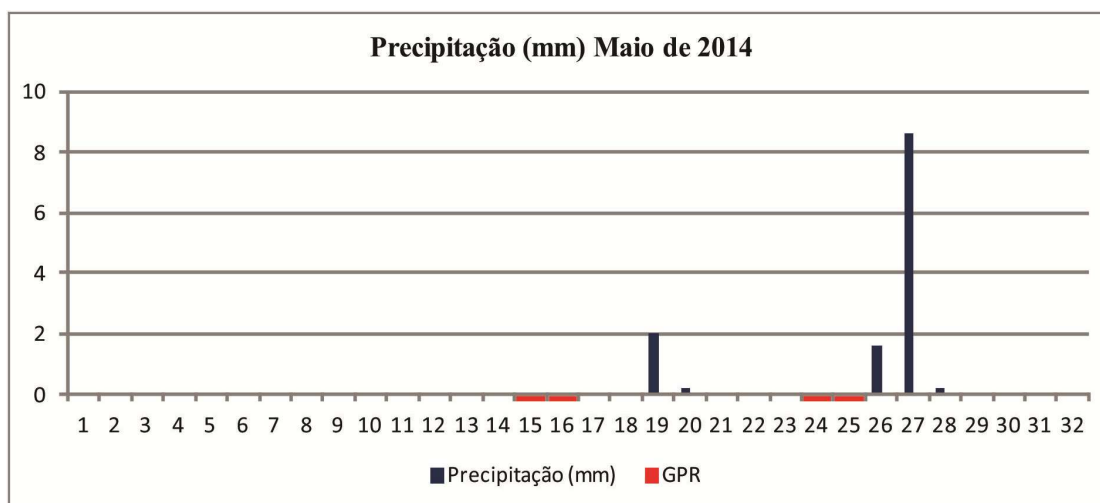


Figura 4.1 – Gráfico de precipitação do mês de maio de 2014 na área da FAL-UnB, durante o mês de aquisição dos radargramas para determinação do BG da área do SCGF-UnB.

Foram adquiridos 144 radargramas, para cada antena utilizada, somando um total de 432 radargramas adquiridos sobre a área do SCGF. Os parâmetros de aquisição dos radargramas, para cada antena, podem ser visto na **Tabela 4.1**.

Para o correto posicionamento e orientação dos radargramas foram utilizadas duas trenas de 50 m (posicionadas nas extremidades da área do SCGF-UnB). Os limites da área de aquisição dos radargramas têm comprimento de 15 m (finalizando próximos à cerca), e o espaçamento entre os radargramas, e 0,10 m. Com a utilização de uma corda (não elástica) foram posicionados, em simetria, o início e fim de cada linha levantada, com a direção de aquisição de nordeste para sudoeste, comprimento máximo de 38 m (**Figura 4.2**).

Como a área do SCGF-UnB é cercada por arame farpado, buscando-se minimizar a sua interferência, foi determinado um deslocamento de 2 m da cerca para o início das aquisições. A distância entre a linha de origem do radargrama (linha verde – **Figura 4.2**) e a cerca possibilitou um espaço adequado para acomodar as estruturas das antenas GPR e preservar a segurança do operador.

Tabela 4.1 – Parâmetros de aquisição dos radargramas na área do SCGF-UnB.

Antenas	Janela Temporal (ns)	Amostragem Espacial (m)	Num. de Amostras por Traço
250	126	0,027	512
400	80	0,02	1024
700	126	0,027	512

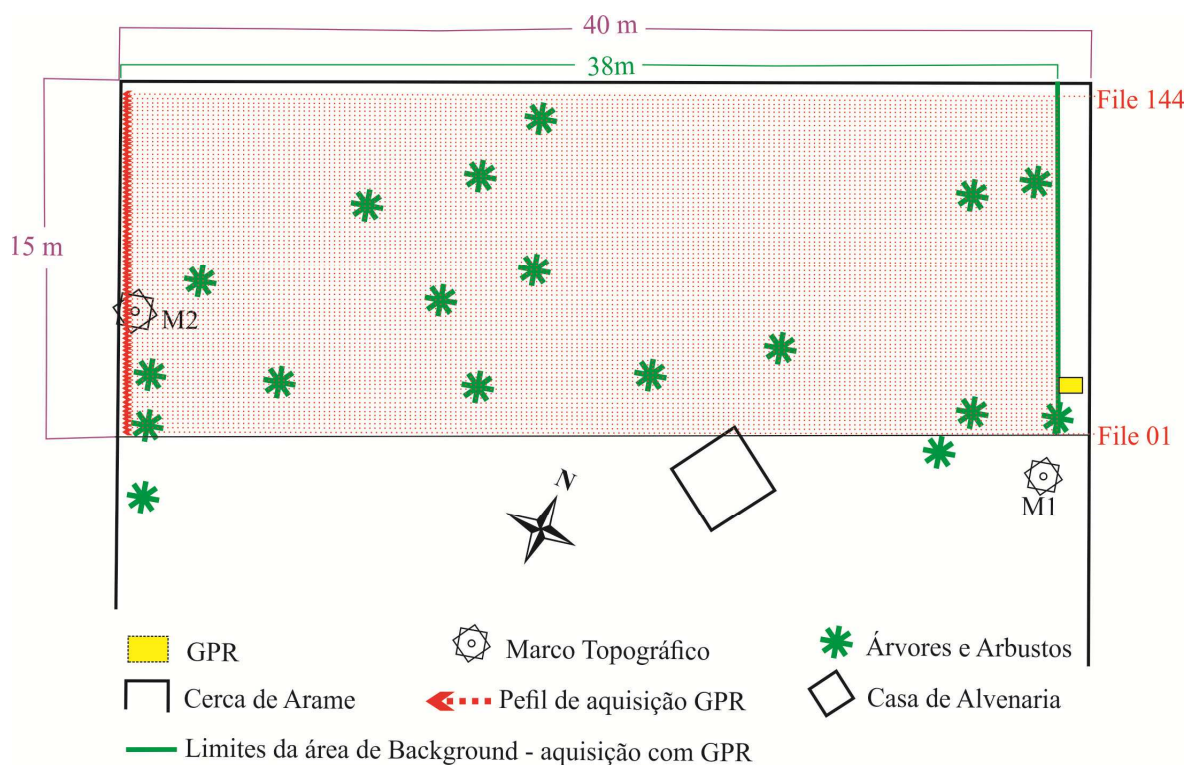


Figura 4.2 – Croqui da área do SCGF-UnB e o esquema de aquisição dos radargramas para determinação do BG.

4.1.2 Eletrorresistividade

As aquisições de eletrorresistividade na área do SCGF-UnB, antes do sepultamento dos alvos, foram realizadas no mês de outubro de 2014. Os dados de precipitação ocorridos na área, durante as aquisições das seções de eletrorresistividade (2 a 9 de outubro), apresentam o valor de 8 mm de chuva, ocorrido no dia 2 de outubro. O gráfico de precipitação pode ser visto na **Figura 4.3**. O esquema de aquisição escolhido foi o de caminhamento elétrico, utilizando-se os arranjos Dipolo-dipolo (DD) e Wenner-Schlumberger (WS).

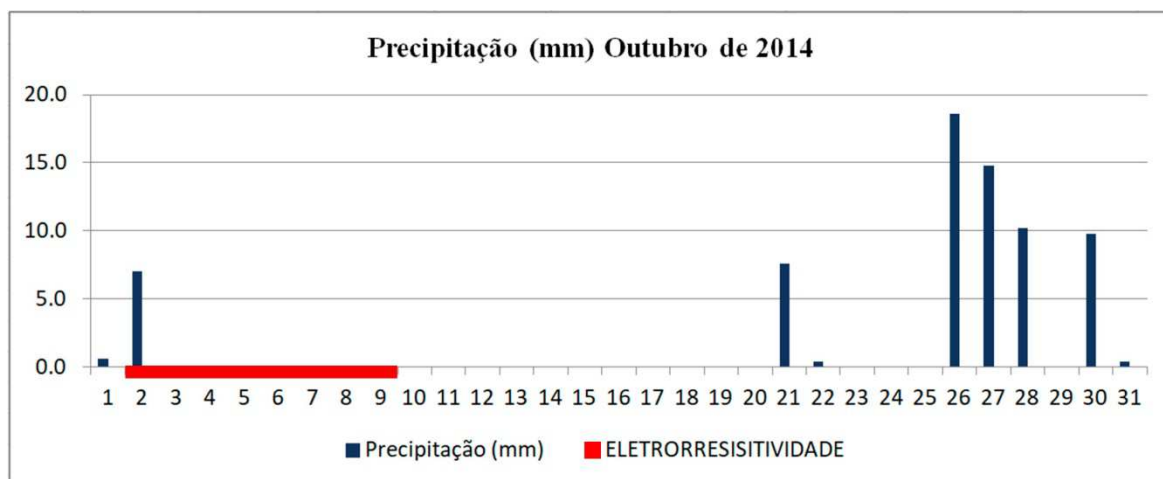


Figura 4.3 – Gráfico de precipitação do mês de outubro de 2014 na área da FAL-UnB, durante o mês de aquisição das seções de eletrorresistividade para determinação do BG na área do SCGF-UnB.

O protocolo de aquisição de dados com o cabo multieletrodo foi elaborado no programa ELECTRE II, versão 05, da IRIS Instruments. Na **Tabela 4.2** são apresentadas as informações utilizadas para as rotinas de aquisição.

Tabela 4.2 – Parâmetros de aquisição dos arranjos (DD) e (WS)

Arranjos	Quantidade de Eletrodos	Espaçamento entre os eletrodos (m)	Quantidade de pontos	Níveis de Investigação	Tempo de Aquisição (min)
DD	60	1,0	999	11	40 s
WS	60	1,0	816	11	44
Tempo de montagem		1,0	01 pessoa		72

A **Figura 4.4** apresenta a espacialização dos pontos de investigação para o protocolo de aquisição dos arranjos DD e WS com 60 eletrodos. É observado que o arranjo DD possui uma quantidade maior de pontos nos níveis superficiais, e que possui uma menor profundidade de investigação (5 m). O arranjo WS atinge uma maior profundidade de investigação (8 m), porém produz uma menor malha de pontos entre os níveis de investigação.

O equipamento utilizado nas aquisições de eletrorresistividade foi o equipamento multieletrodo SYSCAL PRO 72 canais (fabricado pela empresa francesa IRIS Instruments) em conjunto com cabos multicanais, com 60 eletrodos de aço e 8 *switch box*, de propriedade do Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA), do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – UnB. Como fonte de energia foram utilizadas baterias automotivas de 12 volts e 45 Amperes.

Na **Figura 4.5** é representado o esquema de aquisição das linhas de eletrorresistividade levantadas na área do SCGF – UnB, onde foram adquiridas 14 linhas de eletrorresistividade, com os arranjos DD e WS, totalizando 28 linhas de eletrorresistividade com o comprimento de 59 m. O tempo gasto para cada linha de eletrorresistividade foi de 72 minutos no arranjo DD, e de 54 minutos no modo WS. Como a profundidade de sepultamento dos alvos na área do SCGF-UnB é de 1 m, posicionou-se os eletrodos sobre a área, de tal forma que os pontos de investigação representasse a melhor perfil de eletrorresistividade aparente possível do subsolo, até a profundidade de 5 m.

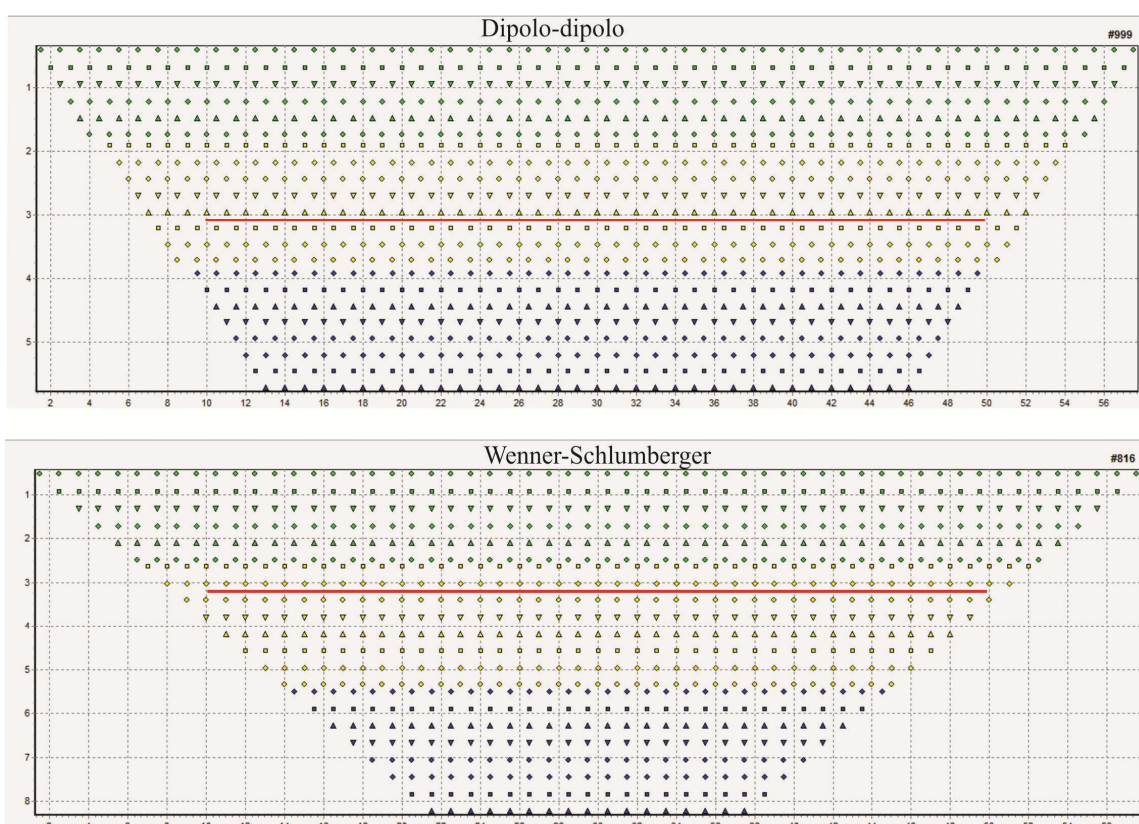


Figura 4.4 – Representação espacial dos pontos de investigação de eletrorresistividade. Linha vermelha simboliza o comprimento da área do SCGF-UnB (40 m) e a melhor profundidade (3 m) sem a perda lateral dos pontos de investigação.

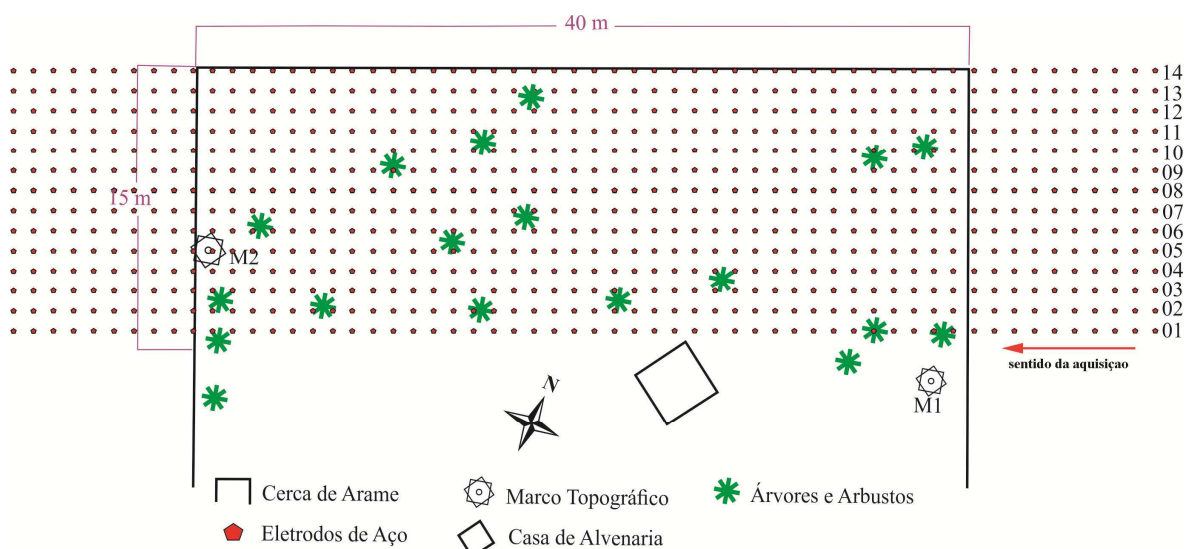


Figura 4.5 – Croqui das linhas de eletrorresistividade e seu posicionamento, representado pela posição dos eletrodos (espaçamento de 1 m) sobre a área do SCGF-UnB.

4.2 APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS NA ÁREA DO SCGF-UnB

4.2.1 GPR

Logo após o sepultamento foi realizada uma aquisição GPR, com a antena de 400 MHz, sobre cada fileira (com e sem a carcaça de suíno), com objetivo de identificar a localização dos alvos sepultados em cada cenário e comparar com os outros radargramas adquiridos.

Na descrição dos cenários, observa-se a presença de refletores contínuos de baixa a média amplitude, variando entre 0,10 a 0,15 m de profundidade, relacionados à terraplanagem da área feita após a instalação dos alvos. Observa-se também a presença de refletores centralizados de alta amplitude entre 0,30 e 0,36 m de profundidade, que foram identificados em todas as covas (com exceção do cenário de sepultamento com solo revirado), os quais estão relacionados às barras de ferro utilizadas para identificar os limites das covas.

Após duas semanas do sepultamento dos alvos (16/01/2015), foram realizadas aquisições 2D de GPR sobre as cavas falsas e verdadeiras, com o equipamento IDS (antenas de 250 e 700 MHz) e com o equipamento GSSI (antena de 400 MHz), para identificar as alterações após sepultamento. Os radargramas foram analisados para

estabelecer os parâmetros adequados de processamento e identificar novos critérios de aquisição.

Aplicado o método de Grasmueck et al. (2005) nos radargramas 2D, adquiridos sobre as covas, com as antenas de 250, 400 e 700 MHz, observou-se que os espectros F-K (**Figura 4.6**) apresentaram valores de maior energia nos intervalos de comprimento de onda (K_x) entre ± 7 (1/m) para antena de 250MHz, 9(1/m) para antena de 700MHz e 8 (1/m) para a antena de 400 MHz. Aplicando estes valores à Equação 3.15, foram encontrados valores de intervalos mínimos de amostragem espacial, entre os radargramas, para cada frequência das antenas utilizadas na aquisição (**Tabela 4.3**). Por conveniência foi estabelecido o menor espaçamento entre os radargramas (0,05 m) para todas as aquisições de GPR.

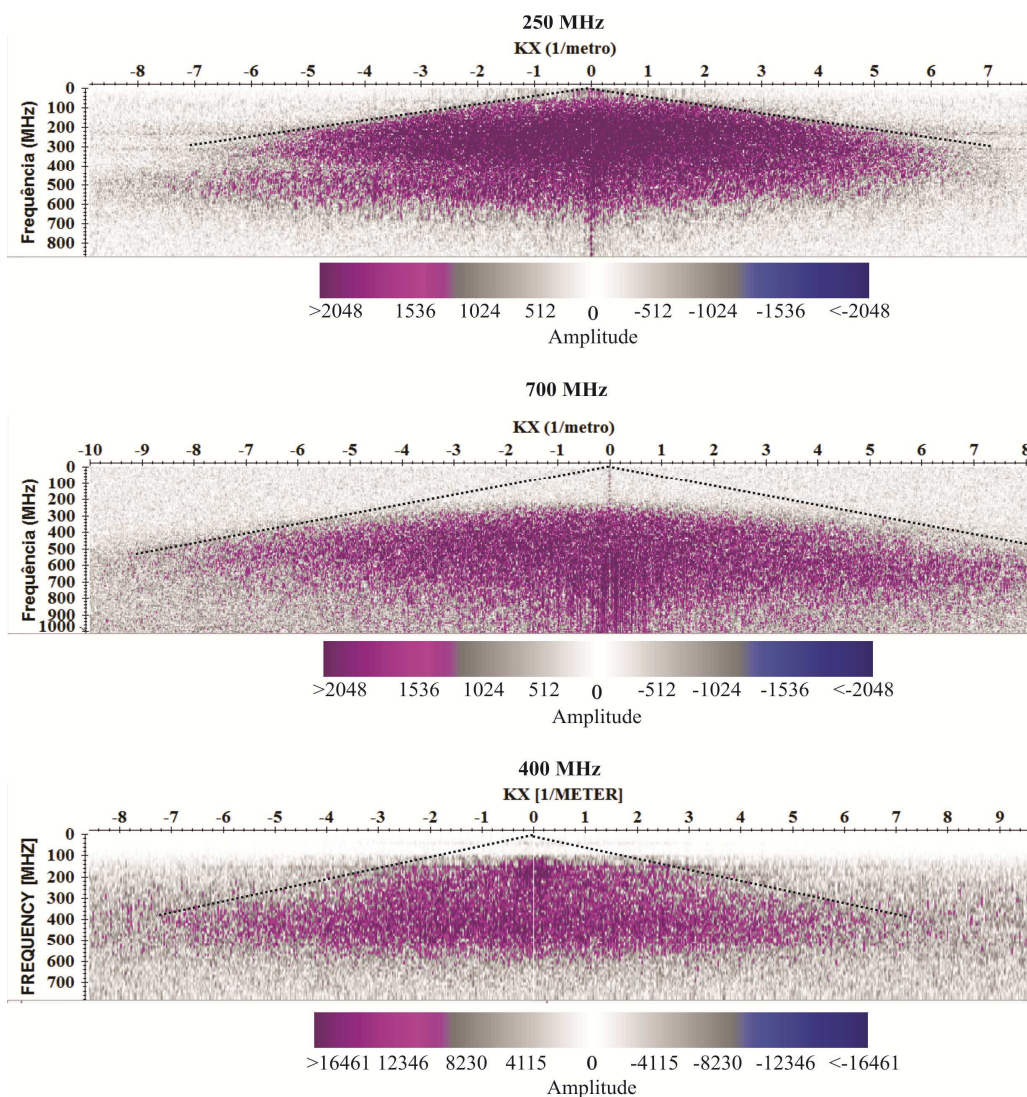


Figura 4.6 – Espectro F-K dos radargramas adquiridos com as antenas de 200, 400 e 700 MHz sobre a área do SCGF-UnB.

Tabela 4.3 – Valores de espaçamento mínimo dos radargramas para cada tipo de antena utilizada na área SCGF/UnB.

Antenas	Valor de KX (1/m)	Espaçamento entre os radargramas
200 MHz	6	0,083 m
400 MHz	7	0,071 m
700 MHz	9	0,055 m

Com intenção de dinamizar o tempo das aquisições na área do SCGF-UnB, foram realizadas aquisições de GPR 2D somente sobre as fileiras das covas, dentro de uma subárea de 28 m por 8 m (**Figura 4.7**). O tempo gasto para a aquisição de 109 radargramas foi de 215 minutos por antena.

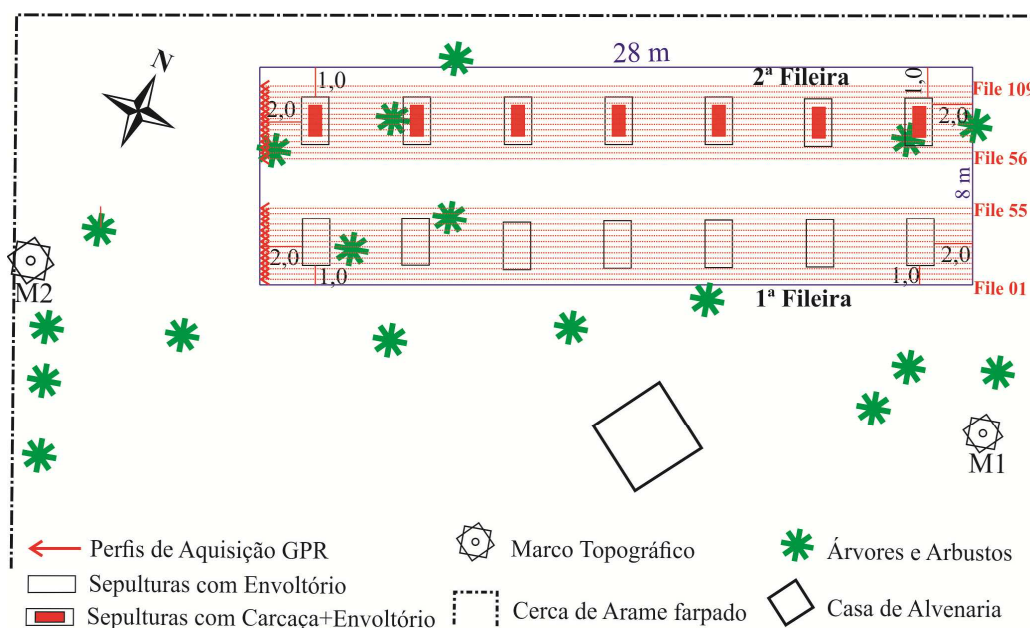


Figura 4.7 – Croqui do SCGF-UnB, com a representação das linhas de aquisição sobre as covas, após o sepultamento dos alvos.

As aquisições após o sepultamento dos alvos foram realizadas nos meses de acumulação dos períodos de chuva e seca (maio e setembro) dos anos de 2015 e 2016 (**Figura 4.8**). A escolha dos meses de acumulação tem o objetivo de analisar as mudanças do sinal eletromagnético, sobre as covas, entre os períodos de maior acumulo de precipitação e estiagem.

No ano de 2015, as aquisições dos dados de GPR, no período de chuva, ocorreram nos dias 15 e 23 do mês de maio, e o valor total de precipitação acumulado (precipitação de 2015) foi de 716 mm de chuva. As aquisições no período de seca ocorreram nos dias 15 e 22 de setembro, que apresentou um valor total de precipitação acumulado (estiagem de 2015) de 25 mm de chuva (**Figura 4.8a**).

Em 2016, as aquisições dos radargramas ocorreram nos dias 16 e 25 de abril, mês que apresentou um valor acumulativo de precipitação de 639 mm de chuva. As aquisições no período da seca ocorreram nos dias 19 e 24 de setembro, mês que apresentou um acumulativo de precipitação, entre os meses de estiagem, de 78 mm de chuva (**Figura 4.8b**).

A **Figura 4.9** evidencia as aquisições dos radargramas, com as antenas de 200 e 700 MHz, durante os períodos de chuva (figura 4.9a) e seca (figura 4.9c). E aquisições com a antena de 400 MHz, durante os períodos de chuva (figura 4.9b) e seca (figura 4.9d), na área do SCGF-UnB.

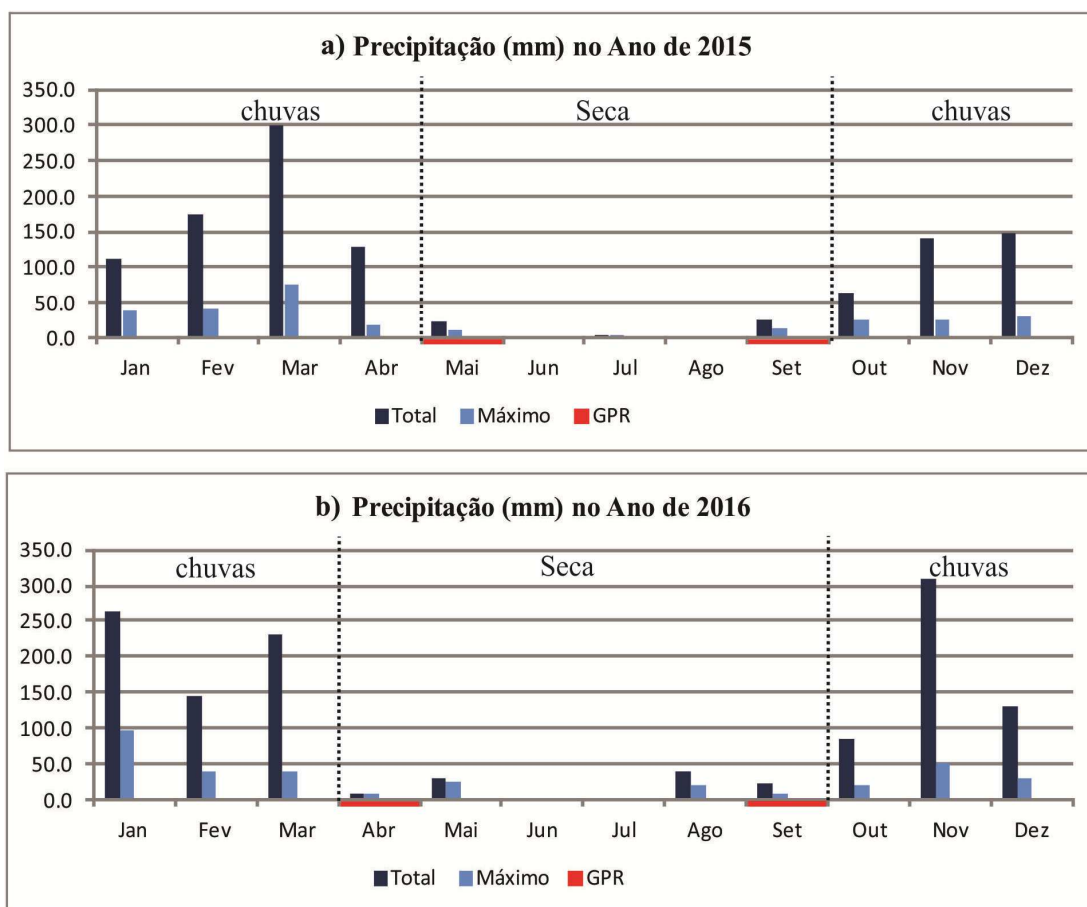


Figura 4.8 – Gráficos de precipitação ocorridos nos anos de 2015 (a) e 2016 (b) na área da FAL-UnB, em vermelho o meses de aquisição dos radargramas na área do SCGF-UnB.



Figura 4.9 – Fotos das aquisições dos radargramas na área do SCGF-UnB, após o sepultamento dos alvos. Aquisições com as antenas de 250 MHz, 700 MHz (a) e 400 MHz (b), no período de precipitação. E aquisição com as antenas de 250, 700 MHz (c) e 400 MHz (d), no período de estiagem.

No período de seca de 2016, as barras de ferro foram removidas de todas as covas (com exceção do cenário de sepultamento em concreto), com o objetivo de se observar os limites reais das covas, sem a interferência das barras.

4.2.2 Eletroresistividade

Os levantamentos de Eletroresistividade ocorreram no fim do período de seca de 2015, no mês de outubro (nos dias 01, 02 e 03), com valor de precipitação acumulada, entre os meses de maio a setembro, de 49,3 mm de chuva (**Figura 4.10**). A primeira aquisição das seções de eletroresistividade teve o objetivo de identificar a melhor resolução para representar os valores de resistividade associados às mudanças de solo e à presença de materiais sepultados, levando em consideração o tipo de equipamento utilizado e a dinâmica de aquisição em campo (tempo de montagem e aquisição das seções). Foram

coletadas seções de resistividade 2D somente, sobre as covas da área do SCGF-UnB (Figura 4.11).

Os arranjos utilizados foram o WS e DD, com espaçamento entre os eletrodos de 1,00 m e 0,50 m. As informações sobre número de níveis, profundidade, número de eletrodos e tempo de aquisição são apresentados na Tabela 4.4. O tempo de montagem das linhas de aquisição de eletrorresistividade levou em consideração o tempo gasto na colocação dos eletrodos no solo, acoplamento de cabos, e para molhar com água os eletrodos para baixar os valores de resistividade de contato.

Tabela 4.4 – Parâmetros de aquisição dos arranjos DD e WS aplicados no período de seca de 2015.

Arranjos	Quantidade de Eletrodos	Espaçamento entre os eletrodos (m)	Quantidade de pontos	Níveis de Investigação	Tempo de Aquisição (min)
DD	48	1,0	587	15	40
WS	48	1,0	556	15	44
DD	54	0,50	677	15	44
WS	54	0,50	646	15	49
Tempo de montagem		1,0	03 pessoas		32
Tempo de montagem		0,50	02 pessoas		55

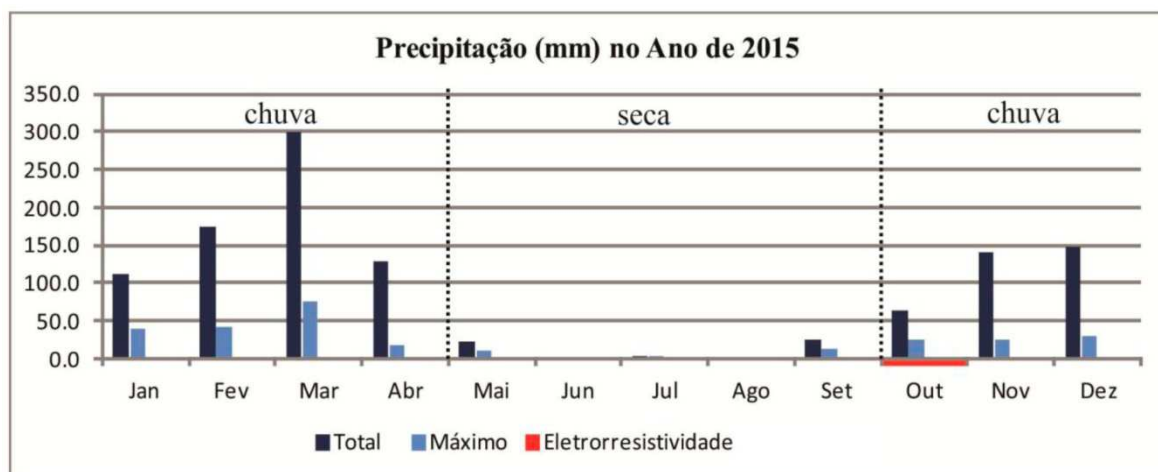


Figura 4.10 – Gráfico de precipitação no ano de 2015 na área da FAL-UnB, em vermelho o mês de aquisição das seções de eletrorresistividade na área do SCGF-UnB.

A **Figura 4.13** evidencia as aquisições das seções de eletrorresistividade durante os períodos de seca no ano de 2015 (Figura 4.14a), e nos períodos de chuva (Figura 4.14b) e seca (Figura 4.14c) do ano de 2016, na área do SCGF-UnB. Durante a análise dos dados do período de seca de 2015, foi observado que após molhar os eletrodos com água (Figura 4.14d), com a intenção de melhorar o contato entre o eletrodo e o solo, os valores de resistividade de contato diminuíram por um curto período de tempo, voltando a apresentar altos valores de contato. Como prevenção foi substituída a rega com água pelo uso de um gel condutor que suportou o clima quente e manteve os valores de resistividade de contato baixos até o fim das aquisições (Figura 4.14e).



Figura 4.13 – Tomografia após o sepultamento nos períodos de: a) seca/2015; b) chuva/2016; c) seca/2016, d) e e) água e gel para redução de resistência de contato.

Após o processamento e a análise dos dados coletados no período de seca de 2015, foi estabelecido o uso do arranjo DD, com espaçamento entre os eletrodos de 0,25 m nas aquisições das seções de eletrorresistividade para os períodos de chuva e seca no ano de 2016 (**Figura 4.14**). Os parâmetros de aquisição como número de níveis, quantidade de eletrodos e tempo de aquisição, são apresentados na **Tabela 4.5**.

Tabela 4.5 – Parâmetros de aquisição dos arranjos DD e WS aplicados nos períodos de chuva (ch) e seca (sc) no ano de 2016.

Arranjos	Quantidade de Eletrodos	Espaçamento entre os eletrodos (m)	Quantidade de pontos	Níveis de Investigação	Tempo de Aquisição (min)
DD(ch)	72	0,25	944	18	46
DD(sc)	72	0,25	1346	22	144
Tempo de montagem(ch)		0,25	02 pessoas		22
Tempo de montagem(sc)		0,25	01 pessoa		32

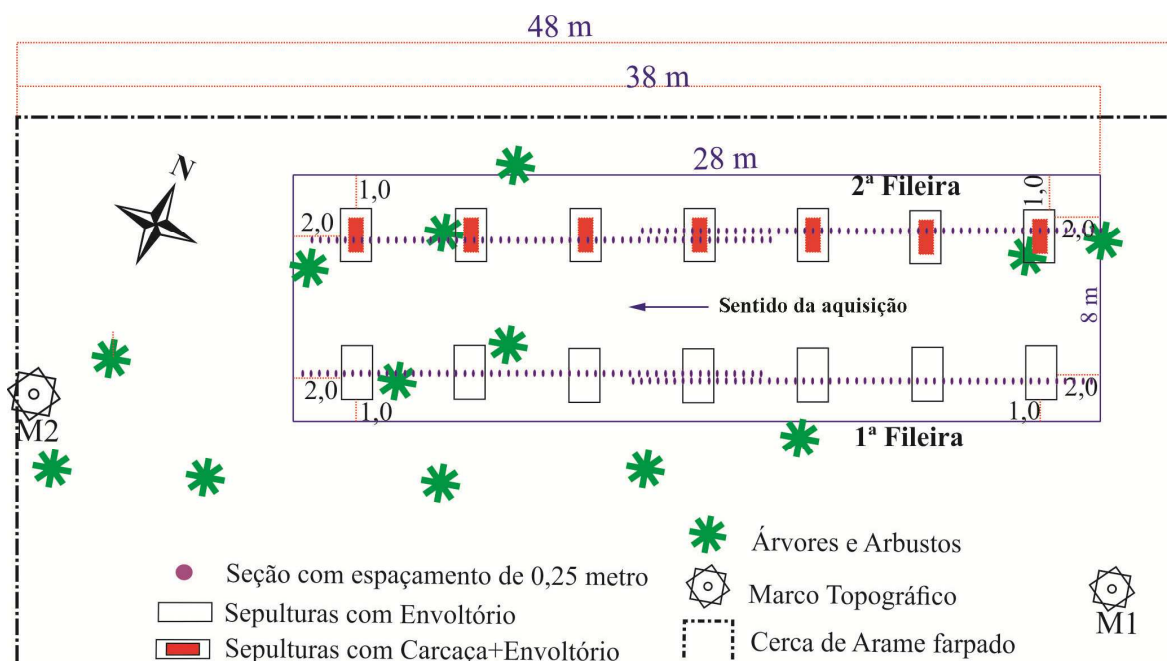


Figura 4.14 – Linhas de Eletrorresistividade das seções de eletrorresistividade, após sepultamento dos alvos, com espaçamento de 0,25 m (pontos de cor roxa) nos períodos de chuva e seca de 2016.

CAPÍTULO 5

5 PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

5.1 BACKGROUND DA ÁREA DO SCGF-UnB

5.1.1 GPR

Para o processamento dos radargramas, utilizou-se o software Reflex-Win, versão 7.5.2 (SANDMEIER, 2014). A rotina de processamento foi estabelecida através da análise dos espectros de amplitude da frequência central das antenas de 250, 400 e 700 MHz (**Figura 5.1**). Todas as antenas apresentaram deslocamento da frequência central para valores de baixa frequência, devido aos efeitos de propagação. A antena de 250 MHz apresentou o menor deslocamento do sinal, e a antena de 400 MHz, o maior. A rotina de processamento empregada nos radargramas foram: correção estática, subtração da média (*dewow filter*), remoção do sinal de fundo (*background remove*), ganho de decaimento de energia e filtro f_k (descritos no capítulo 3).

Na **Figura 5.2** são apresentados os radargramas obtidos com as antenas de 250, 400 e 700 MHz após a rotina de processamento. A área do SCGF-UnB é caracterizada por uma estrutura de poucas reflexões, com a presença de pequenos refletores hiperbólicos relacionados a existência de raízes, como mostra a figura.

Após o processamento, os radargramas 2D foram agrupados para formar imagens pseudo-3D (**Figura 5.3**).

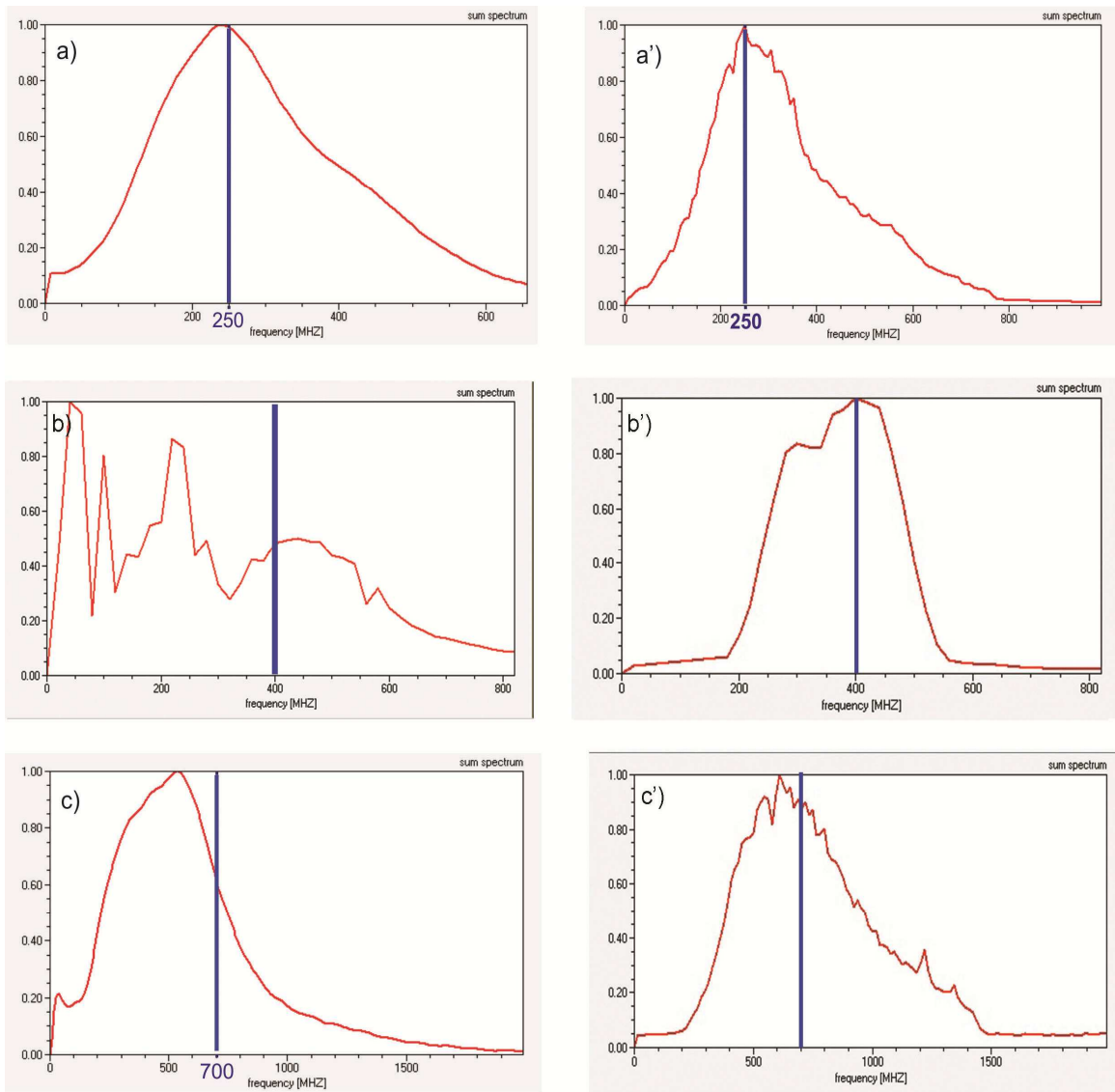


Figura 5.1 – Espectros de amplitude obtidos com dados brutos (esquerda) e dados processado (direita) com 250 MHz (topo da figura), 400 MHz (posição intermediária) e 700 MHz (base).

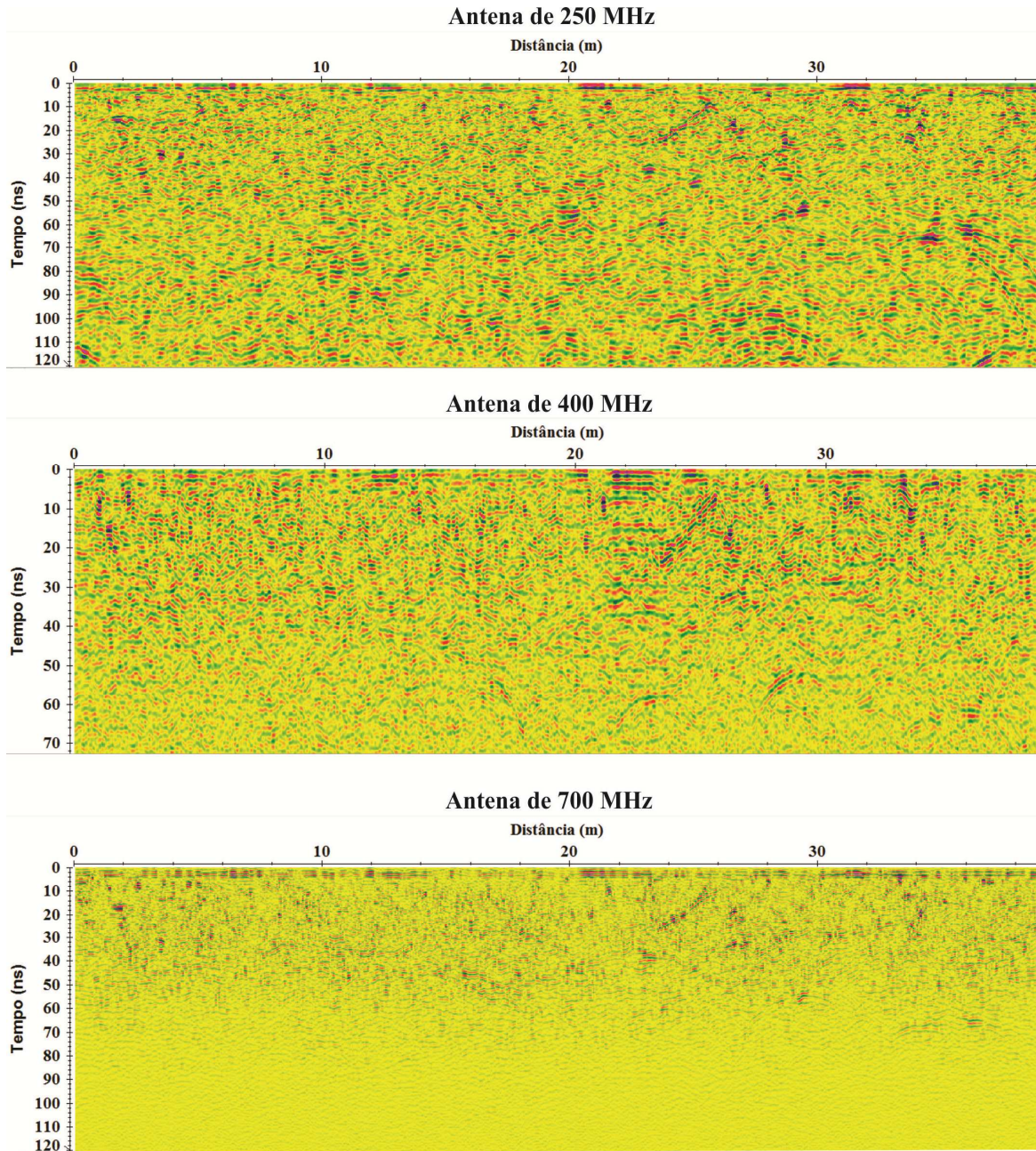


Figura 5.2 – Radargramas das antenas de 250, 400 e 700 MHz após a rotina de processamento.

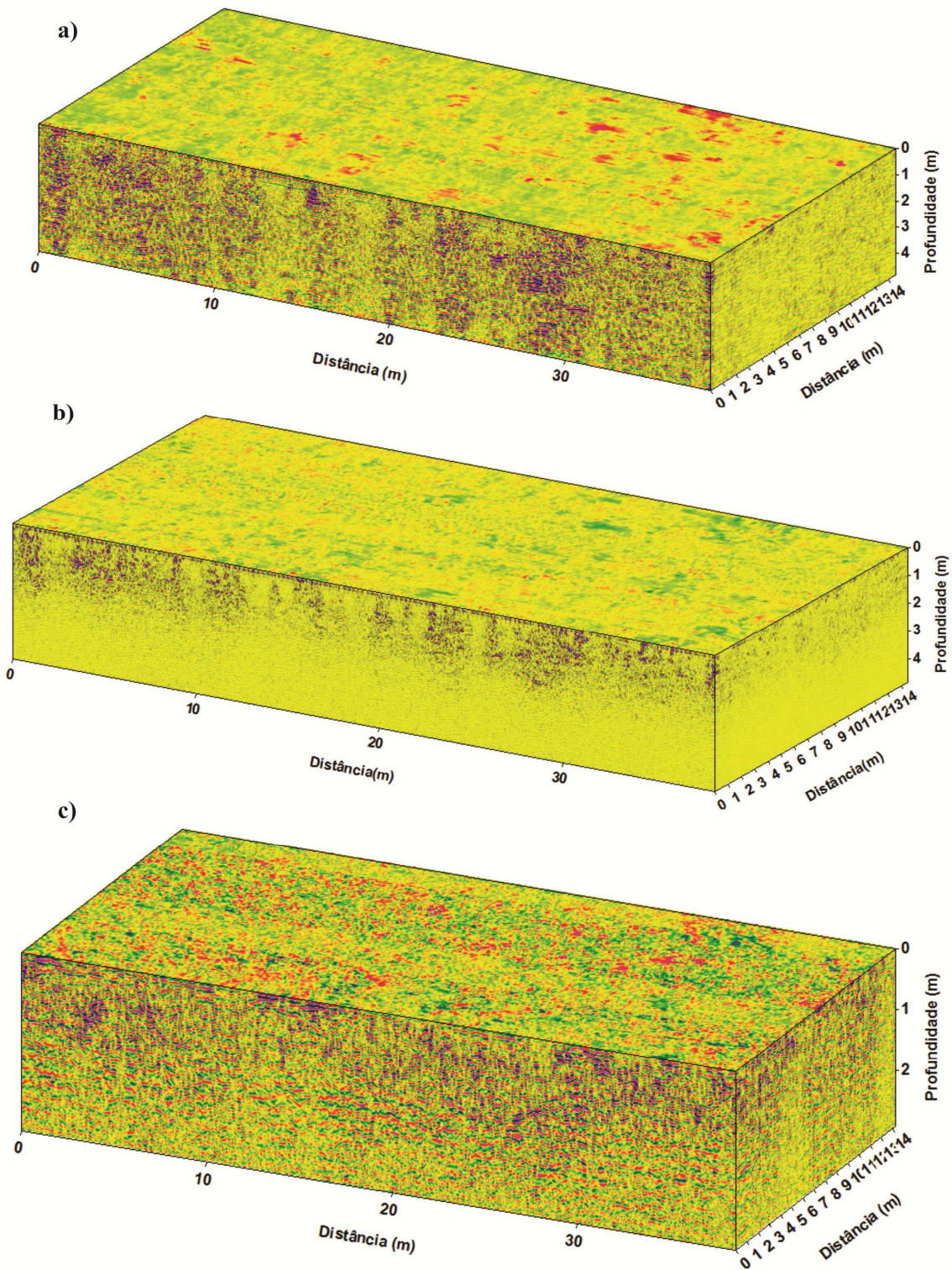


Figura 5.3 – Blocos diagramas formados com os radargramas obtidos com (a) 250 MHz, (b) 700 MHz e (c) 400 MHz, antes do sepultamento dos objetos.

5.1.2 Eletrorresistividade

A organização e a filtragem das linhas de eletrorresistividade foram realizadas no programa PROSYS II (IRIS Instruments). Posteriormente exportaram-se os dados para o formato do programa de modelagem e inversão RES2DINV, versão 3.4 (Geotomo Software), que consiste em um arranjo de blocos retangulares, distribuídos de acordo com o espaçamento dos pontos de eletrorresistividade coletados.

A rotina de inversão utiliza o vínculo da suavidade (SASAKI, 1989) que é um método de otimização que tenta reduzir a diferença entre os valores de dados de resistividade medidos em campo, e os calculados, ajustando os valores nos blocos do modelo para valores muito próximos entre si. A diferença entre os valores é dada pelo erro médio quadrático (Root Mean Square – RMS).

O RMS é estimado tomando uma amostra dos valores calculados e comparando com os valores medidos. As diferenças entre eles são levadas ao quadrado e somadas. A soma é dividida pelo número de medidas, para que se tenha a média, onde a raiz quadrada forneça uma medida.

Os dados foram submetidos a um processo de suavização pelo método de Gauss-Newton que recalculou as derivadas da matriz jacobiana para todas as iterações. Os valores de resistividade aparente medido e calculado foram modelados até a quinta interação.

A **Figura 5.4** apresenta uma seção de eletrorresistividade, sobre a área do SCGF-UnB, após a inversão. O resultado da inversão exibe um RMS com 6,4%, após a 5ª interação. Na **Figura 5.5** observa-se o resultado da inversão dos dados de resistividade dos arranjos Dipolo-dipolo (DD) e Wenner-Schlumberger (WS). Os arranjos DD e WS apresentaram uma seção de resistividade aparente com duas camadas bem definidas, sendo a primeira na profundidade entre 0 a 3 m de profundidade, com valores de resistividade acima de 5000 Ohm.m, e a segunda abaixo de 3 m de profundidade, com valores entre 400 a 5000 Ohm.m de resistividade aparente.

As figuras 5.4 e 5.5 referem-se à linha adquirida sobre a fileira de covas somente com envoltórios.

A seção de resistividade aparente, adquirida pelo arranjo DD apresenta uma profundidade de investigação menor que a seção adquirida pelo arranjo WS. Entretanto a seção de eletrorresistividade do arranjo DD apresenta uma melhor resolução lateral, permitindo uma melhor cobertura lateral em profundidade.

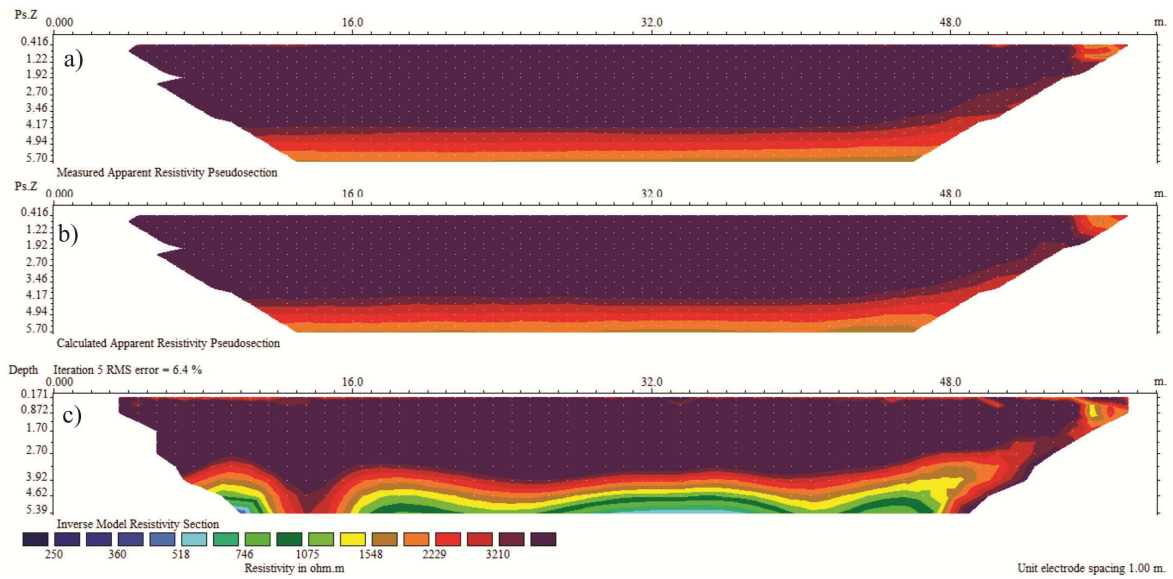


Figura 5.4 – Dados obtidos com o arranjo dipolo-dipolo antes do enterramento dos alvos na linha 09. Resistividade aparente (a) medida e (b) calculada para o (c) modelo de distribuição de resistividades obtido por meio de inversão.

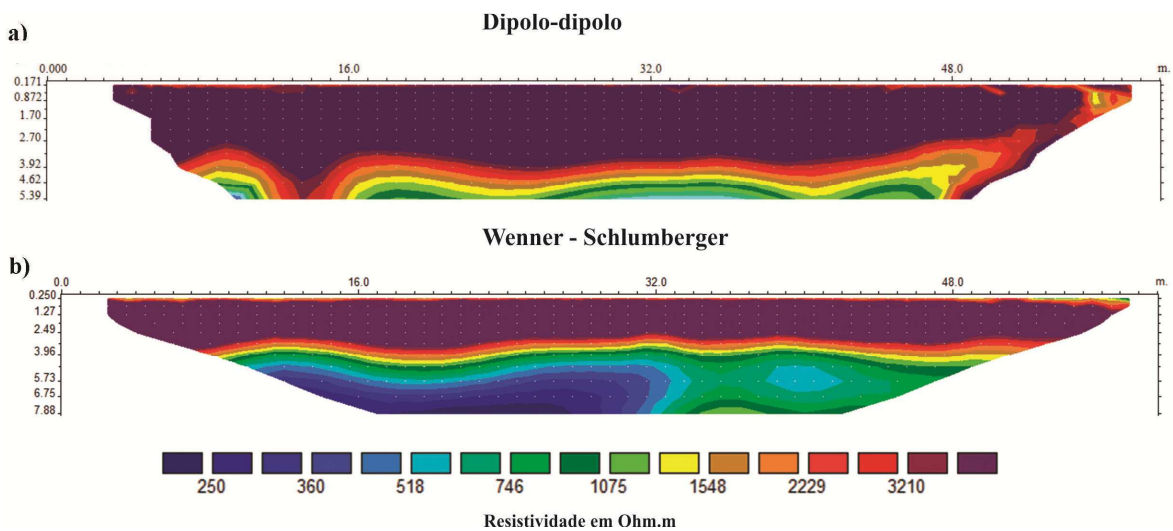


Figura 5.5 – Distribuição de resistividades obtidas por meio de inversão de dados medidos com arranjo (a) dipolo-dipolo e (b) Wenner-Schlumberger antes do sepultamento.

5.2 APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS NA ÁREA DO SCGF-UNB

5.2.1 GPR

Os radargramas após o sepultamento dos alvos foram processados no software Reflex-Win, versão 7.5.2, segundo a mesma rotina utilizada no processamento dos dados do BG (item 5.1.1) com a adição da operação de migração.

A **Figura 5.6** apresenta o radargrama obtido com 250 MHz após o sepultamento na área do SCGF-UnB na linha sobre as covas somente com envoltórios. No radargrama são observados refletores associados aos vergalhões de referência, solo revirado e ao alvo enterrado (lona plástica), mostrados em detalhe na Figura 5.6b.

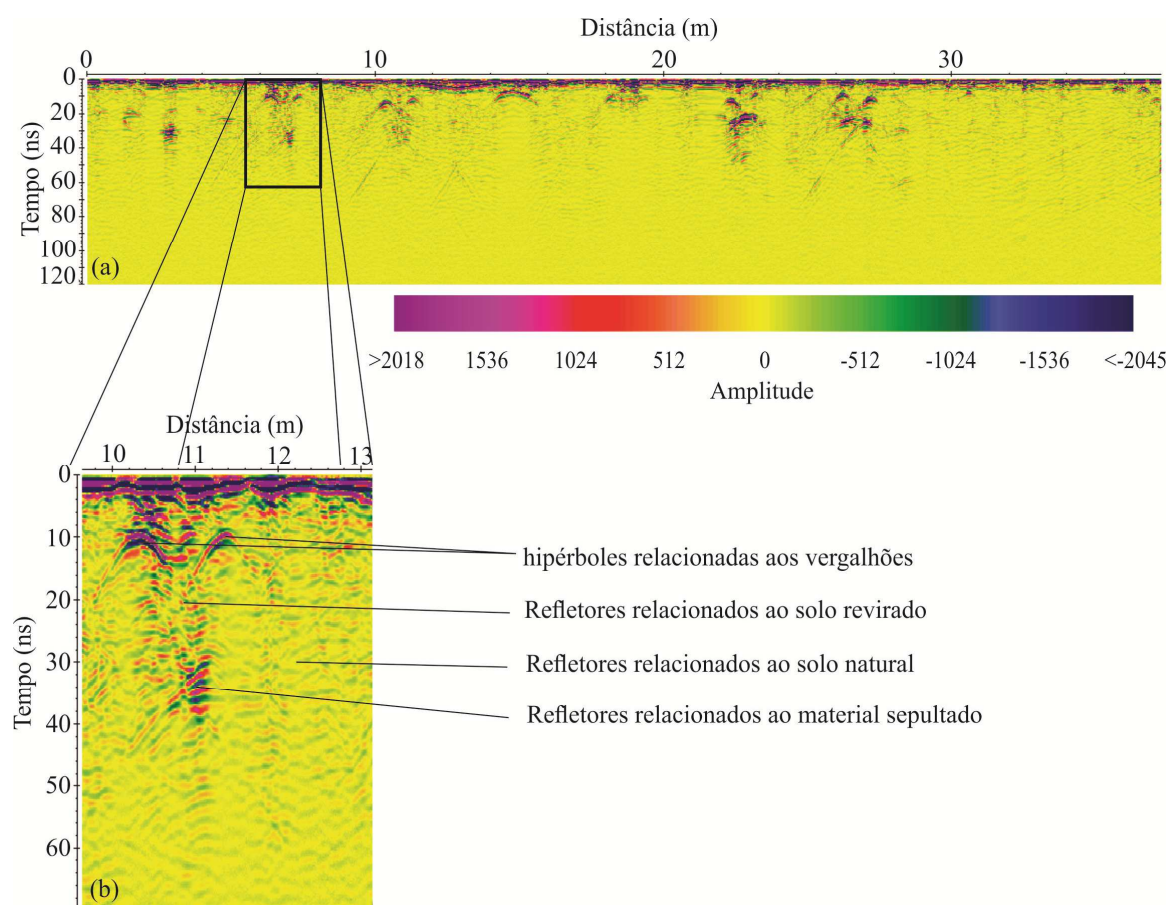


Figura 5.6 – (a) Radargrama sobre as covas sem carcaças de porcos (antena de 250MHz). (b) detalhe da cova com lona plástica

Com a profundidade real dos objetos (h) e os valores de tempo duplo de trânsito da onda eletromagnética (t) sobre cada evento hiperbólico atribuído aos artefatos

sepultados (Figura 5.7), obteve-se as velocidades médias de propagação da onda eletromagnética (v):

$$v = \frac{2h}{t} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

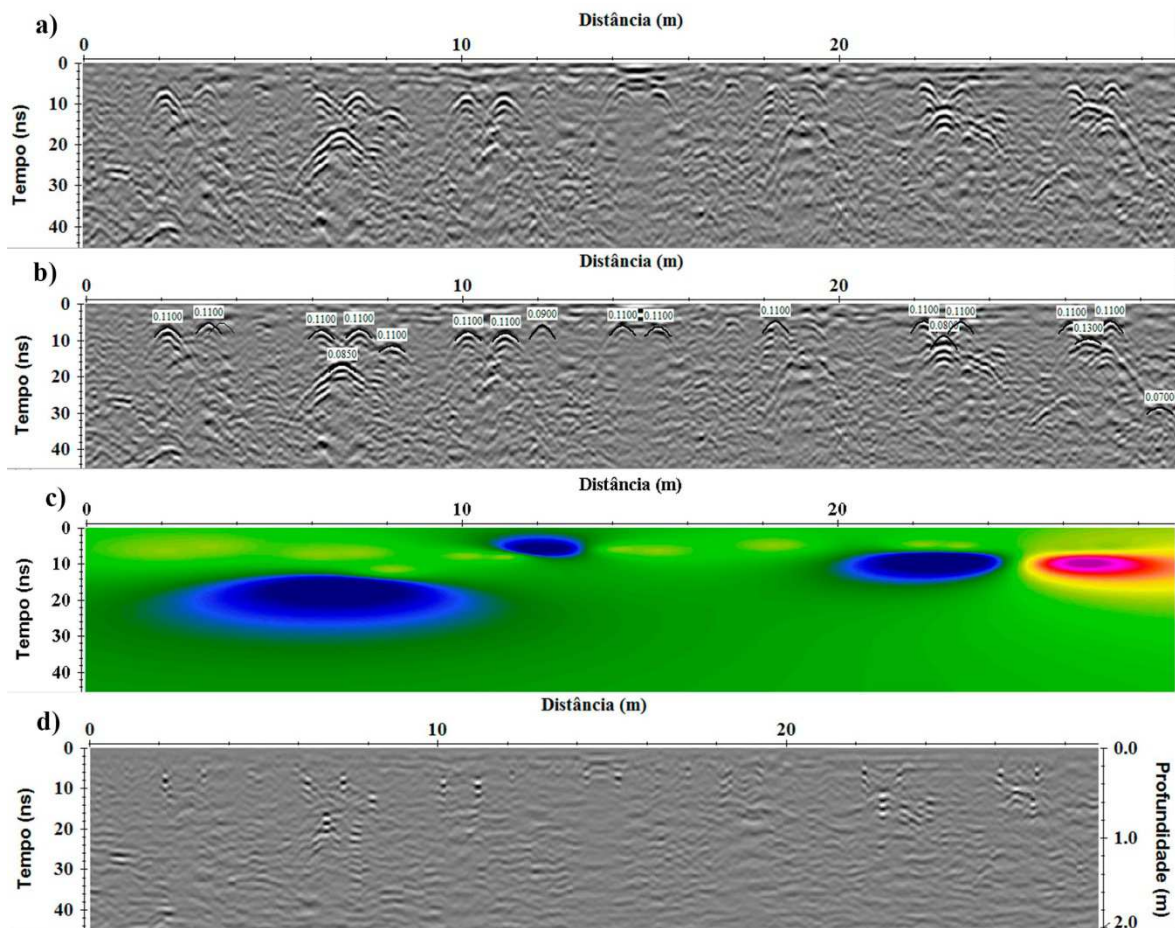


Figura 5.7 – a) Radargrama após o sepultamento dos alvos, antena de 400 MHz. b) Exemplificação do método hiperbólico de obtenção dos valores de velocidade. c) Modelo de velocidade da onda eletromagnética onde valores menores que 0,11 m/ns são representados por cores frias e valores superiores a 0.01 m/ns, por cores quentes. d) Radargrama após a conversão do tempo em profundidade.

A **Figura 5.8** apresenta os blocos diagrama adquiridos com as antenas de 250, 700 e 400 MHz, no modo cruzamento de fatias. A profundidade dos blocos foi dimensionada para a profundidade de 1,5 m para melhor visualização dos limites das covas e dos refletores associados aos alvos sepultados.

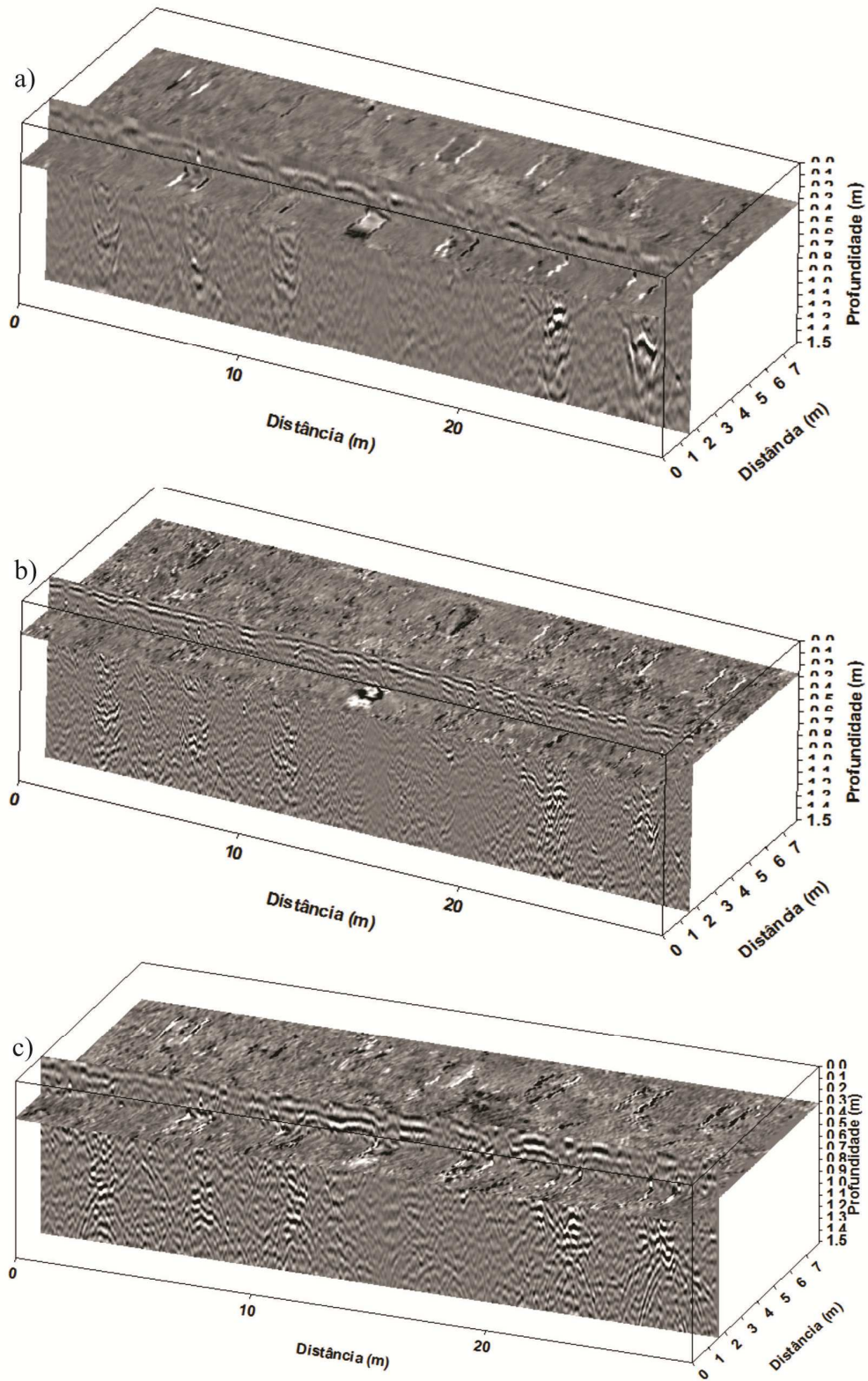


Figura 5.8 – Blocos diagrama com corte em profundidade para visualização das barras de ferro sobre as covas com envoltórios. a) 250 MHz. b) 700 MHz. c) 400 MHz.

5.2.2 Eletrorresistividade

A organização e a filtragem das linhas de eletrorresistividade, após o sepultamento dos alvos, foram realizadas pelo programa PROSYS II (IRIS Instruments). Posteriormente exportaram-se os dados para o formato do programa de modelagem e inversão RES2DINV, versão 3.4 (Geotomo Software).

As seções de eletrorresistividade adquiridas após o sepultamento dos alvos foram submetidas à rotina de inversão robusta, para minimizar a diferença absoluta entre os valores de resistividade aparente, medidos e calculados, normalmente gerados por variações abruptas de resistividade (LOKE et al.,2001). A Figura 5.9a apresenta o modelo de resistividade para o subsolo obtido pelo método de inversão por meio de suavidade, com um valor de RMS de 7.6%. A Figura 5.9b apresenta o modelo obtido pelo método da inversão robusta; observa-se que a variação abrupta entre os contornos das covas ficaram mais evidentes, e que o RMS foi reduzido ao valor de 3.9%.

As etapas acrescentadas à rotina de inversão robusta foram:

Refinamento do modelo – utiliza uma malha de blocos mais estreita o que possibilita uma melhora dos resultados, onde ocorra uma grande variação de resistividade perto da superfície.

Refinamento da malha – permite utilizar uma modelo com uma malha mais fina (direção vertical) para o método da diferença finitas.

Mudança do fator de amortecimento com a profundidade – como a resolução da resistividade diminui exponencialmente com a profundidade o fator de amortecimento do método de inversão por mínimos quadrados também é aumentado. Este processo permite estabilizar o processo de inversão e reduzir as oscilações nos valores de resistividade nas seções inferiores.

Cálculo da matriz jacobiana – recalcula a matriz jacobiana para todas as iterações, proporcionando um modelo com limites mais nítidos.

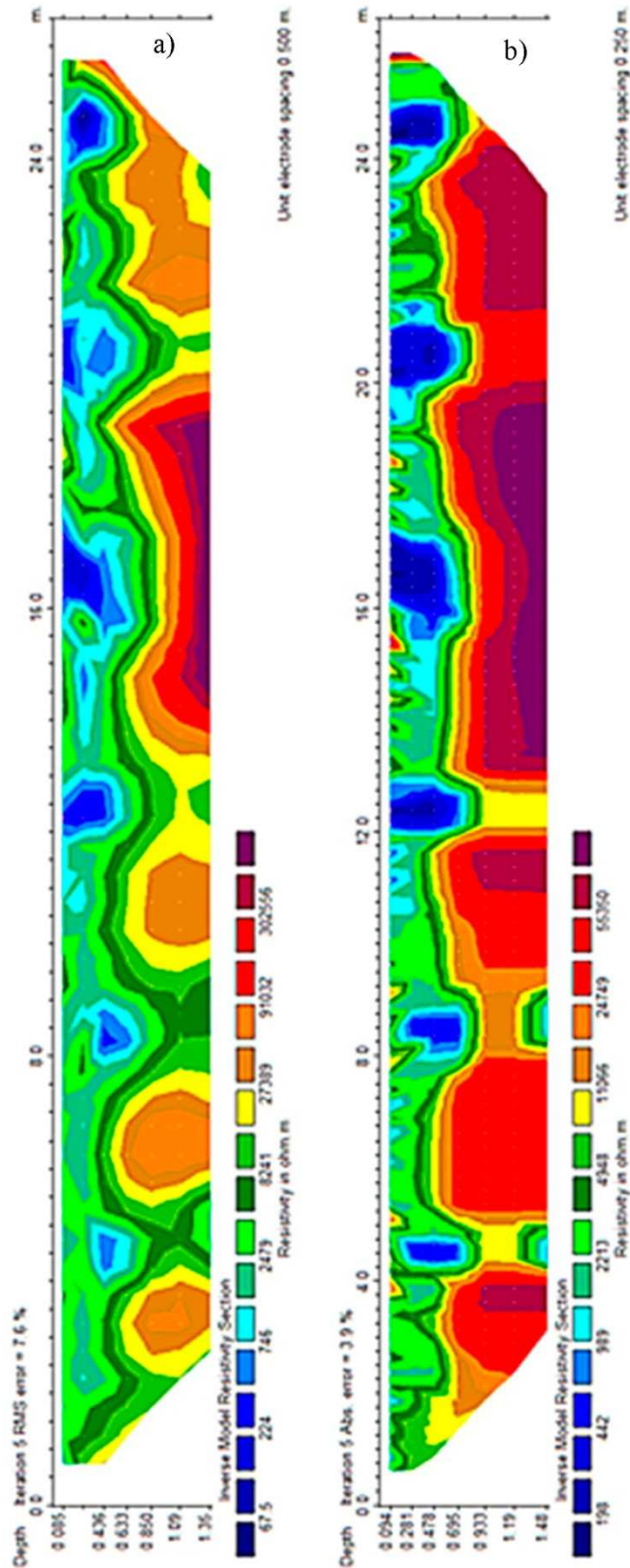


Figura 5.9 – Resultados obtidos após o sepultamento dos alvos ao longo da fileira com carcaças com espaçamento de 0,50 m por meio da inversão pelo método a) da suavidade e b) robusto.

CAPÍTULO 6

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 ANTES DO SEPULTAMENTO DOS ALVOS (BG)

6.1.1 GPR

Os radargramas, antes do sepultamento dos alvos na área do SCGF-UnB, foram realizadas nos dias 15, 16, 24 e 25 do mês de maio de 2014 (Figura 4.1). Os dados de precipitação ocorrido no de 2014 apresenta uma total de precipitação de 847 mm de chuva, ocorrido entre janeiro a abril com o valor máximo de precipitação de 407 mm, no mês de março (Figura 6.1).

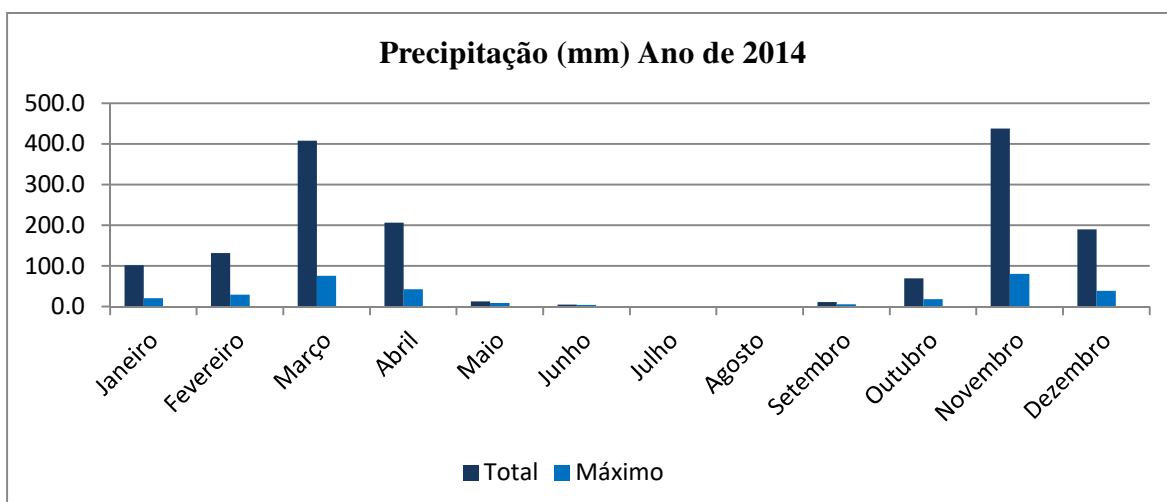


Figura 6.1 – Precipitação de durante o levantamento do BG da área do SCGF-UnB.

Os radargramas processados obtidos com as antenas de 200 e 700 MHz (File 64 da Figura 6.2) mostra refletores dispersos (Figura 6.2a). Os radargramas para 400 e 700 MHz (mesmo File 64) (Figura 6.2b) mostram reflexões até 60 ns.

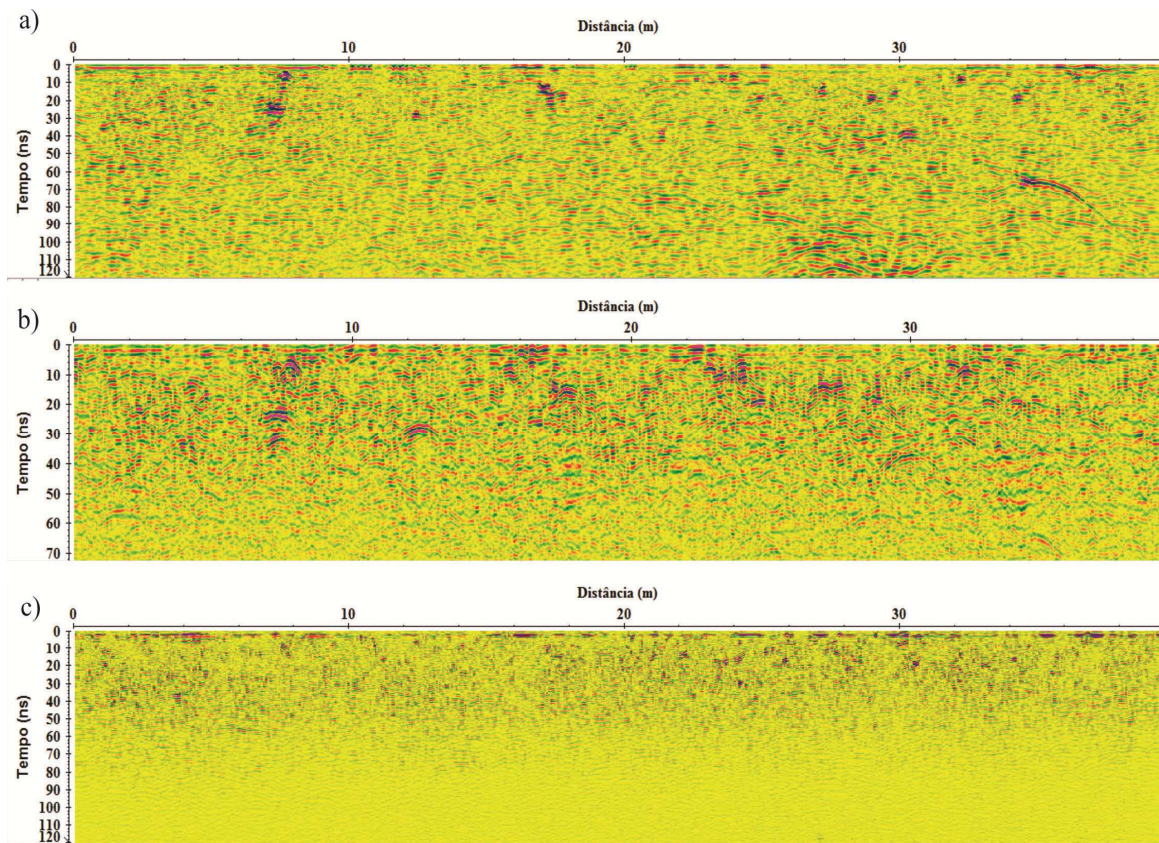


Figura 6.2 – Radargramas de (a) 250 MHz, (b) 400 MHz e (c) 700 MHz, antes do sepultamento dos alvos.

Na análise de tempo de trânsito da onda eletromagnética sobre os refletores (evento hiperbólico) os valores encontrados para o ajuste do tempo em profundidade mantiveram-se entre 0,09 a 0,10 m/ns (**Figura 6.3**) como já indicado no Capítulo 5, para as frequências entre 250 a 400 MHz. A frequência de 700 MHz apresentou alguns refletores com a velocidade entre 0,08 e 0,09 m/ns.

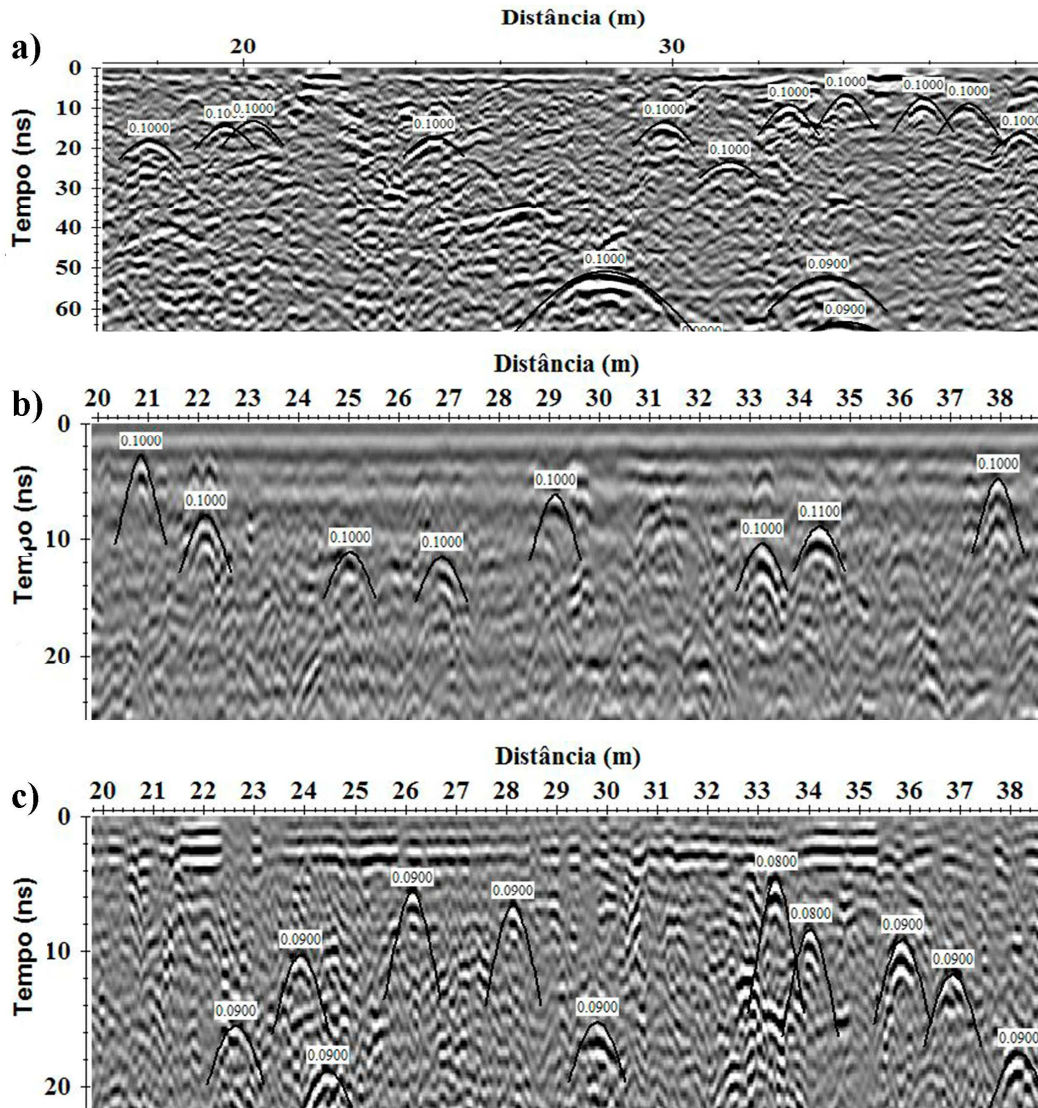


Figura 6.3 – Análise dos valores de velocidade da onda eletromagnética, pelo ajuste hiperbólico nos radargramas, nas frequências de (a) 250 MHz, (b) 400 MHz e (c) 700 MHz, sobre a área do SCGF-UnB, antes do sepultamento dos alvos.

6.1.2 Eletrorresistividade

As aquisições de eletrorresistividade na área do SCGF-UnB, antes do sepultamento dos alvos, foram realizadas entre os dias 2 e 8 do mês de outubro de 2014 (Figura 4.3). Conforme os dados de precipitação ocorreu 8 mm de chuva no dia 02 de outubro, durante as aquisições das seções de eletrorresistividade. O gráfico de precipitação do ano de 2014 (**Figura 6.1**) apresenta um total de precipitação, entre os meses de estiagem (março a setembro), de 20 mm de chuva.

A **Figura 6.4** apresenta os resultados de eletrorresistividade com arranjo DD antes do sepultamento dos alvos na linha 11 e o resultado da inversão robusta. O ajuste entre dados medidos e dados calculado obtidos para o modelo gerado pela inversão é de 1,78% com 5 iterações.

O modelo de distribuição de resistividades obtido por meio de inversão mostra entre 0 e 3 m de profundidade que predominam valores elevados de resistividade (>2.000 ohm.m). Esse horizonte resistivo corresponderia ao argisolo laterítico predominante na área do SCGF-UnB, encontrado durante as escavações .

Na superfície do solo do SCGF-UnB ocorre um segundo horizonte com valores de resistividade entre 673 a 1.915 Ohm.m (profundidade de até 0,54 m), que estaria relacionado ao argisolo laterítico com presença de umidade (devido ao período de chuva).

Na profundidade superior a 3,0 m ocorre um terceiro horizonte de resistividade, com valores entre 399 a 1915 Ohm.m, que estaria relacionado ao argisolo laterítico em contato com o nível freático do subsolo.

O modelo de inversão do arranjo DD apresenta um valor absoluto de 1,78% entre os dados medidos e calculados, e sua configuração apresenta uma melhor cobertura lateral, em relação ao arranjo WS.

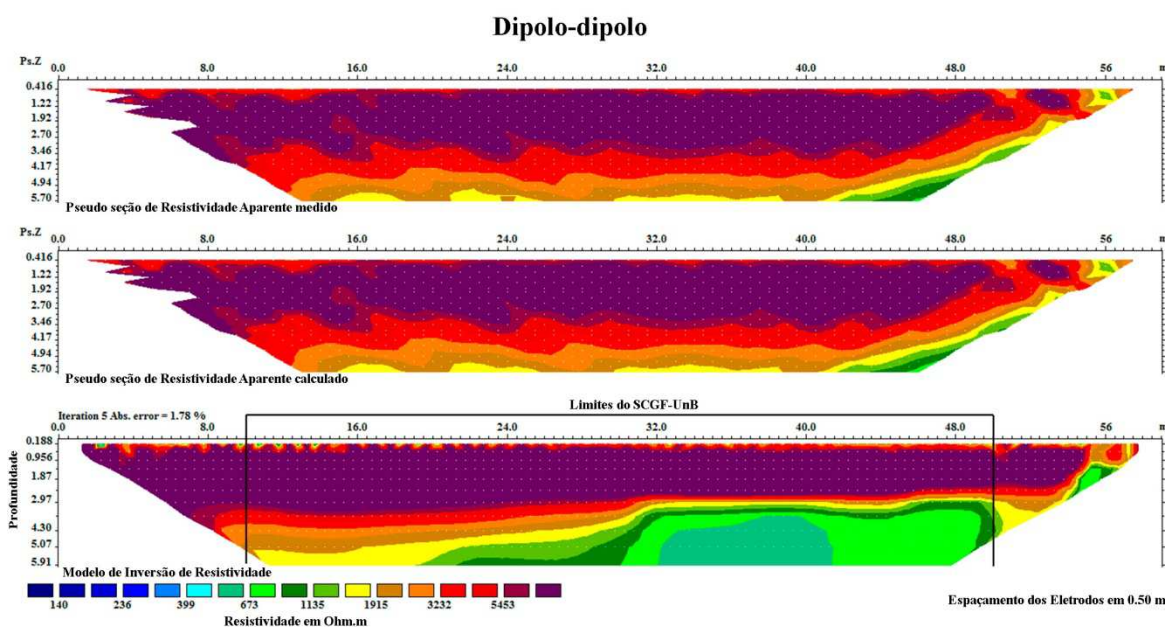


Figura 6.4 – Resistividade aparente (a) medida e (b) calculada para o (c) modelo de distribuição de resistividades obtido por meio de inversão para a linha 11 com o arranjo DD antes do sepultamento dos alvos.

Os resultados de eletrorresistividade com arranjo WS sobre a área do SCGF-UnB (**Figura 6.5**), antes do sepultamento dos alvos, na linha 11, mostra o valor de 7,2% do ajuste entre dados medidos e dados calculados para o modelo gerado pela inversão com 8 iterações.

São observados quatro horizontes distintos, sendo os três horizontes entre a superfície até a profundidade de 3,0 m com as mesmas características observadas com o arranjo DD. O quarto horizonte apresenta um valor inferior a 236 Ohm.m, podendo ser considerado o início da região de saturação do argisolo laterítico pelo nível freático.

O modelo de distribuição de resistividade obtido por meio de inversão mostra .que o arranjo WS promove uma considerável perda da cobertura lateral, mas apresenta uma maior resolução vertical dos limites de resistividade e profundidade (superior a 7,0 m).

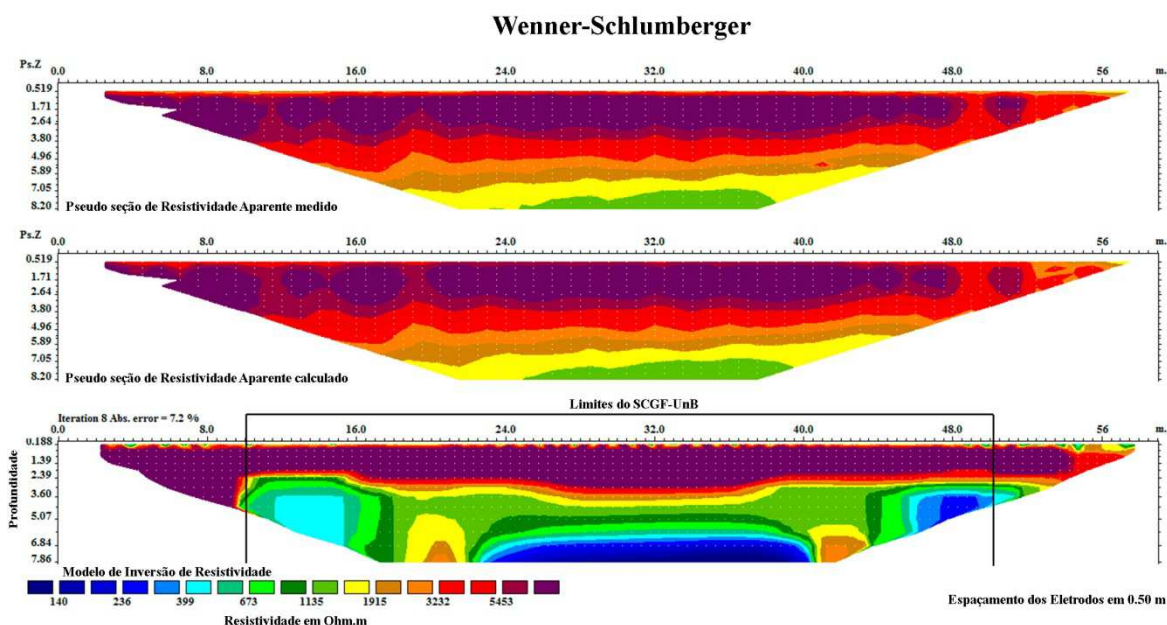


Figura 6.5 – Resistividade aparente (a) medida e (b) calculada para o (c) modelo de distribuição de resistividades obtido por meio de inversão para a linha 11 com o arranjo WS antes do sepultamento dos alvos.

6.2 APÓS O SEPULTAMENTO DOS ALVOS

6.2.1 GPR

Os resultados obtidos com o GPR sobre as covas com os envoltórios são apresentados na **Figura 6.6**. Para melhor visualização dos radargramas foi empregado um filtro de corte temporal de 50 ns para as frequências de 700 MHz e 250 MHz e 48 ns para a frequência de 400 MHz, correspondente a 2 m de profundidade. Com o objetivo de fazer comparações entre os radargramas adquiridos com diferentes antenas, utilizou-se para todas a escala de amplitude entre os valores -32768 a 32768.

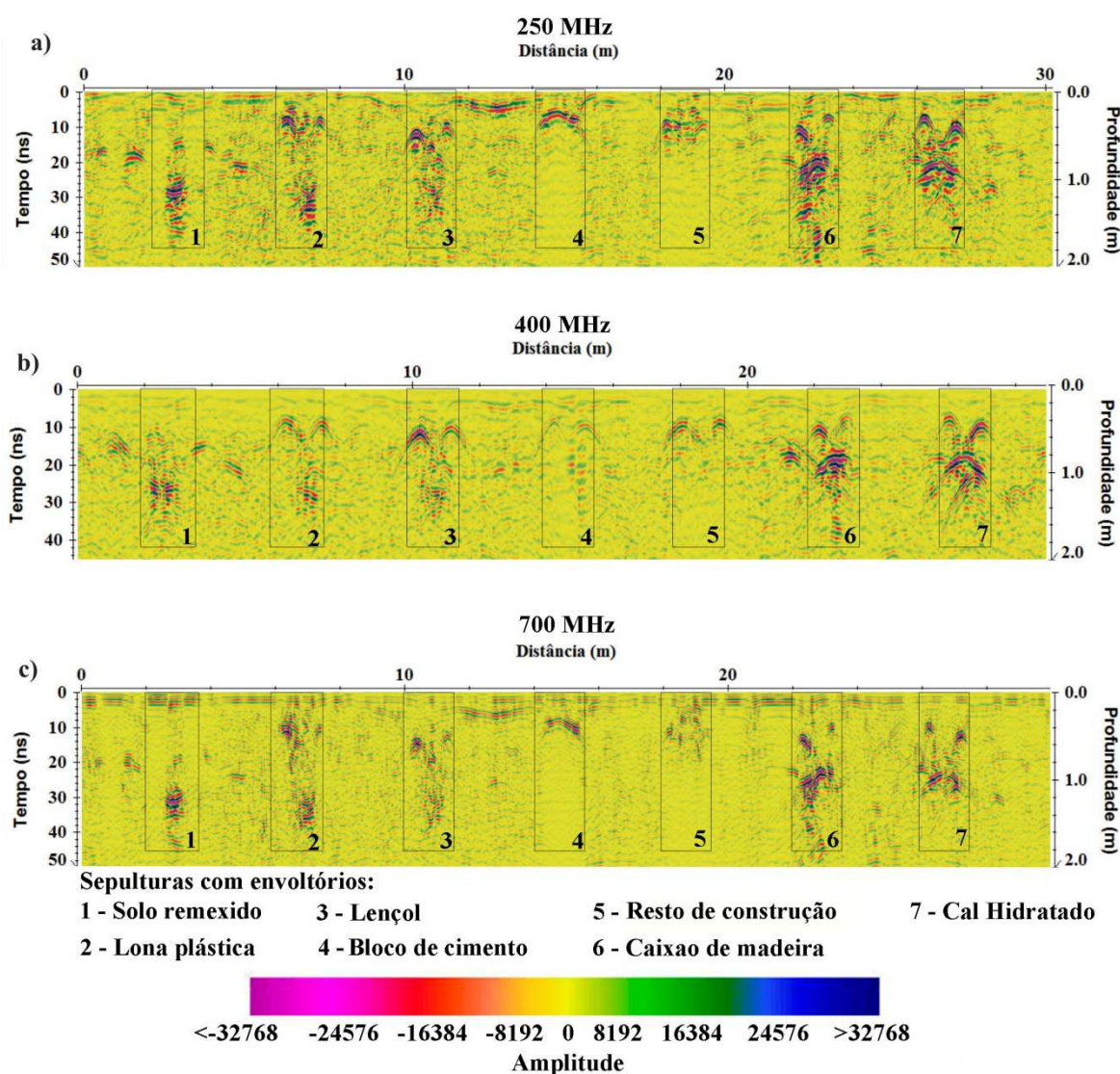


Figura 6.6 – Radargramas sobre as covas com envoltórios obtidas com: (a) 250, (b) 400 e (c) 700 MHz.

A comparação entre os radargramas obtidos no período de chuvas com aqueles do período de seca mostrou alterações na velocidade da onda eletromagnética (**Figura 6.7**). Os radargramas adquiridos nos períodos de seca (**Figura 6.7b**) apresentam valores de velocidade superiores (0,10 a 0,11 ns) aos dos radargramas adquiridos no período de chuva (0,08 a 0,10 ns) (**Figura 6.7a**). Esta alteração pode se deve aos efeitos da umidade do solo sobre o sinal eletromagnético, principalmente sobre os valores de propagação do sinal. Esta alteração dos valores de trânsito da onda eletromagnética foi observada em todas as frequências empregadas nas aquisições e também nos períodos de chuva e seca no ano de 2016.

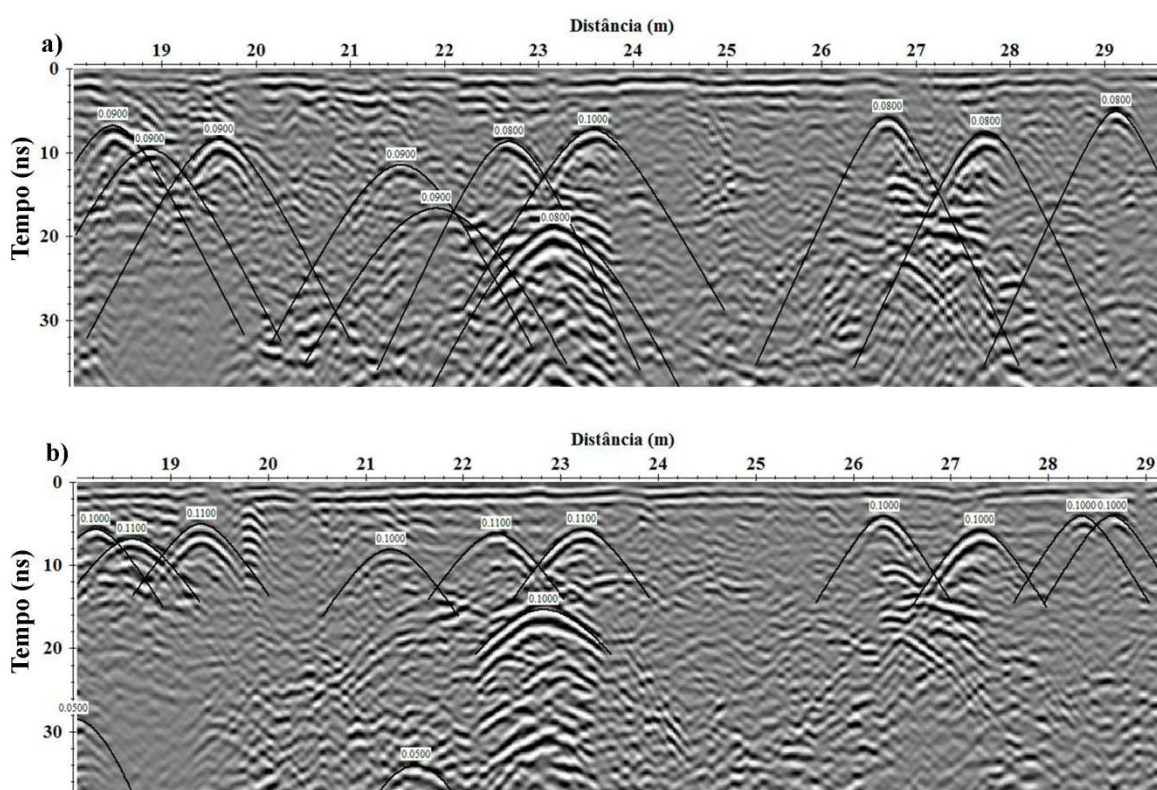


Figura 6.7 – Radargramas sobre as covas com envoltórios obtidos com 700 MHz em 2015 no período de: (a) chuvas e (b) seco.

Os radargramas selecionados para a interpretação dos cenários de sepultamento realizada a seguir foram obtidos sobre a região abdominal da carcaça do suíno.

6.2.1.1 Carcaça de suíno x Solo revirado

Nas **Figuras 6.8a e 6.8d**, é apresentado o radargrama do BG dos cenários de solo revirado e carcaça de suíno nu, respectivamente.

Nos radargramas do BG, as reflexões horizontais e pontuais, ambas descontínuas com média a alta amplitude, estão associadas à presença de raízes, vistas durante a escavação das covas.

No cenário de solo revirado (**Figuras 6.8b**), a base da cova se encontra a 1,05 m de profundidade e no cenário de sepultamento com a carcaça (**Figura 6.8e**), a 1,14 m de profundidade, estando o topo da carcaça a 0,74 m de profundidade.

Após o sepultamento, o radargrama para o cenário de solo revirado (**Figura 6.8c**) apresenta, entre 2,0 a 3,0 m de distância, reflexões horizontais descontínuas e inclinadas, com média a alta amplitude, entre 0,15 e 1,15 m de profundidade, interpretadas como padrão de reflexão do solo revirado. A presença dessas reflexões a uma profundidade superior ao cenário de solo revirado (1,05 m) se deve à ação de acréscimo de solo pelo espalhamento da terra com máquina niveladora utilizada na construção do SCGF-UnB (descrito no capítulo 2). O acréscimo da camada de terra provocou o registro das reflexões a maiores profundidades, por exemplo, o refletor pontual posicionado próximo a 1,0 m de distância, a 0,28 m de profundidade, no BG (**Figura 6.8a**), aparece a 0,38 m de profundidade no radargrama para solo revirado (**Figura 6.8c**), sendo relacionado ao acréscimo de solo na superfície (terraplanagem).

Com os valores reais de posicionamento dos alvos sepultados (capítulo 2), em cada cenário, foi possível atribuir a localização do topo e base de cada alvo na interpretação dos radargramas.

No radargrama, após sepultamento da carcaça de suíno nu (**Figura 6.8f**), observam-se dois refletores pontuais de alta amplitude relacionados à presença das barras de ferro a 0,25 m de profundidade. É notada a presença de refletores de alta amplitude entre 0,20 a 1,10 m de profundidade, sendo estes refletores relacionados ao solo revirado.

A 0,80 m de profundidade observa-se a atenuação do sinal GPR até a profundidade de 1,10 m. Esta atenuação do sinal GPR é ocasionada pela presença da carcaça de suíno nu, localizado entre 0,80 a 1,19 m de profundidade. A 1,18 m de profundidade é visto um refletor hiperbólico de baixa amplitude, relacionado ao contato entre a carcaça e a base da cova.

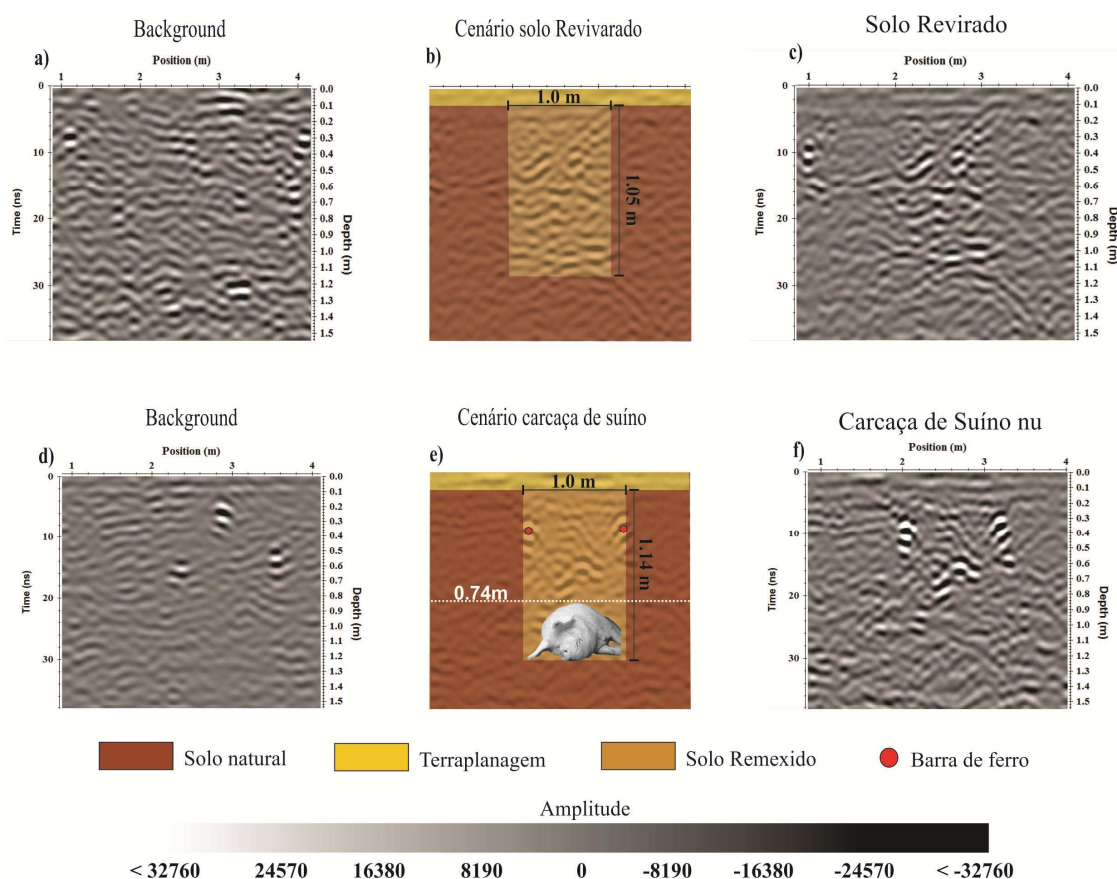


Figura 6.8 - Informação da cova com solo revirado: a) radargrama do BG, b) cenário de enterro e c) radargrama após o enterro. Informação do enterro com carcaça (de suíno). d) radargrama do BG, e) cenário de enterro e f) radargrama após o enterro. Dados adquiridos com a antena de 400 MHz.

Comparando-se os cenários de sepultamento (solo revirado e carcaça de suíno nu) sugere-se que a presença de reflexões de alta e média amplitude, limitados a um espaço específico do radargrama, são indicações da presença de solo revirado. No cenário com a carcaça, ocorre a atenuação do sinal eletromagnético, devido aos tecidos moles da carcaça apresentar um comportamento condutivo. Molina (2016) também confirmou a relação das reflexões horizontais e de alta amplitude ao solo perturbado em vez da carcaça de porco.

Nos radargramas adquiridos com antena de 250 MHz (**Figura 6.9**), o cenário de sepultamento com solo revirado apresenta refletores horizontais de média à alta amplitude, destacando-se refletor horizontal com alta amplitude após 1,0 m de profundidade. Este comportamento de reflexão observado nos anos de 2015 e 2016, nos períodos de chuva, especialmente, é relacionado à presença de solo revirado No cenário com sepultamento do

suíno nu é vista uma forte atenuação abaixo de 0,89 m de profundidade que se propaga até o fim do radargrama. Esta atenuação está presente em todos os radargramas de reflexão, sendo mais acentuada nos períodos de chuva. Esta característica de atenuação do sinal eletromagnético é relacionada à presença da carcaça de suíno em decomposição e ao necrochorume.

Observa-se a 0,70 m de profundidade, a presença de um pequeno refletor hiperbólico de alta amplitude, nos períodos de chuva e seca, no ano de 2015. Nos radargramas adquiridos nos períodos de chuva e seca, no ano de 2016, é visto um segundo refletor de alta amplitude, localizado entre 0,70 a 0,80 m de profundidade. Estes refletores são relacionados à ocorrência de espaços vazios, provocado pela perda de volume da massa orgânica, da carcaça, no processo de decomposição. Fato discutido por Demo (2013), durante a exumação das carcaças de suínos, que registrou o desmoronamento do teto da cova, antes de chegar ao alvo, devido à presença de um espaço vazio, ocasionado pela perda da massa orgânica pelos processos de decomposição. Demo (2013) relata que este espaço vazio foi visto no registro do radargrama, realizado durante a exumação.

A **Figura 6.10** apresenta os radargramas adquiridos com a antena de 400 MHz. Observa-se que a frequência de 400 MHz, apresenta os radargramas de solo revirado, com melhor identificação das reflexões horizontais de alta a média amplitude, relacionados ao solo revirado, sendo bem identificados nos períodos de chuva. Conforme descrito nos resultados com a antena de 250 MHz, os radargramas, sobre a cova da carcaça desnuda, apresentam uma zona de atenuação, após 0,85 m de profundidade. A zona de atenuação é vista tanto nos períodos de chuva como nos períodos de seca, sendo que nos períodos de chuva há uma melhor visualização das reflexões.

A **Figura 6.11** mostra os radargramas 2D, adquiridos com a antena de 700 MHz. É observado um adensamento de refletores nos radargramas devido à alta resolução da frequência de 700 MHz. Nos radargramas com o solo remexido, nos períodos de chuva e seca, a alta resolução dificultou a identificação do solo remexido dentro da cova. Nos Radargramas com a carcaça de suíno desnudo, a alta resolução delimitou melhor as áreas de atenuação, especialmente nos períodos de chuva.

A boa resolução dos alvos em períodos de precipitação é comprovada nos estudos de Schultz e Martin (2012), onde avaliaram que o aumento dos níveis sazonais de precipitação aumentaram as amplitudes dos radargramas de reflexão. A presença das zonas

de atenuação, localizados abaixo da carcaça desnuda são comentadas nos estudos de Jervis et al., (2009), que mostrou os resultados do aumento da decomposição pela ocorrência das precipitações e que estes aumento da decomposição também produziu o aumento localizado de condutividade em torno da carcaça em degeneração.

A presença das reflexões do solo revirado nos anos de 2015 e 2016 comprova a possibilidade de identificar a presença de escavações após longos períodos de tempo. O que foi comprovado por estudos anteriores em cemitérios, onde o solo perturbado é visível em antigas covas (BEVAN, 1991e CONYERS, 2006).

A identificação em solos revirados após longos períodos de tempo depende do tipo de solo, clima e frequência da antena do GPR utilizada na investigação. Brasil (2013) descreve a dificuldade de identificar covas antigas em solo argiloso, de clima amazônico (elevadas precipitações) no cemitério histórico de Mosqueiro (PA).

A antena de 250 MHz apresentou melhores resultados nos períodos de precipitação, em relação aos radargramas das antenas de 400 MHz e 700 MHz. Os resultados favoráveis, a identificação de covas com carcaças de suíno, com o emprego da frequência entre 110 a 900 MHz são comentados pelos trabalhos de Schultz e Martin (2012) e Pringle et al. (2012) que validaram os radargramas de 250 MHz e 225 MHz com resultados mais claros, em comparação com os radargramas de 500 MHz e 900 MHz. Eles validam o uso de frequências de 250 MHz como a melhor opção em ambientes de solo condutivo (argilosos), com uma grande variação de reflexões na subsuperfície e onde os alvos estejam posicionados em maiores profundidades.

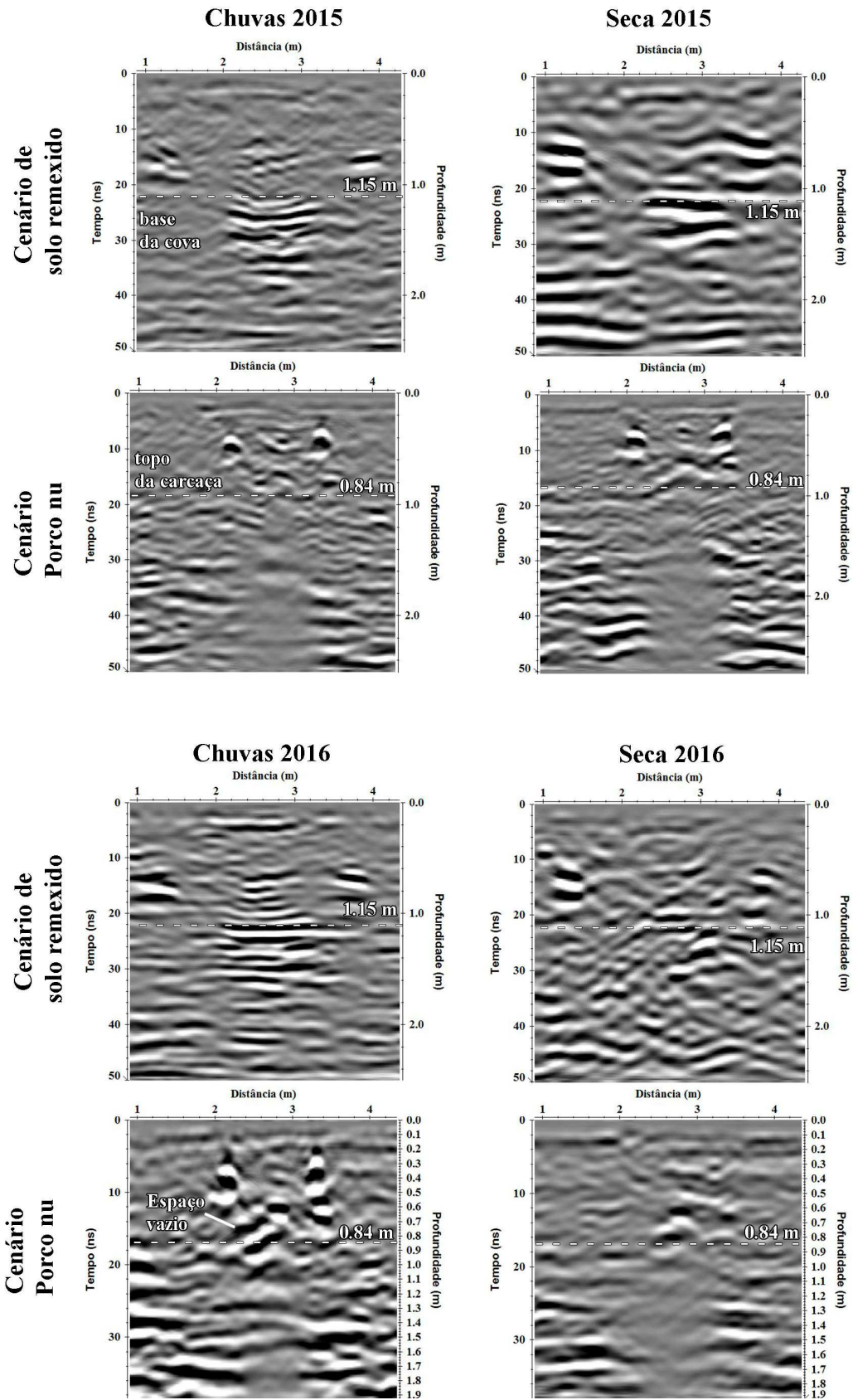


Figura 6.9 - Radargramas com frequência de 250 MHz, sobre as covas de solo revirado e carcaça de suíno nu, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

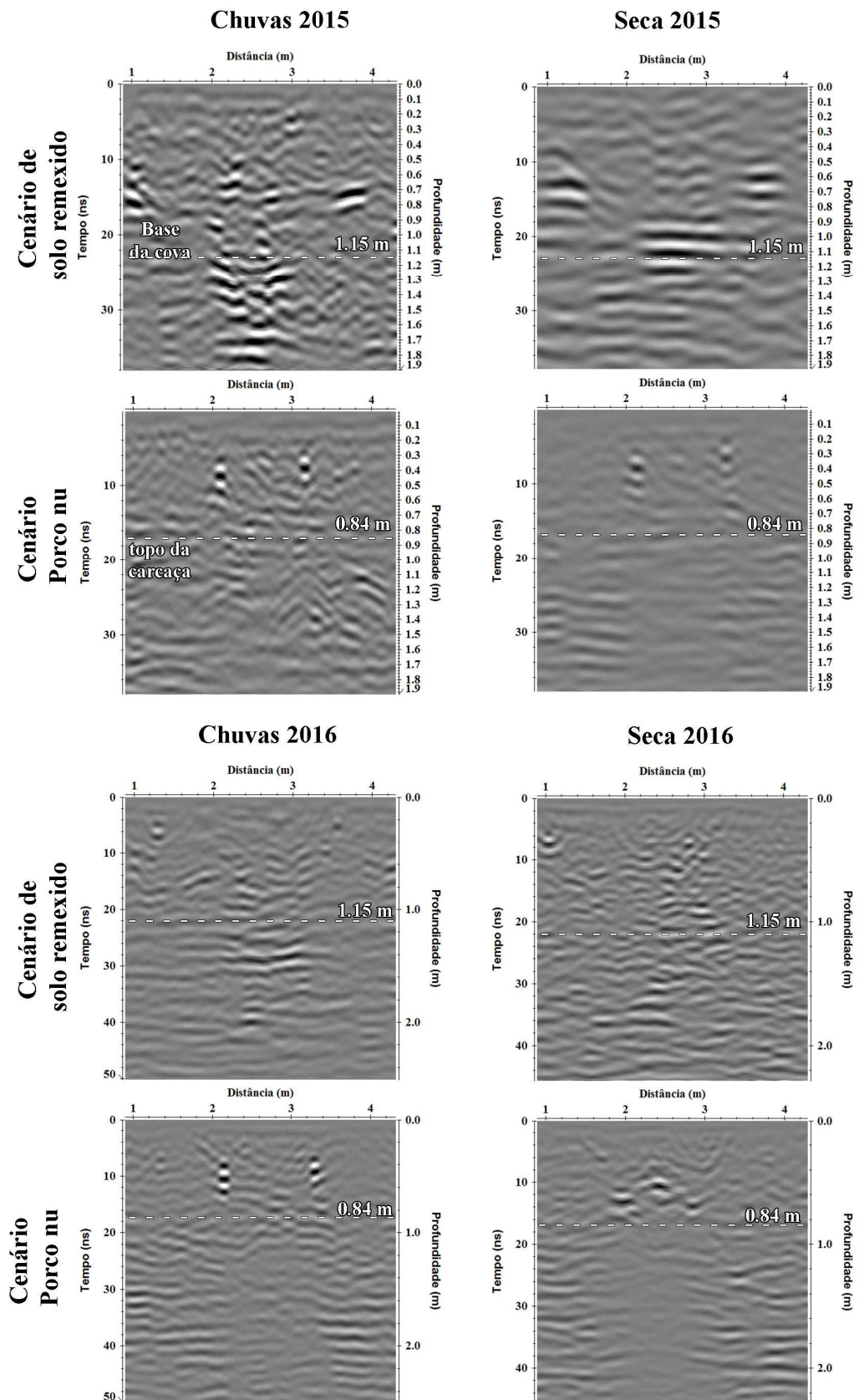


Figura 6.10 - Radargramas com frequência de 400 MHz, sobre as covas de solo revirado e carcaça de suíno nu, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

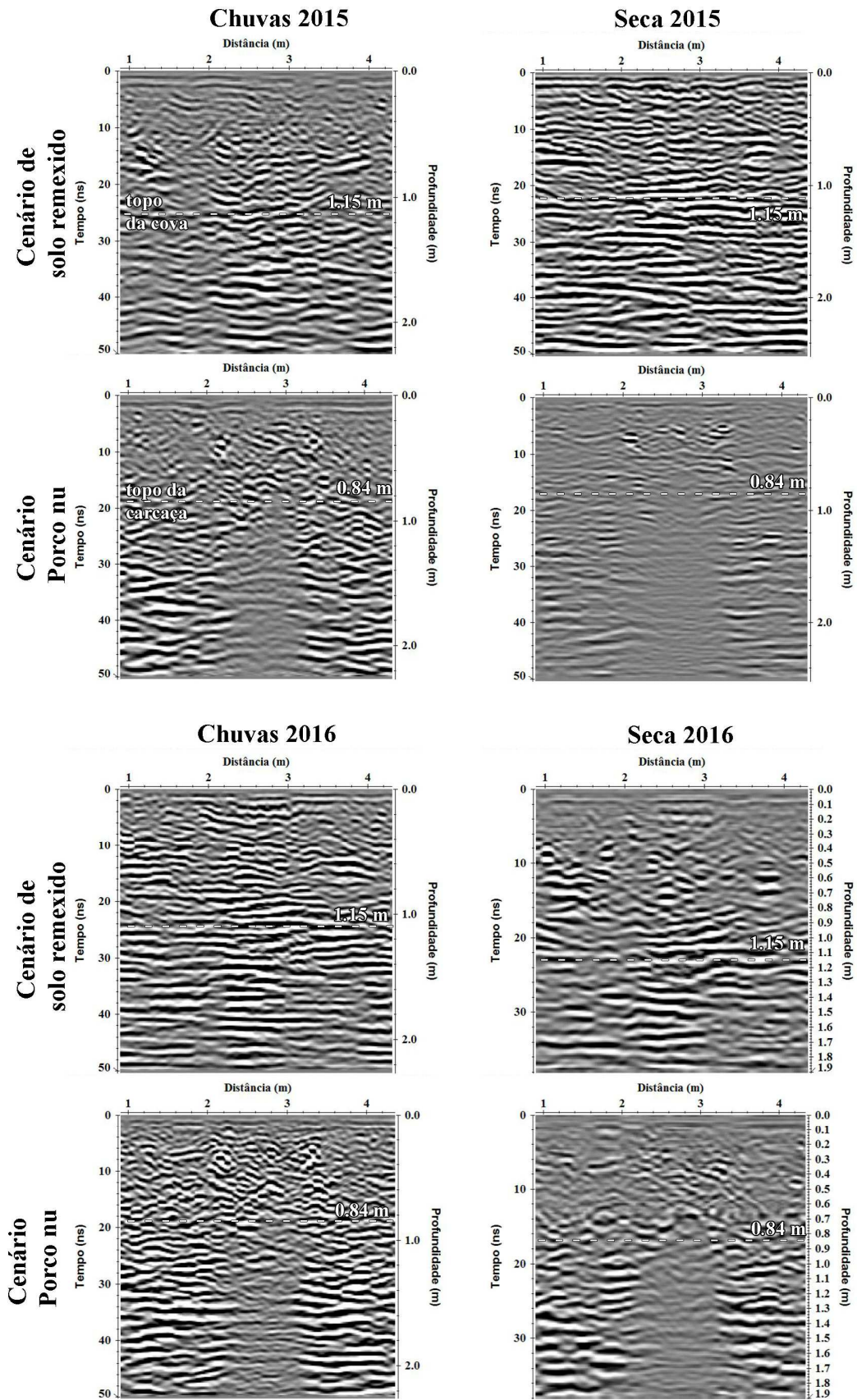


Figura 6.11 - Radargramas com frequência de 700 MHz, sobre as covas com solo revirado e carcaça de suíno nu, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

6.2.1.2 Lona Plástica x Carcaça enrolada em Lona Plástica

No cenário de sepultamento com lona de plástico, a cova tem uma profundidade de 1,04 m, com o topo da lona de plástico posicionado a 1,03 m de profundidade (**Figura 6.12b**). No cenário com carcaça de suíno enrolada na lona de plástico (**Figura 6.12e**), a cova tem 1,09 m de profundidade, com o topo da carcaça de suíno embrulhado na lona de plástico, posicionado a uma profundidade de 0,80 m. Os radargramas após o sepultamento apresentam o registro das reflexões pontuais de alta amplitude (barras de ferro) deslocados 0,05 m, devido ao acréscimo da camada de solo pela terraplanagem.

O radargrama sobre a cova com a lona de plástico (**Figura 6.12c**) mostra um refletor hiperbólico de alta amplitude, localizada a uma profundidade de 1,14 m, e posicionado entre 6,0 e 7,2 m de distância. Esta reflexão foi relacionada à presença do saco de plástico na base da cova.

No radargrama com a carcaça de suíno enrolada na lona de plástico (**Figura 6.12f**), é observado uma forma circular de reflexões, e de alta amplitude, entre 0,85 a 1,06 m de profundidade, sendo relacionado à presença da carcaça do suíno envolvida na lona plástica. Esta forma circular visível pelas reflexões de alta amplitude é ocasionado pelo alto valor da permissividade dielétrica da lona plástica em contraste com o solo da cova, como a lona envolve a carcaça, esta permite visualizar os refletores do topo e base do alvo. O mesmo ocorre com o cenário somente com a lona plástica depositada na base da cova e que apresenta um refletor hiperbólico devido ao contato da lona com a base da cova.

Os radargramas coletados com a antena de 250 MHz (**Figura 6.13**) apresentam o cenário de sepultamento com a lona plástica relacionada ao refletor horizontal de média amplitude localizado a 1,08 m de profundidade, entre a posição de 6,20 a 7,20 m no radargrama. No ano de 2015, os radargramas sobre a cova com lona plástica apresentaram uma boa identificação dos limites da cova com a presença de solo revirado, com melhores resultados no período de chuva.

Nos radargramas adquiridos no ano de 2016, o radargrama no período da seca, não apresenta a identificação do solo revirado, e a lona plástica é representada por um refletor horizontal de baixa amplitude. Esta diminuição da amplitude do refletor (lona plástica) se deve ao acúmulo de umidade sobre a lona plástica, após os períodos de chuva e sua retenção durante os períodos de seca.

Os radargramas sobre a cova com a carcaça de suíno enrolado em lona plástica é representado por um refletor hiperbólico de alta amplitude. A carcaça em lona plástica é melhor identificada nos períodos de chuva, devido à permissividade dielétrica do material plástico apresentar um melhor contraste em relação ao solo da cova.

A **Figura 6.14** apresenta os radargramas adquiridos com as antenas de 400 MHz. Os radargramas adquiridos no ano de 2015 apresentam uma melhor identificação dos alvos durante o período de chuva. Esta melhor visualização dos refletores, nos períodos de chuva, é contrária aos resultados adquiridos com a antena de 250 MHz. Esta alteração se deve ao fator da resolução vertical da antena de alta frequência (400 MHz), que visualiza a cova com melhores detalhes. Enquanto o sinal da antena de 250 MHz, apresenta uma baixa resolução, porém visualizando somente os refletores de alta amplitude.

Nos radargramas adquiridos no ano de 2016, é observado no cenário de sepultamento com carcaça envolto em lona plástica, que durante o período de seca, é difícil visualizar a reflexão relacionada ao envoltório da carcaça, e é notada a presença de uma atenuação abaixo da cova. Este abrandamento das reflexões seguido pela atenuação do sinal GPR, sugere que os fluidos originados pela decomposição da carcaça, devem ter vazado da lona plástica para o solo, fazendo com que o sinal fosse atenuado. Fato que pode ser visto nos radargramas com a carcaça enrolada na lona plástica nos períodos de seca e chuva do ano de 2015, que não apresentam a zona de atenuação abaixo da cova.

Nos radargramas adquiridos com a frequência de 700 MHz (**Figura 6.15**), os refletores são representados com alta amplitude e com adensamento de outros refletores presentes nas proximidades da cova. Na cova com lona plástica o adensamento de refletores dificulta a visualização dos limites da cova e da lona plástica, tanto nos períodos de chuva como nos períodos de seca.

No cenário de sepultamento com carcaça de suíno envolto em lona plástica os radargramas de reflexão 2D, adquiridos durante os períodos de chuva, nos anos de 2015 e 2016, apresentam resultados melhores dos refletores de alta amplitude relacionada à carcaça de suíno enrolado na lona plástica. Nos radargramas adquiridos no ano de 2016 identifica-se melhor a presença da zona de atenuação do sinal GPR, provocada pelo vazamento do fluido de decomposição, abaixo dos refletores de alta amplitude, nos radargramas 2D adquiridos no período da seca.

A cova com a lona plástica apresenta um comportamento de reflexão horizontal de baixa à média amplitude, durante os períodos de chuva e seca. Uma observação

interessante, no cenário com lona plástica, é a presença de refletos horizontais de alta amplitude, que predominam, após a lona plástica. A presença destas reflexões horizontais de alta amplitude, entre a lona plástica e a base da cova, deve-se a variação do contraste de condutividade sobre a lona plástica (com presença de solo úmido e acúmulo de água) e o contraste de permissividade dielétrica, após a lona plástica em contato com o solo menos úmido.

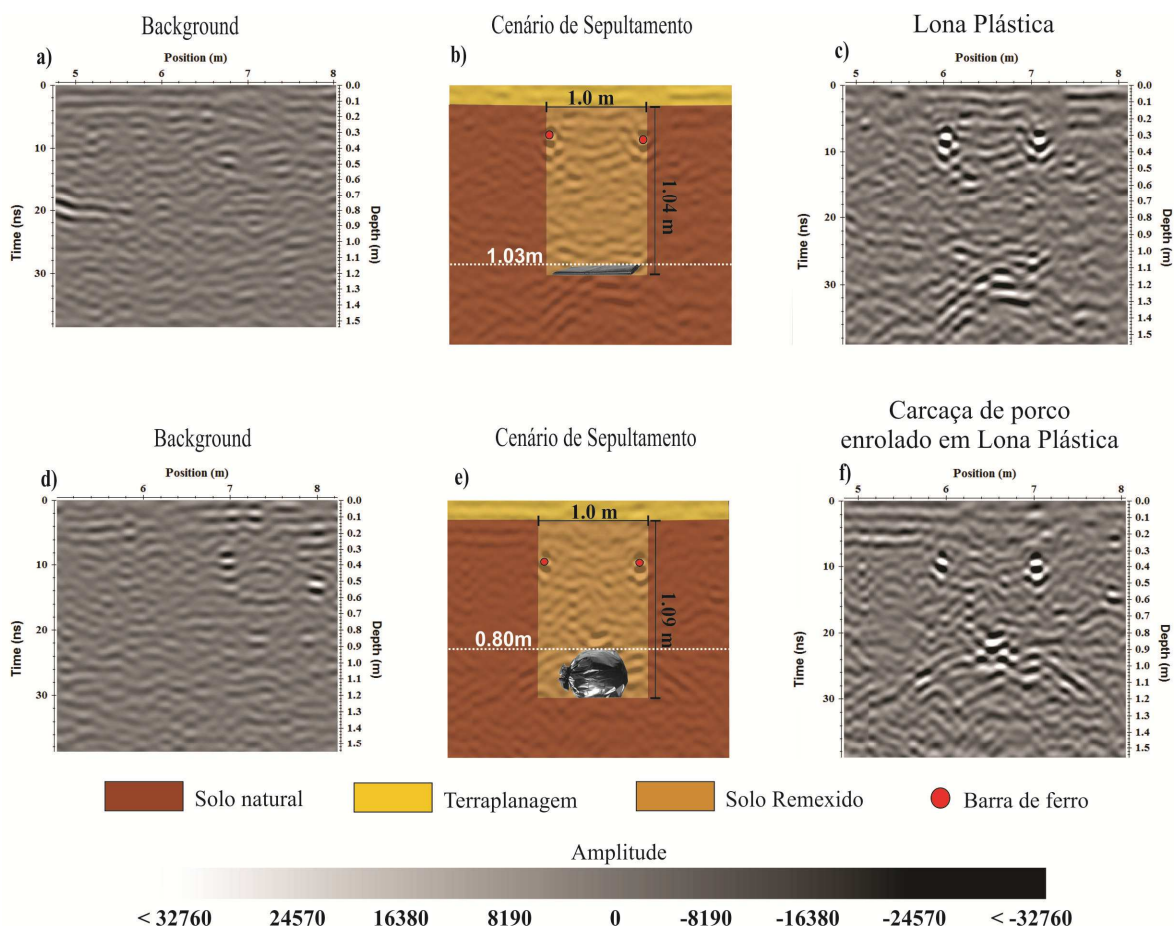


Figura 6.12 - Informação da cova com lona plástica: a) radargrama do BG, b) cenário de enterro e c) radargrama após o enterro. Informação do enterro com carcaça de suíno enrolado em lona plástica. d) radargrama do BG, e) cenário de enterro e f) radargrama após o enterro. Dados adquiridos com a antena de 400 MHz.

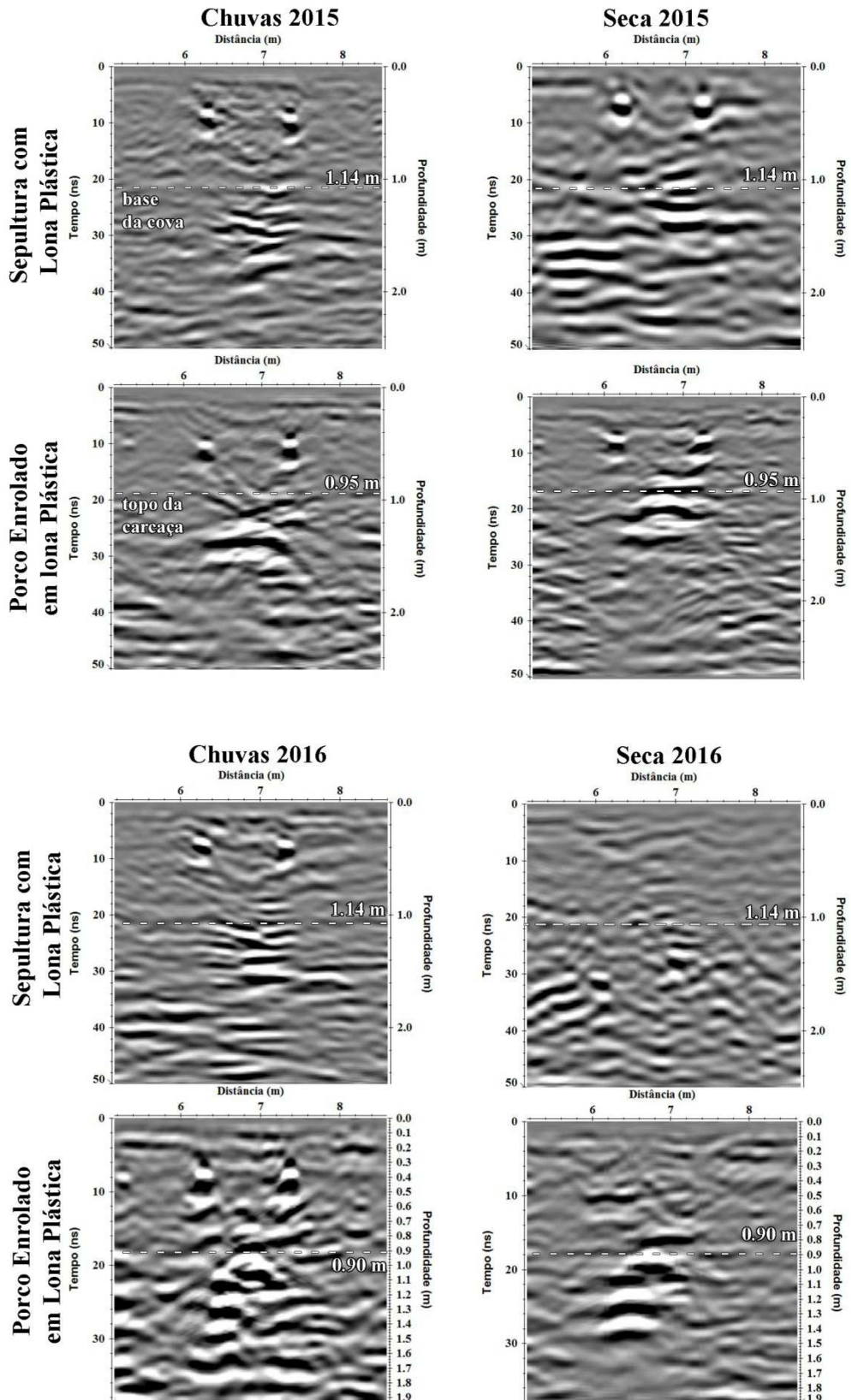


Figura 6.13 - Radargramas com frequência de 250 MHz, sobre as covas com lona plástica e carcaça de suíno envolto em lona plástica, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

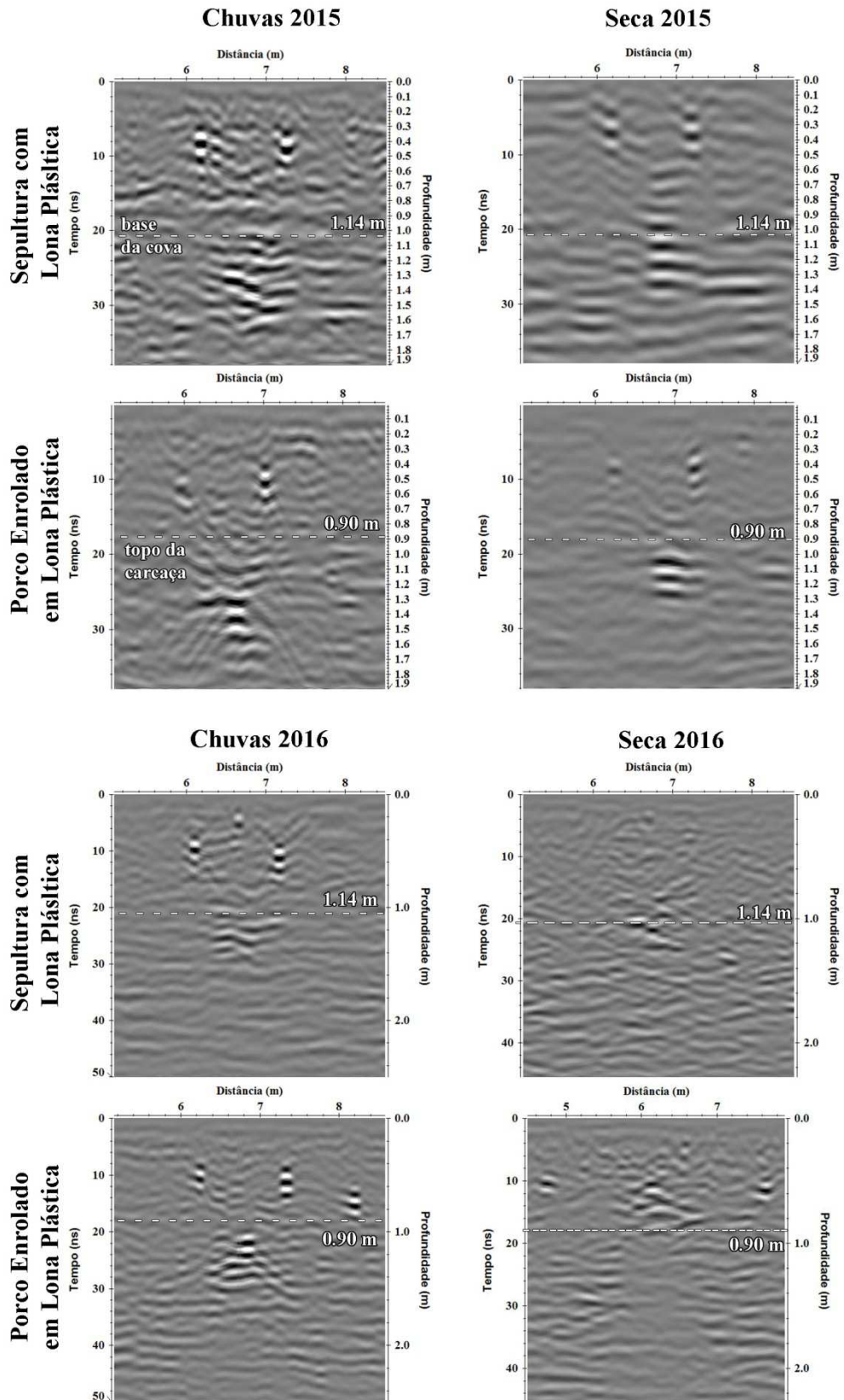


Figura 6.14 - Radargramas com frequência de 400 MHz, sobre as covas com lona plástica e carcaça de suíno envolto em lona plástica, nos períodos de seca e chuva nos anos de 2015 e 2016.

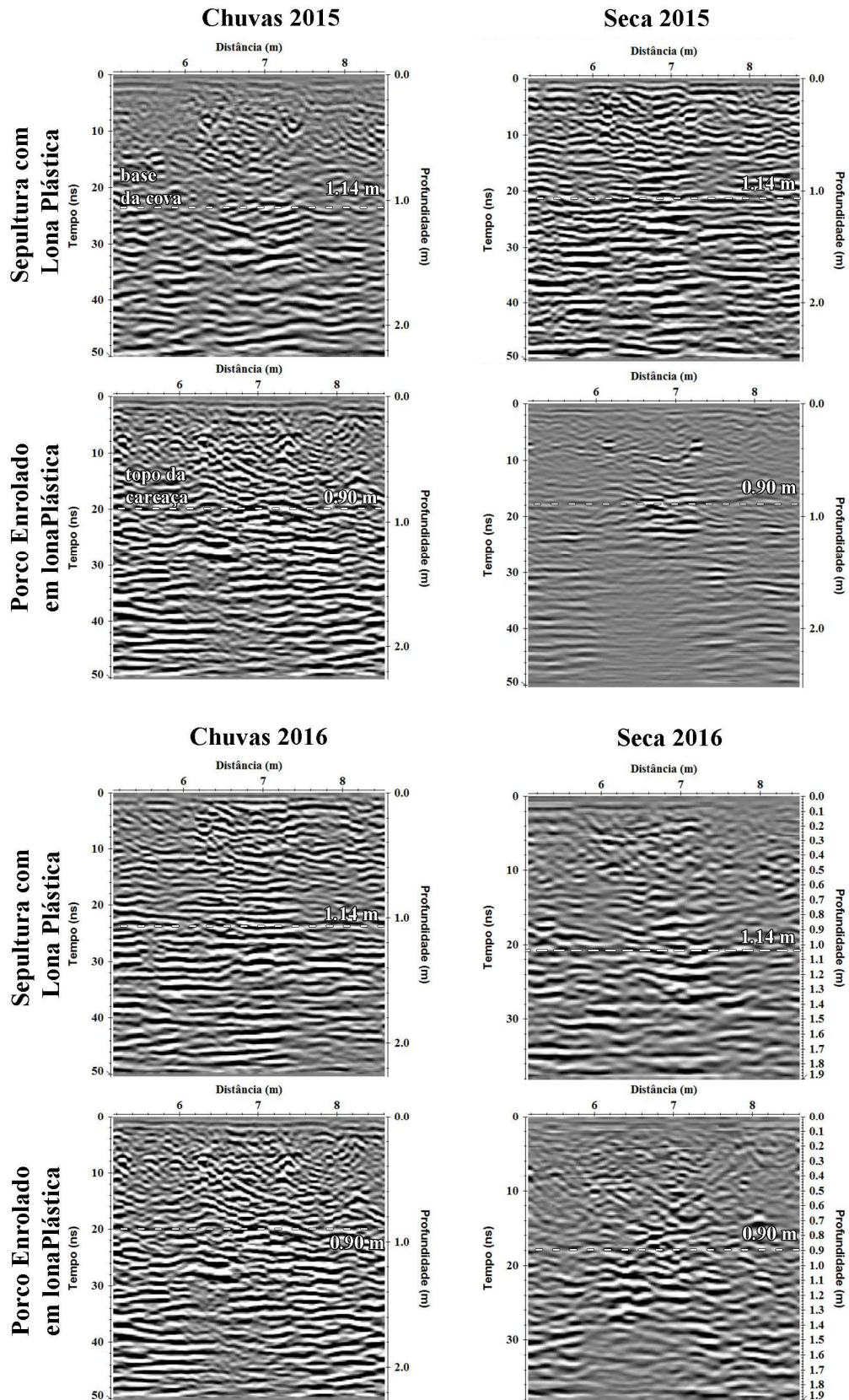


Figura 6.15 – Radargramas obtidos com 700 MHz sobre as covas com lona plástica e carcaça de suíno envolto em lona plástica, nos períodos de seca e chuva de 2015 e 2016.

6.2.1.3 Lençol x Carcaça enrolada em lençol

A **Figura 6.16b** mostra o cenário de sepultamento com lençol em cova de 0,96 m de profundidade, com o topo do lençol posicionado a uma profundidade de 0,96 m. No cenário do enterro com a carcaça de suíno enrolada no lençol (**Figura 6.16e**), a cova tem uma profundidade de 0,96 m, com a parte superior do alvo (carcaça de suíno enrolada no lençol) posicionada a 0,69 m de profundidade.

O radargrama obtido sobre a cova com lençol de cama (**Figura 6.16c**) apresenta um refletor horizontal de média amplitude, posicionado entre 10,2 a 11,2 m, e localizado a uma profundidade de 1,10 m. Este refletor é relacionado ao lençol vazio colocado na base da cova.

O radargrama sobre a cova com a carcaça de suíno enrolada em lençol apresenta um refletor horizontal de alta amplitude, posicionado entre 9,8 e 10,8 m, e localizado a 0,79 m de profundidade (**Figura 6.16f**). Este refletor é relacionado ao topo da carcaça enrolada no lençol. Após o refletor de alta amplitude é observado uma atenuação do sinal GPR, devido à presença da carcaça em decomposição.

Nos radargramas adquiridos com antena de 250 MHz (**Figura 6.17**) observa-se o lençol vazio representado por um refletor horizontal de alta amplitude, localizado a 1,05 m de profundidade. Nota-se a presença de refletores de alta a média amplitude após o lençol. Em todos os radargramas foi identificada a presença do solo remexido, sobre o alvo. Este comportamento de reflexão é parecido com a cova com a lona plástica vazia.

No cenário com a carcaça de suíno enrolado no lençol, o radargrama apresenta um refletor horizontal de alta amplitude, seguido com uma forte atenuação do sinal GPR. Estas reflexões são interpretadas como sendo a carcaça de suíno enrolada no lençol. O refletor horizontal de alta amplitude é interpretado com sendo o contanto entre o solo revirado e o lençol com a carcaça enrolada. A presença da atenuação do sinal de reflexão se deve a presença da carcaça enrolado ao lençol, esta influenciando na condutividade no fundo da cova, pelo vazamento dos fluidos de decomposição.

Os radargramas adquiridos pela antena de 400 MHz (**Figura 6.18**) não apresentaram bons resultados para este tipo de cenário de ocultação. Na cova com o lençol vazio, os radargramas adquiridos nos períodos de chuva e seca, apresentaram um refletor horizontal de média amplitude, localizado a 1,15 m de profundidade, relacionado à presença do lençol depositado no fundo da cova, com a presença de múltiplas reflexões de

alta amplitude, logo após a cova. Sem a informação da profundidade real do lençol, seria difícil distinguir o refletor associado a sua presença, nos radargramas de reflexão 2D.

Nos radargramas sobre a cova com a carcaça de suíno enrolado no lençol, é observada nos períodos de chuva uma boa identificação do alvo, sendo representada por um conjunto de refletores horizontais de média amplitude, que se encontram entre 0,70 a 1,16 m de profundidade (radargrama de chuva de 2015). E pela presença de uma atenuação entre os refletores horizontais de média amplitude, localizada entre 0,90 a 1,10 m de profundidade (radargrama de chuva de 2016). Os radargramas adquiridos nos períodos de seca apresentam um refletor horizontal de baixa amplitude sobre uma zona de forte atenuação, sendo relacionada ao contato entre o solo remexido e o lençol com a carcaça de suíno. A atenuação é relacionada ao fato do material do lençol não ser impermeável e por isso ter a ocorrência da percolação dos fluidos de decomposição, no fundo da cova.

A **Figura 6.19**, apresenta os radargramas adquiridos com a antena de 700 MHz. A alta resolução da antena realçou vários refletores próximos à cova, dificultando a identificação das reflexões relacionadas aos alvos sepultados.

Na cova com o lençol, os radargramas adquiridos nos períodos de chuva e seca apresentam dificuldade em localizar e relacionar o refletor associado ao lençol, presente na profundidade de 1,15 m.

Somente nos radargramas adquiridos sobre a cova com a carcaça de suíno enrolado no lençol (nos períodos de chuva de 2015 e 2016), foi possível identificar um refletor de alta amplitude (topo da carcaça enrolada no lençol), seguidos de uma forte atenuação do sinal eletromagnético (carcaça em decomposição).

Para o cenário de ocultação em lençol as frequências de 250 MHz e 400 MHz se mostraram com bons resultados na identificação dos alvos. Sendo a antena de 250 MHz a que melhor apresentou as reflexões relacionadas aos alvos sepultados (lençol e carcaça em lençol). Os resultados com a antena de 400 MHz permitiram uma fraca identificação das reflexões relacionadas ao solo revirado junto aos alvos sepultados. A frequência de 700 MHz foi útil na identificação das áreas de atenuação, o que permite identificar a presença do corpo em decomposição pela atenuação do sinal.

O período de chuva mostrou ser o melhor período para identificar este cenário de ocultação. Devido ao material do lençol não ser impermeável, os fluidos da decomposição da carcaça de suíno influenciou na atenuação do sinal eletromagnético e na permissividade dielétrica do lençol, tendo uma reflexão de alta amplitude pelo contato entre o solo sobre o

lençol. Fato que pode ser visto em todas as frequências nos radargramas 2D adquiridos no período de chuva.

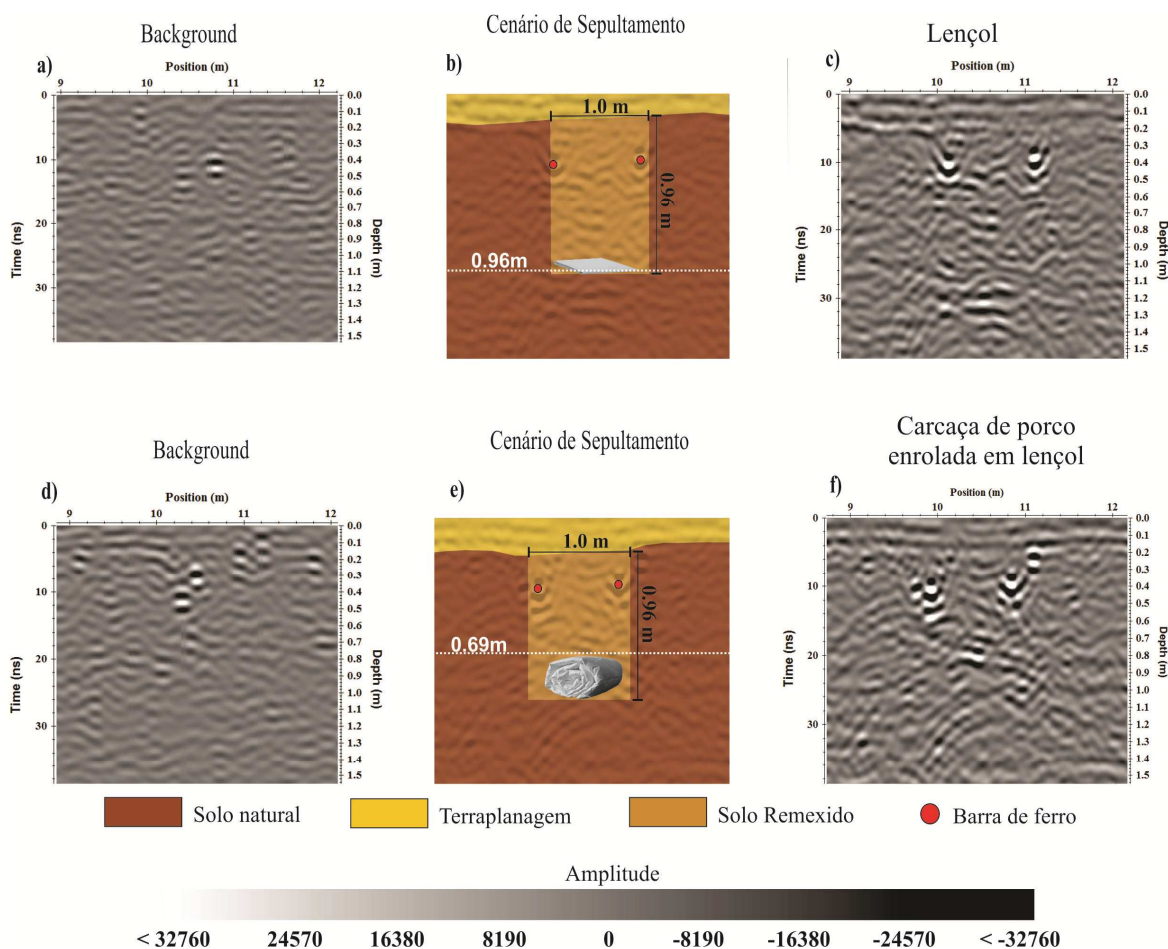


Figura 6.16 - Informação da cova com lençol: a) radargrama do BG, b) cenário de enterro e c) radargrama após o enterro. Informação do enterro com carcaça de suíno enrolada em lençol. d) radargrama do BG, e) cenário de enterro e f) radargrama após o enterro. Dados adquiridos com a antena de 400 MHz.

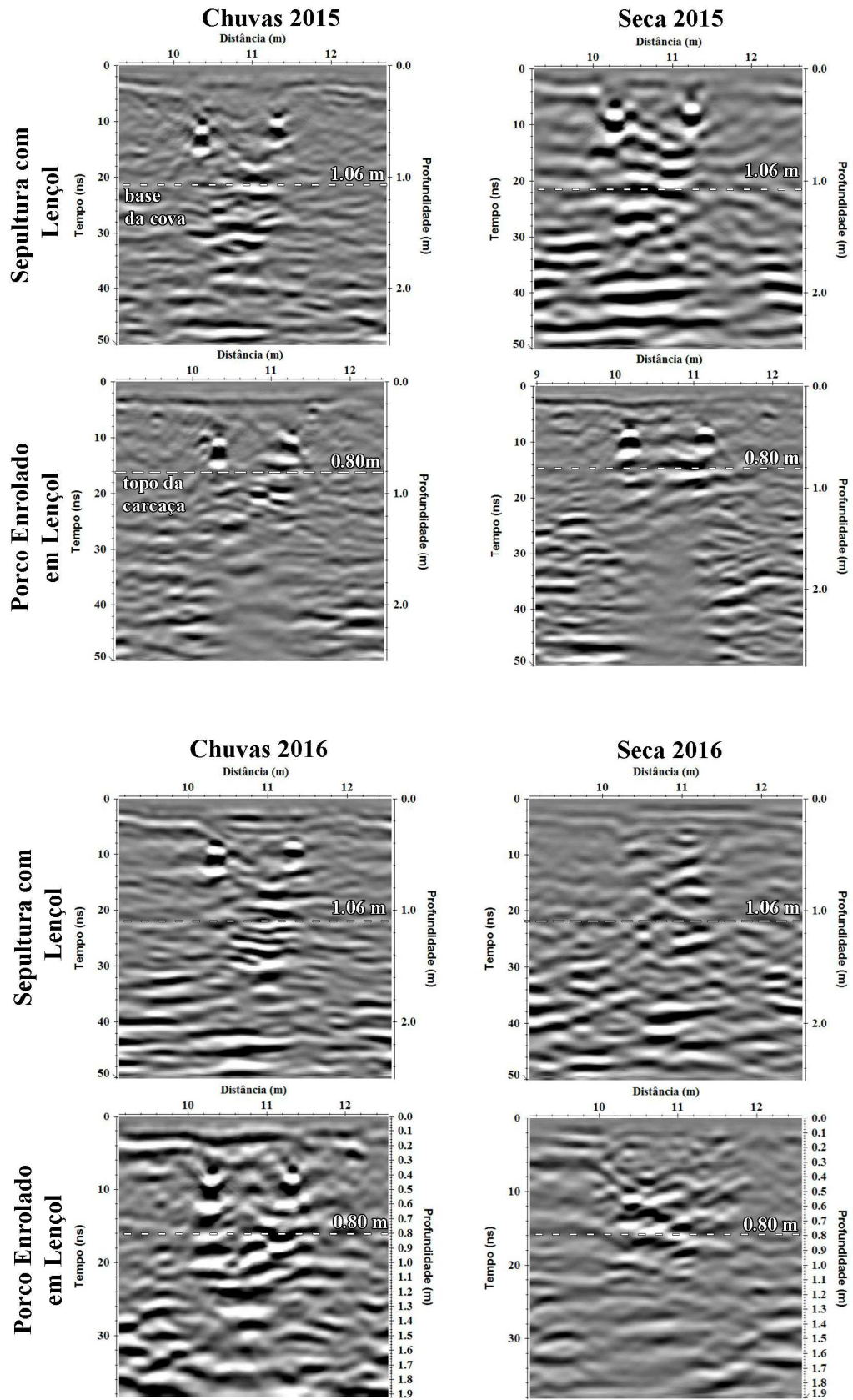


Figura 6.17 - Radargramas com frequência de 250 MHz, sobre as covas com lençol e carcaça de suíno envolto em lençol, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

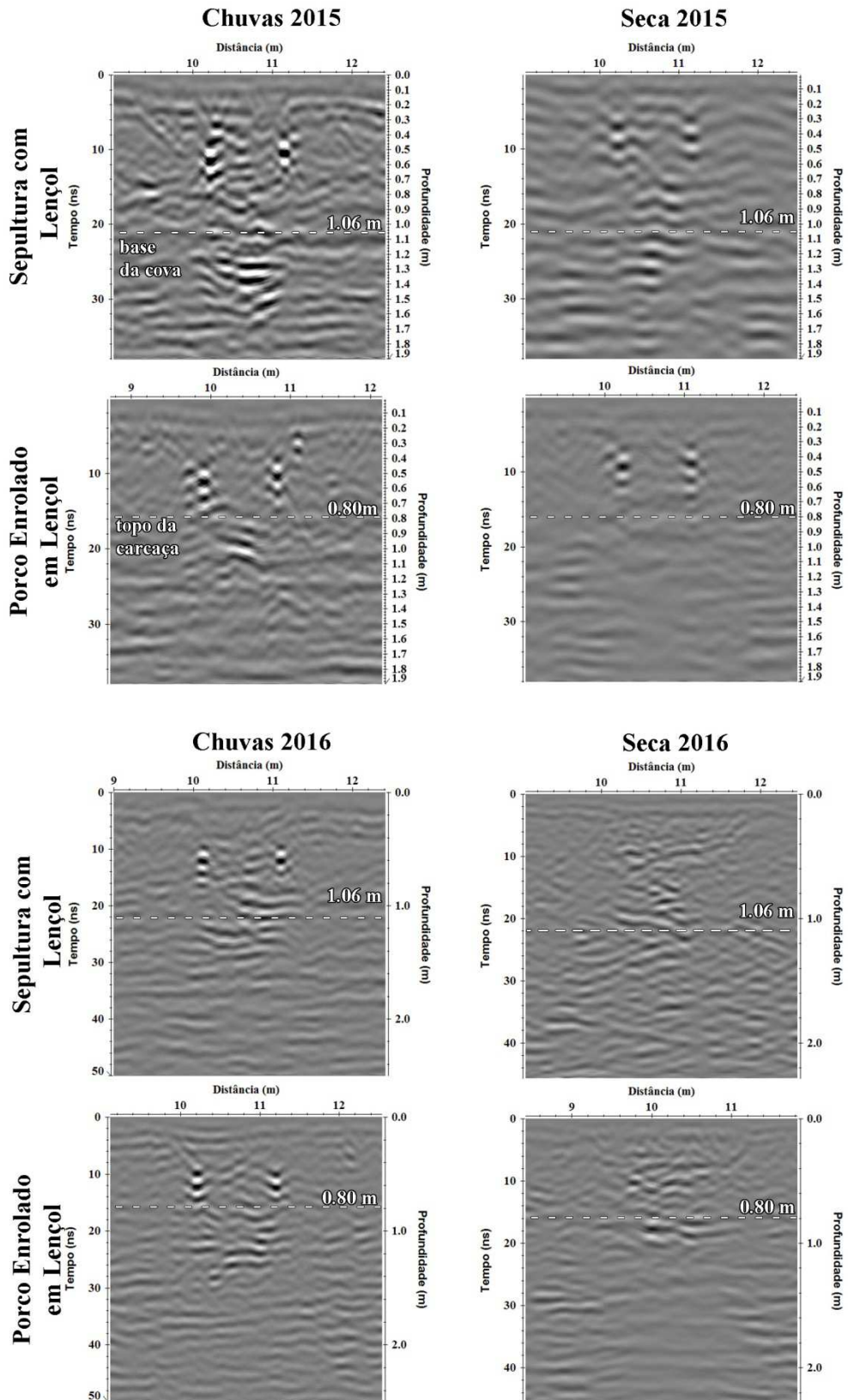


Figura 6.18 - Radargramas com frequência de 400 MHz, sobre as covas com lençol e carcaça de suíno envolto em lençol, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

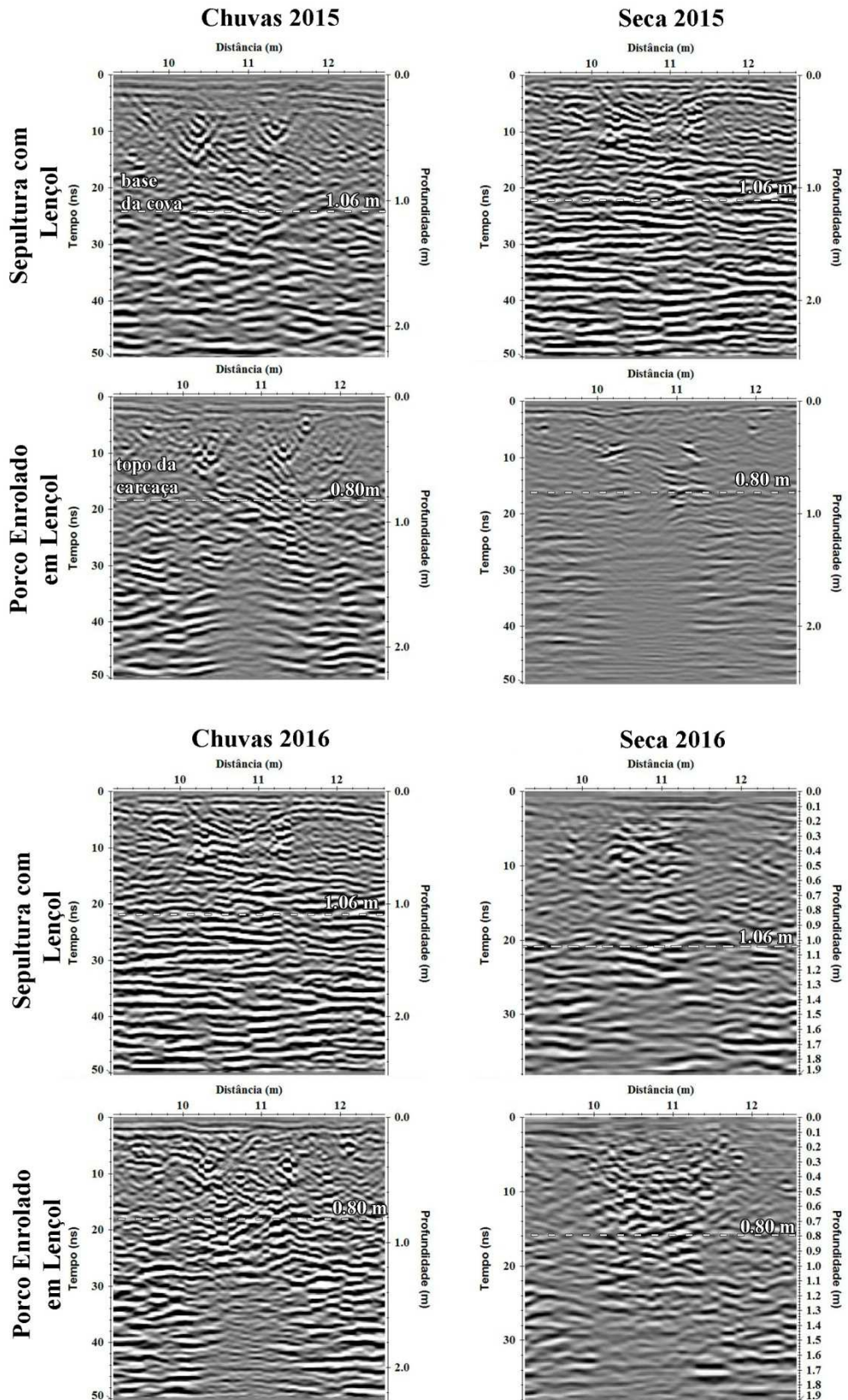


Figura 6.19- Radargramas com frequência de 700 MHz, sobre as covas com lençol e carcaça de suíno envolto em lençol, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

6.2.1.4 Bloco de Concreto x Carcaça em Bloco de Concreto

A **Figura 6.20** ilustra o cenário de sepultamento em concreto. Este cenário de sepultamento tem uma profundidade de 0,94 m (**Figura 6.20b**), onde a cova foi completamente preenchida por concreto. No cenário com carcaça de suíno no concreto (**Figura 6.20e**), a cova tem uma profundidade de 0,83 m. A cova foi preenchida com concreto pela metade, e o topo da carcaça de suíno, posicionado a uma profundidade de 0,36 m. Em seguida a cova foi coberta por concreto até a superfície. O radargrama obtido sobre a cova somente com o concreto (**Figura 6.20c**) mostra uma ligeira atenuação do sinal GPR, entre as posições 14 e 15 m, e após 0,27 m de profundidade. O radargrama sobre a cova com uma carcaça de suíno no concreto (**Figura 6.20f**) mostra um refletor hiperbólico de média amplitude, entre as posições 13,8 a 14,9 m, a uma profundidade de 0,45 m, estando relacionado ao topo da carcaça de suíno no concreto.

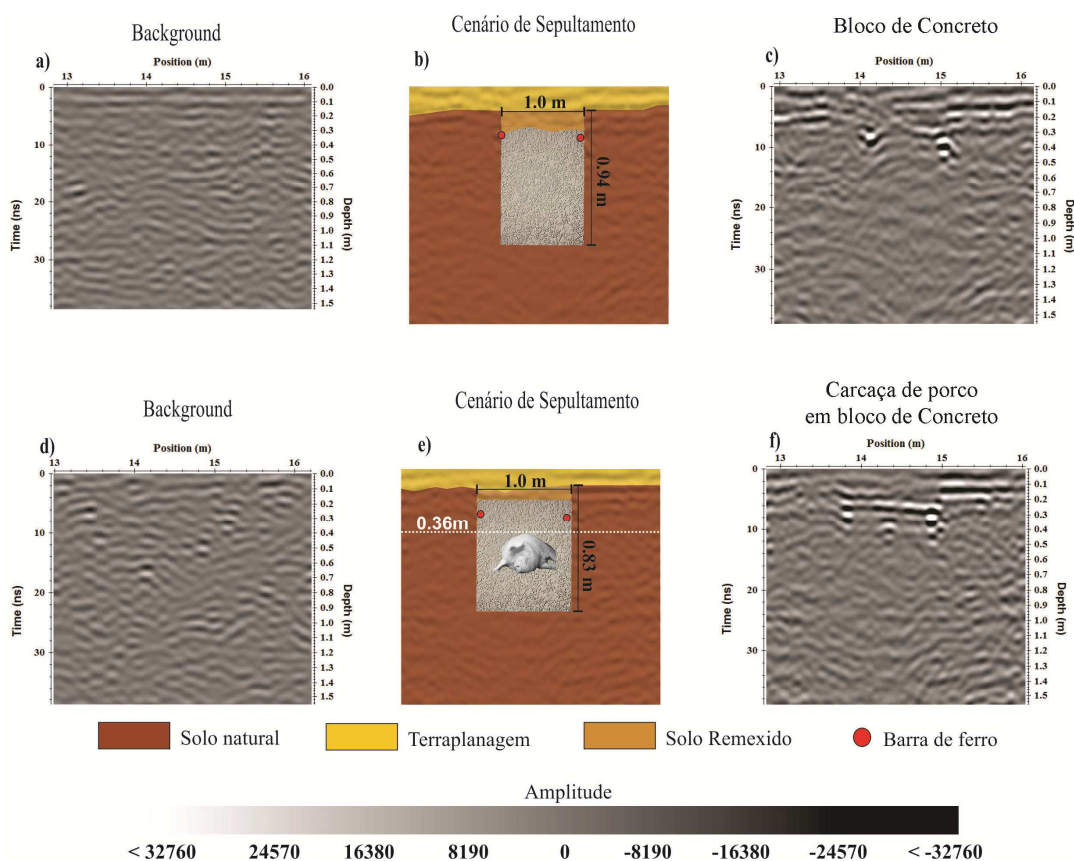


Figura 6.20 – Informação da cova com concreto: a) radargrama do BG, b) cenário de enterro e c) radargrama após o enterro. Informação do enterro com carcaça de suíno em concreto: d) radargrama do BG, e) cenário de enterro e f) radargrama após o enterro. Dados adquiridos com a antena de 400 MHz.

Os radargramas adquiridos pela antena de 250 MHz (**Figura 6.21**) apresentaram uma forte atenuação do sinal eletromagnético após os 0,25 m de profundidade em todos os períodos de aquisição. A cova preenchida por concreto apresentou o mesmo comportamento do sinal GPR nos períodos de seca e chuva, sem alteração durante os anos de 2015 e 2016.

No cenário com a carcaça de suíno sepultado no concreto, os radargramas adquiridos no período de chuva evidenciaram a presença de um refletor hiperbólico de média amplitude próximo à profundidade de 0,40 m, que foi relacionado ao topo da carcaça de suíno, posicionada dentro da cova. O mesmo cenário não apresenta com nitidez a presença da carcaça de suíno nos períodos de seca.

A antena de 400 MHz apresentou o mesmo comportamento de atenuação do sinal GPR (**Figura 6.22**), visto na frequência de 250 MHz, sobre as covas com cenário de ocultação em concreto. Na cova com concreto foi observada em todos os períodos de chuva (em 2015 e 2016) uma melhor visualização das reflexões: horizontal (superfície do concreto) e pontual (barras de ferro), com alta amplitude do sinal GPR. Os radargramas adquiridos nos períodos de seca (em 2015 e 2016) apresentaram reflexões de média amplitude.

Nos radargramas sobre a cova com a carcaça de suíno envolto em concreto, foi possível visualizar o refletor hiperbólico com média amplitude, nos radargramas adquiridos nos períodos de chuva de 2015 e 2016. Estando este refletor hiperbólico relacionado ao topo da carcaça do suíno dentro do bloco de concreto.

Em todos os radargramas somente foi possível delimitar os limites da cova pela presença das barras de ferro (refletores pontuais de alta amplitude) e pela atenuação do sinal GPR, provocada pela presença do concreto dentro da cova, no entanto não foi possível identificar a base da cova.

O radargrama adquirido na época de seca de 2016 apresenta um refletor hiperbólico de baixa amplitude relacionado ao topo da carcaça, o que dificilmente é perceptível no radargrama adquirido no período de seca de 2015.

Os radargramas adquiridos com a antena de 700 MHz (**Figura 6.23**) apresentam o mesmo comportamento de atenuação do sinal eletromagnético sobre as covas com o cenário de ocultação em concreto, discutidos nas frequências de 250 MHz e 400 MHz.

Como a antena de 700 MHz possui uma melhor resolução, foi possível realçar os limites laterais das covas com e sem a presença da carcaça de suíno, mas não foi possível observar a base da cova. Na cova com a presença da carcaça de suíno, o refletor hiperbólico com média amplitude, associado à presença do topo da carcaça foi observado tanto nos radargramas, adquiridos na chuva, como nos períodos de seca.

Este resultado aprova o uso da antena de alta frequência em ambientes condutivos (concreto) e com pouco contraste de permissividade dielétrica entre os materiais, para identificar alvos rasos (SCHULTZ e MARTIN, 2012; MOLINA et al., 2016).

O refletor hiperbólico relacionado ao topo da carcaça, na verdade esta relacionado ao espaço vazio produzido pela decomposição exotérmica comentada por Schumann et al., (1995), onde as propriedades alcalinas do concreto tende a acelerar o processo de decomposição e formação da adipocere ou saponificação, separando o corpo do contato com o concreto.

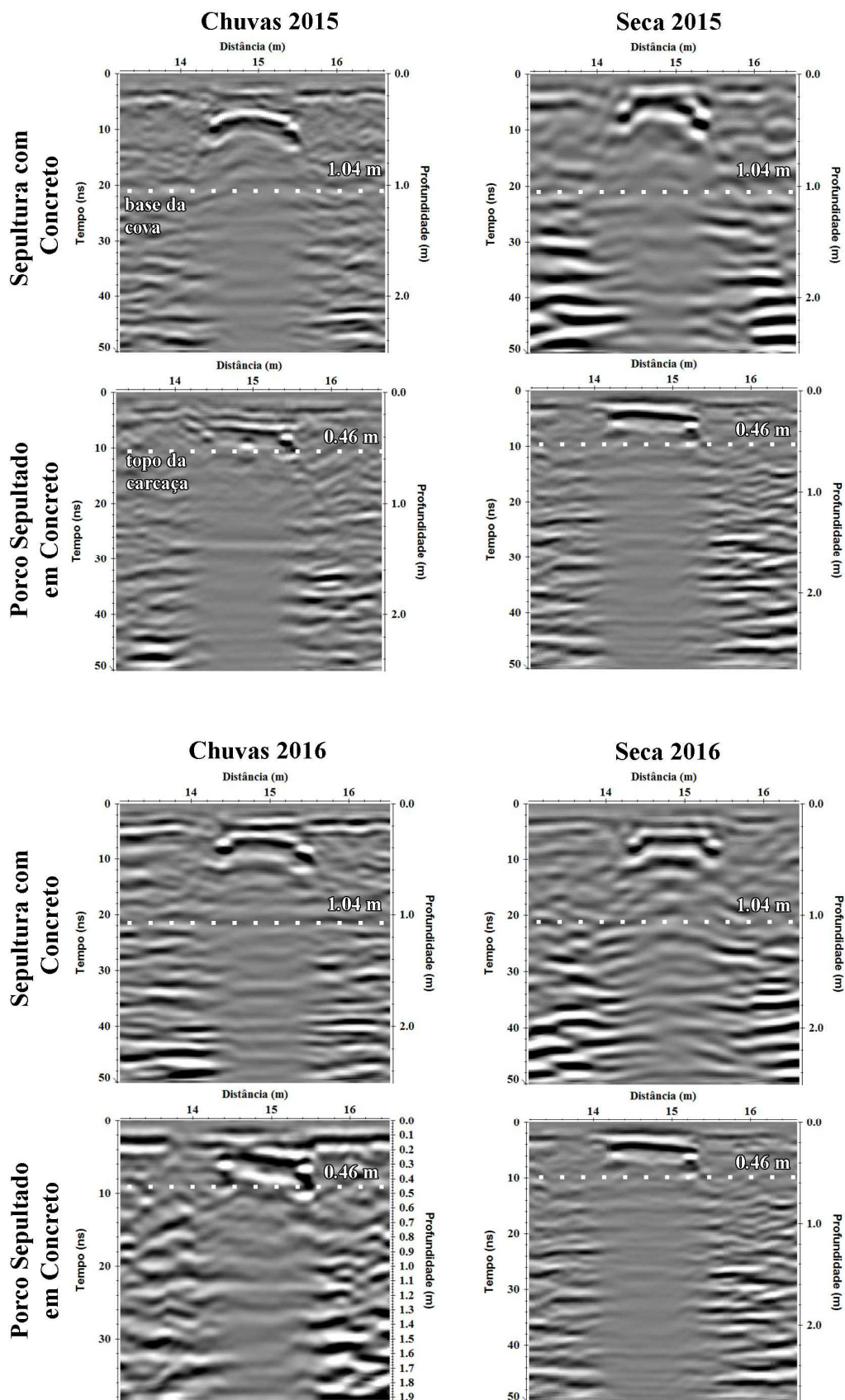


Figura 6.21 - Radargramas com frequência de 250 MHz, sobre as covas com concreto e carcaça de suíno em concreto, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

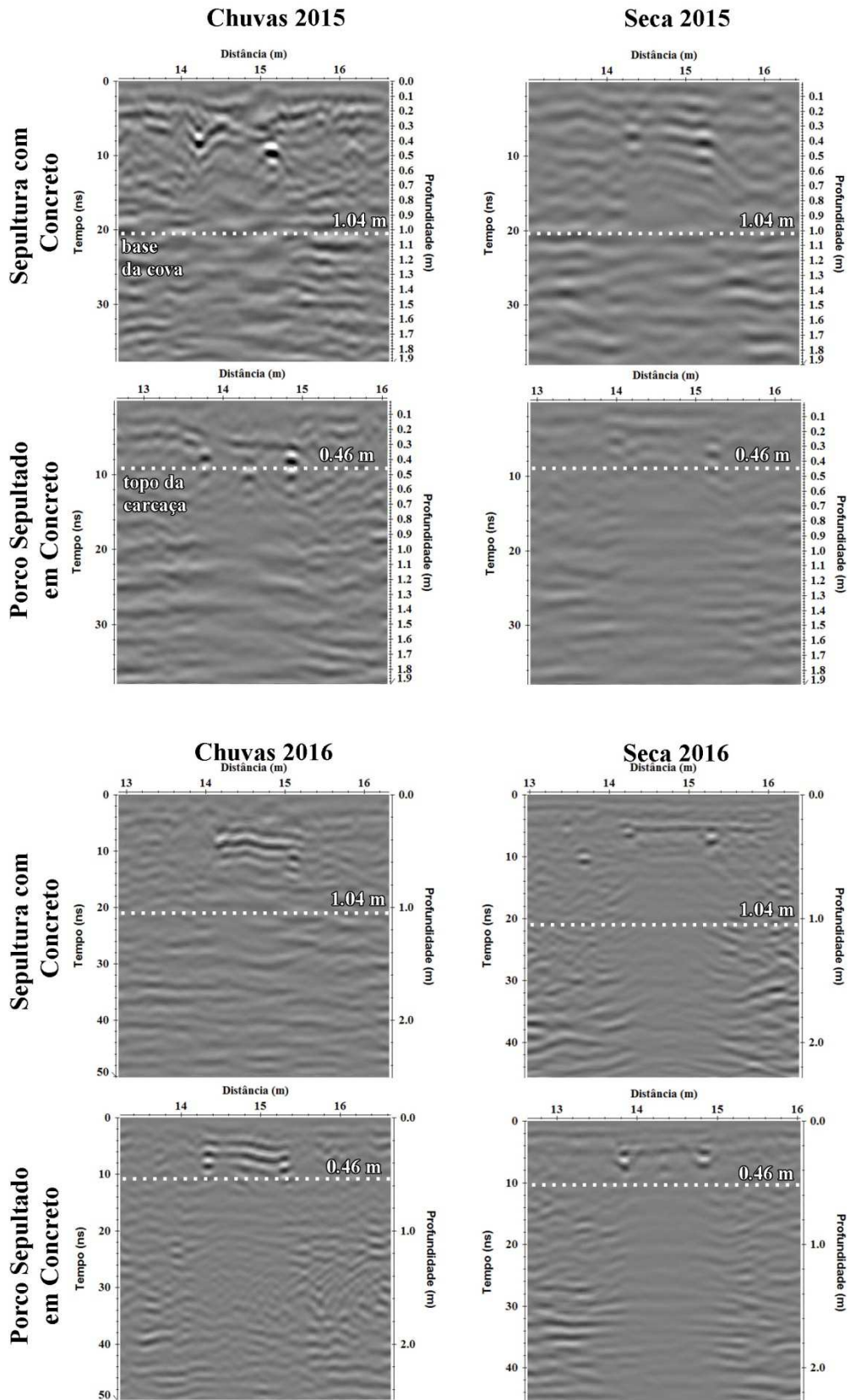


Figura 6.22 - Radargramas com frequência de 400 MHz, sobre as covas com concreto e carcaça de suíno em concreto, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

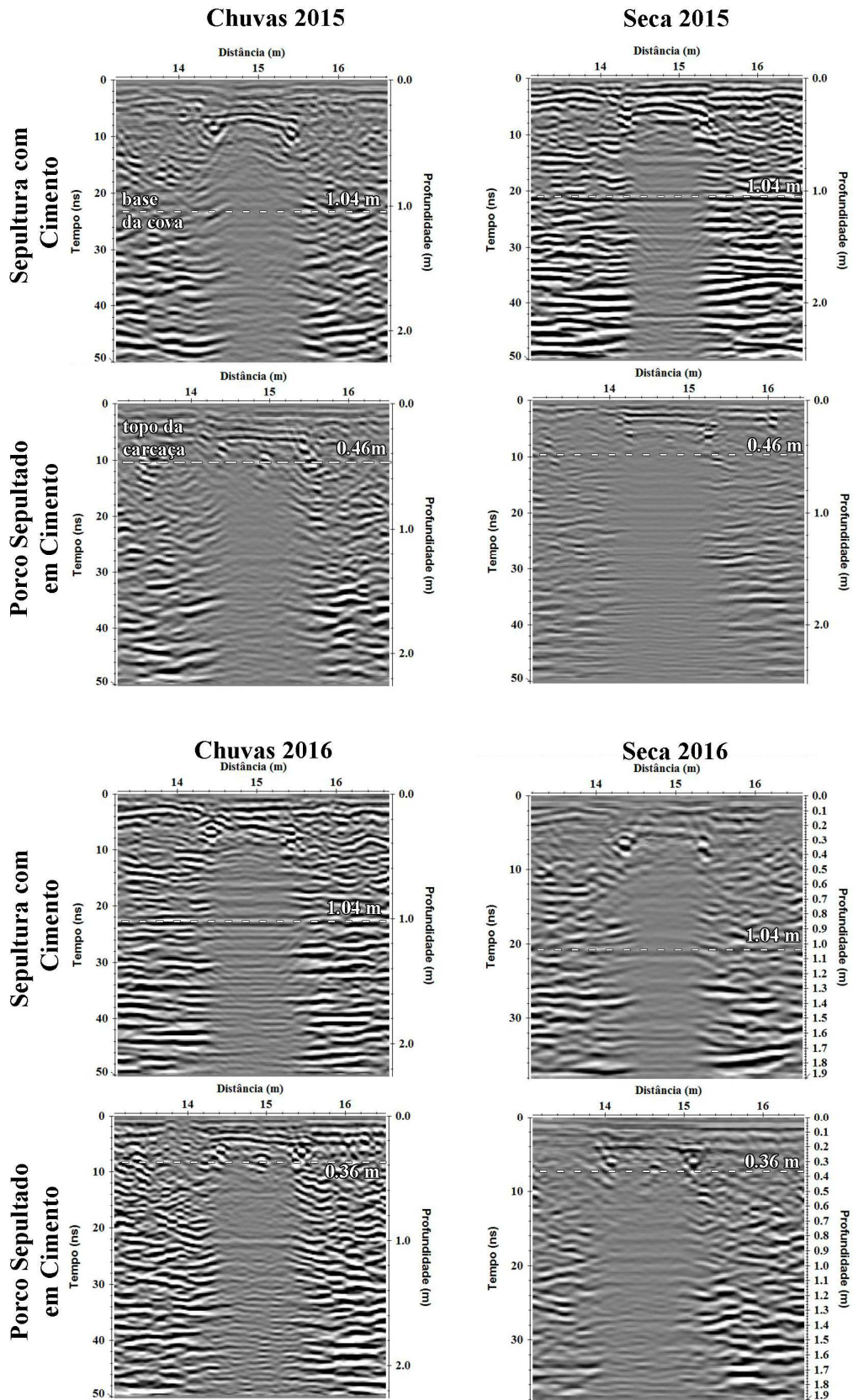


Figura 6.23 - Radargramas com frequência de 700 MHz, sobre as covas com concreto e carcaça de suíno em concreto, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

6.2.1.5 Restos de Construção x Carcaça em Restos de Construção

A **Figura 6.24** mostra a simulação do enterro em restos de construção. A cova com restos de construção (**Figura 6.24b**) tem uma profundidade de 0,97 m, sendo completamente preenchida com materiais diversos descartados de construção. A cova com carcaça de suíno junto com restos de construção (**Figura 6.24e**) tem uma profundidade de 0,92 m, com o topo da carcaça de suíno posicionado a uma profundidade de 0,64 m, sendo coberto pelos materiais de descarte de construção. O radargrama obtido sobre a cova com restos de construção (**Figura 6.24c**) mostra refletores descontínuos de média amplitude, posicionados entre as posições 17,8 m e 18,9 m e localizados entre 0,2 m e 0,9 m de profundidade. Estes refletores estão relacionados aos materiais de construção, presentes na cova. No radargrama obtido sobre a carcaça em restos de construção (**Figura 6.24f**), aparecem refletores de alta amplitude entre 17,8 e 18,8 m, no intervalo de 0,4 a 0,90 m de profundidade, relacionados à presença dos restos de construção. Não foi possível visualizar a presença da carcaça entre os restos de construção.

Os radargramas adquiridos pela antena de 250 MHz (**Figura 6.25**) apresentam refletores associados ao topo dos restos de construção em todos os períodos do ano. São observados refletores com alta amplitude dentro dos limites das covas neste cenário. Observou-se também nos radargramas adquiridos entre o período de seca e chuva, tanto nos anos de 2015 e 2016, a atenuação do sinal eletromagnético, dentro dos limites da cova, não sendo possível observar a base da cova. Foram verificados vários refletores de alta amplitude, dentro dos limites da cova, não sendo possível correlacioná-los com a posição da carcaça.

Nos radargramas da antena de 400 MHz (**Figura 6.26**) observa-se uma menor presença de refletores de alta amplitude, sendo que os que foram observados, dentro dos limites das covas, estariam relacionados aos restos de construção. Para esta frequência foram observados refletores abaixo da profundidade de 0,50 m, sendo relacionados aos materiais de construção. O mesmo comportamento de atenuação do sinal eletromagnético em ambos os cenários, dificultou a identificação da base da cova.

Nos radargramas de 700 MHz (**Figura 6.27**) foi identificada uma melhor delimitação dos limites da cova, com a presença de refletores descontínuos de alta amplitude, e também com uma forte atenuação do sinal eletromagnético, após os refletores de alta amplitude (visto em todos os radargramas, deste cenário). Nos radargramas adquiridos nos períodos de seca é possível identificar melhor os refletores relacionados aos

restos de construção, o que possibilita uma melhor delimitação da cova, sem muita interferência de outros refletores, que são ressaltados pela alta resolução da antena de 700 MHz, vistos nos radargramas adquiridos nos períodos de chuva. Na cova com o cenário dos restos de construção com a carcaça de suíno, os radargramas apresentaram as mesmas características do cenário sem a carcaça. Somente no radargrama adquirido no período de chuva, no ano de 2015, foi observada a atenuação do sinal eletromagnético em uma profundidade mais rasa (0,74 m).

A presença de vários tipos de materiais, presentes em restos de construção, produziram reflexões de varias amplitudes, o que não possibilitou a identificação segura de reflexão relacionada à presença da carcaça de suíno. Em relação as áreas de atenuação ambos os cenários (com e sem a carcaça), apresentaram o mesmo comportamento de absorção do sinal.

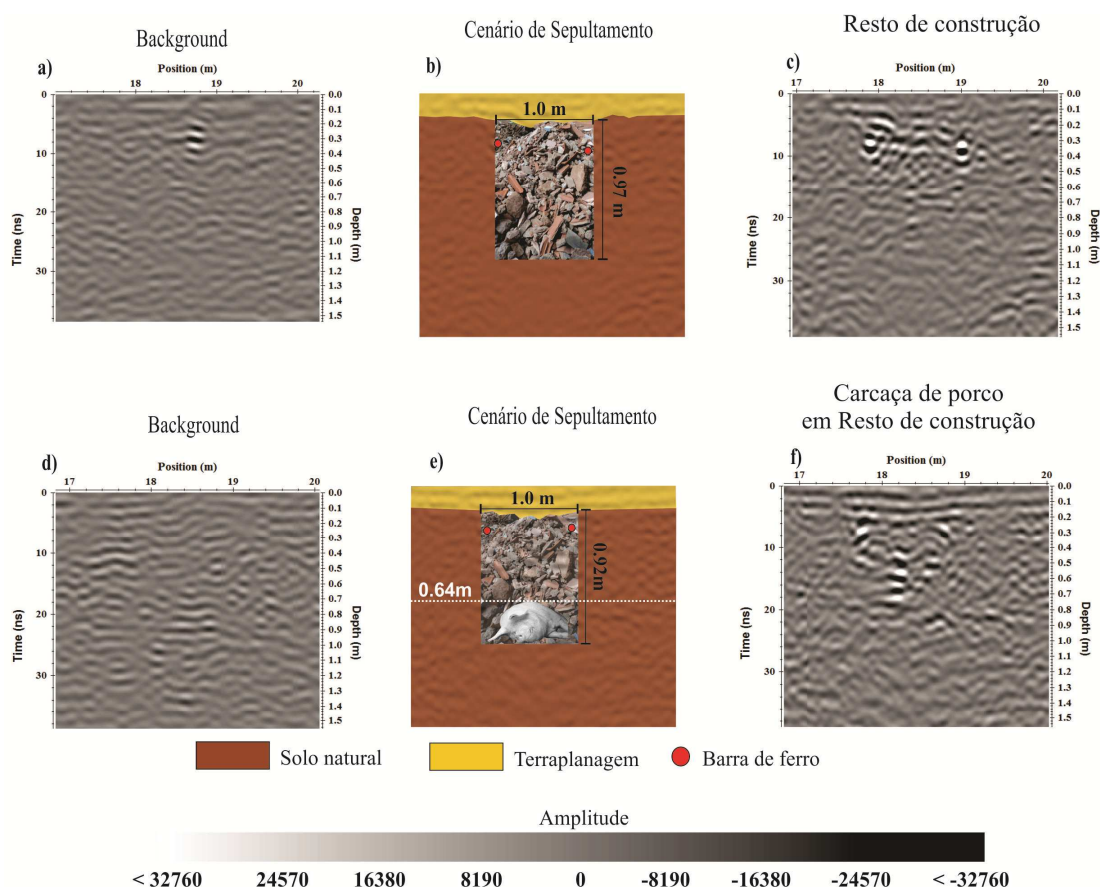


Figura 6.24 - Informação da cova com restos de construção: a) radargrama do BG, b) cenário de enterro e c) radargrama após o enterro. Informação do enterro com carcaça de suíno em restos de construção: d) radargrama do BG, e) cenário de enterro e f) radargrama após o enterro. Dados adquiridos com a antena de 400 MHz.

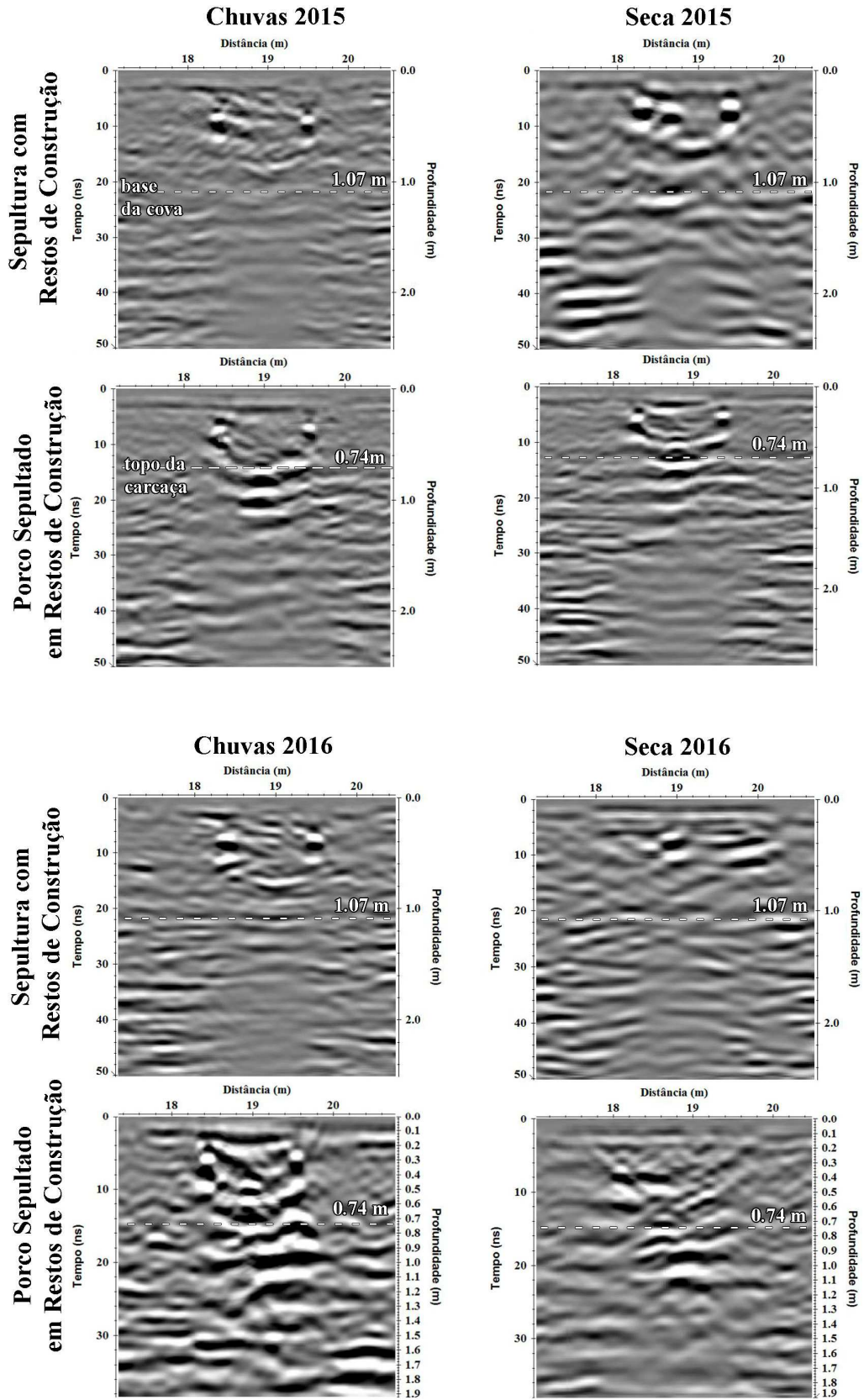


Figura 6.25 - Radargramas com frequência de 250 MHz sobre as covas com resto de construção com e sem carcaça de suíno, para os períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

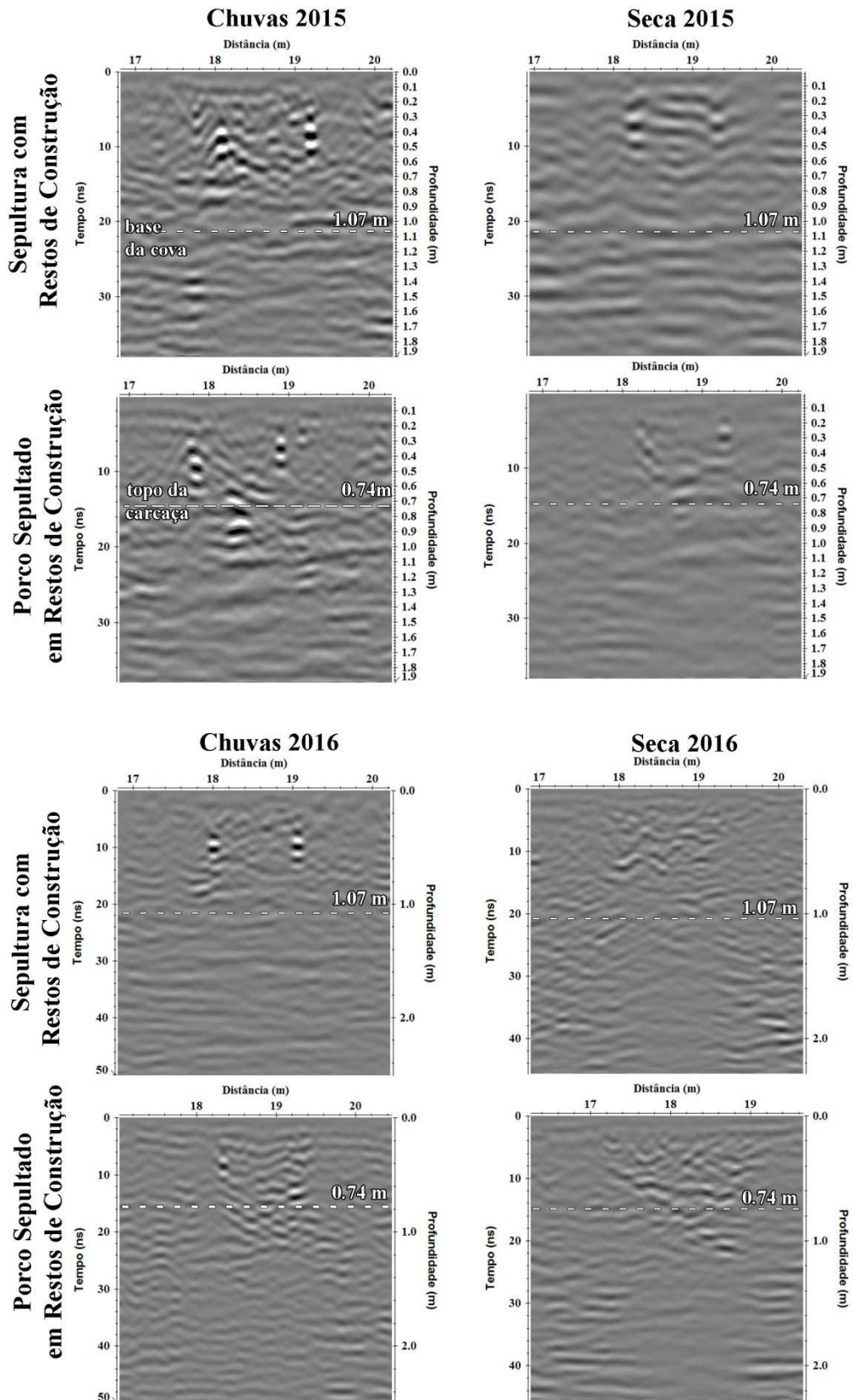


Figura 6.26 - Radargramas com frequência de 400 MHz, sobre as covas com resto de construção com e sem carcaça de suíno, para os períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

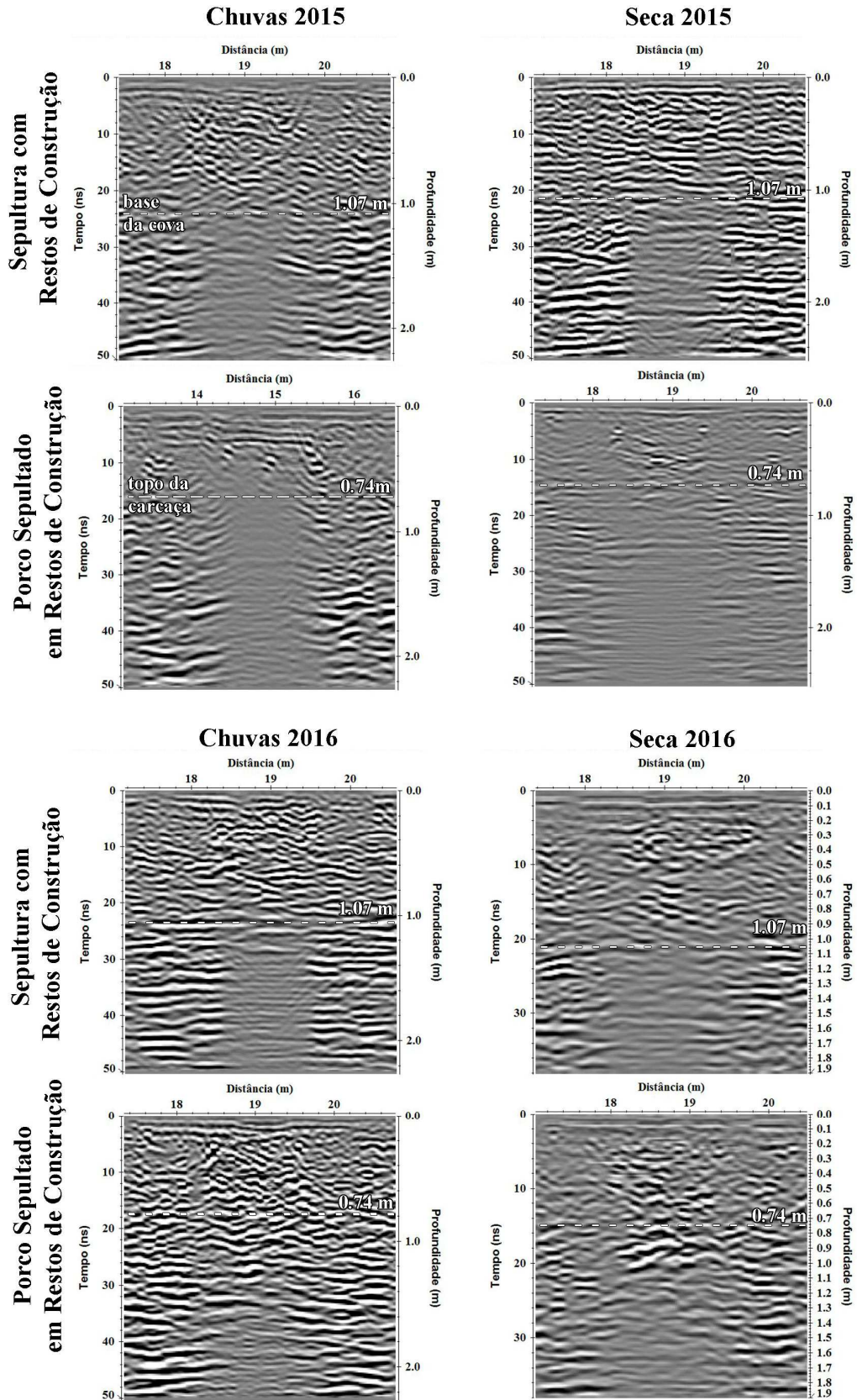


Figura 6.27 - Radargramas com frequência de 700 MHz, sobre as covas com resto de construção com e sem carcaça de suíno, para os períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

6.2.1.6 Caixão de Madeira x Carcaça em Caixão de Madeira

A **Figura 6.28** ilustra o cenário de sepultamento da carcaça de suíno utilizando como envoltório um caixão de madeira. No cenário de caixão vazio (**Figura 6.28b**), a cova tem uma profundidade máxima de 0,94 m com o topo do caixão (vazio) posicionado a 0,51 m de profundidade. No cenário com a carcaça dentro do caixão (**Figura 6.28e**), a cova tem 0,90 m de profundidade e o topo do caixão, 0,50 m. O radargrama, obtido sobre o caixão de madeira vazio (**Figura 6.28c**), apresenta entre as posições 22 m e 23 m, refletores descontínuos de alta amplitude, localizados entre 0,60 m e 1,0 m de profundidade. Estes refletores estão associados ao topo do caixão, o espaço vazio (dentro do caixão) e a base do caixão de madeira. O radargrama com a carcaça dentro do caixão apresenta pequenos refletores hiperbólicos de alta amplitude entre 21,8 m e 22,8 m, na profundidade de 0,50 m a 0,75 m (**Figura 6.28f**). Estes refletores estão associados à presença do topo do caixão de madeira, e com o espaço vazio entre a carcaça de suíno em decomposição e a tampa do caixão, não sendo possível visualizar a base do caixão e da cova, pelo efeito da atenuação do sinal, pela decomposição da carcaça.

Nos radargramas adquiridos com antena de 250 MHz (**Figura 6.29**) observa-se a presença de refletores horizontalizados de alta amplitude, em quase todos os períodos de aquisição (com exceção do período de seca de 2016), os quais foram relacionados à presença do caixão de madeira. Considera-se nos radargramas, sobre a cova com a carcaça dentro do caixão, a ocorrência de zonas de atenuação do sinal eletromagnético, após os refletores de alta amplitude em todos os períodos de aquisição (chuva e seca), nos anos de 2015 e 2016.

Observou-se também que no cenário com o caixão vazio, a ocorrência de múltiplos refletores de alta amplitude, após a base do caixão vazio. Estas múltiplas reflexões são bem visíveis nos radargramas adquiridos no período de chuva (nos anos de 2015 e 2016). No radargrama sobre a cova com a presença da carcaça de suíno no caixão, durante o período de chuva de 2016, observou-se um refletor hiperbólico de alta amplitude sobre o caixão de madeira (profundidade de 0,40 m), o qual foi associado à presença de um espaço vazio sobre a tampa do caixão. Esta associação foi validada durante a remoção das barras de ferro, no período de seca de 2016, que ocasionou o desmoronamento da cova, comprovando a presença do espaço vazio. Posteriormente, a cova foi recoberta com terra.

No radargrama adquirido no período de seca de 2016, observou-se a falta dos refletores de alta amplitude, associados à presença do caixão com a carcaça de suíno.

Nos radargramas adquiridos com a antena de 400 MHz (**Figura 6.30**) há refletores de alta amplitude relacionados à presença do caixão de madeira. O cenário com caixão vazio exibe, no radargrama, adquirido durante o período de chuva a presença de refletores horizontalizados de alta amplitude, localizados entre 0,80 a 1,20 m de profundidade. Estes refletores horizontalizados estão relacionados à presença do topo e base do caixão de madeira e ao espaço vazio dentro do mesmo. No radargrama adquirido no mesmo ano (2015), durante o período de seca, são observados a presença de fracas reflexões de media amplitude, relacionadas ao topo e base do caixão de madeira.

No cenário com a carcaça de suíno dentro do caixão. É observado nos radargramas, adquiridos nos períodos de chuva de 2015 e 2016, a presença de refletores horizontalizados de média amplitude, relacionados ao topo e base do caixão de madeira. É visível após a base do caixão a presença de atenuação do sinal GPR, sendo relacionado a percolação dos fluidos de decomposição da carcaça, dentro do caixão. Nos radargramas adquiridos nos períodos de seca de 2015 e 2016, a presença da zona de atenuação são mais evidente. Conforme discutido anteriormente o radargrama adquirido no período de seca, no ano de 2016, apresenta alterações de reflexão devido ao desmoronamento e recobrimento da cova.

Foi observada uma maior resolução dos refletores nos radargramas utilizando a antena de 700 MHz (**Figura 6.31**). Os radargramas adquiridos no período de seca, sobre a cova com o caixão vazio, apresentaram uma melhor delimitação da cova e do topo e base do caixão de madeira, sendo bem visível no radargrama, adquirido no período de seca de 2016. Nos radargramas adquiridos no período de chuva, a identificação do caixão vazio ficou prejudicada pela alta resolução das reflexões adjacentes à cova. Conforme discutido nos cenários de sepultamento anteriores, a umidade do solo contribui para um maior contraste de permissividade dielétrica entre os matérias, mas os resultados com uma antena de alta resolução (700 MHz) são prejudicados pelas reflexões adjacentes.

Na cova com a presença da carcaça de suíno dentro do caixão, os radargramas adquiridos nos períodos de chuva exibem a mesma dificuldade em observar as reflexões associadas ao caixão de madeira, sendo observada após 1,0 m de profundidade a

ocorrência das zonas de atenuação, provocadas pela percolação dos fluidos de decomposição da carcaça de suíno pela base do caixão de madeira.

Na análise dos radargramas adquiridos nos períodos de seca, entre os anos de 2015 e 2016. É possível visualizar a presença de reflexões horizontais sobrepostas de alta amplitude relacionada ao caixão de madeira com a carcaça de suíno, entre as profundidades de 0,50 a 0,80 m. Após 0,80 m é observada a zona de atenuação que é presente até o fim do radar, provocado pela alta condutividade do fluido de decomposição da carcaça na base da cova. Conforme tratado no radargrama de 250 MHz, o radargrama adquirido no período de seca de 2016 apresenta a alteração dos refletores, devido ao desmoronamento e recobrimento da cova.

Neste cenário de sepultamento com caixão de madeira a antena de 250 MHz apresentou melhores resultado na identificação das reflexões de alta amplitude associadas ao caixão vazio e ao caixão com a carcaça de suíno, durante os períodos de seca e chuva. A frequência de 400 MHz apresenta os radargramas de reflexão com fraca amplitude do sinal, tendo os radargramas adquiridos no período de chuva com melhor visualização dos refletores associados ao caixão vazio e ao caixão com a carcaça. A frequência de 700 MHz apresenta resultados satisfatórios com a boa visualização das zonas de atenuação, nas covas com a carcaça de suíno dentro do caixão; os radargramas adquiridos no período da seca apresentaram os melhores resultados na visualização das reflexões de alta amplitude, associadas a presença do caixão de madeira vazio.

O fato do desabamento do tento da cova é relatado pela decomposição dos materiais de celulose pertencente ao caixão de madeira, que segundo Janaway et al., (2003) a decomposição da celulose é intensificada em contanto com outros materiais em decomposição (carcaça de suíno). Em trabalhos de exumação em cemitérios Schotsmans et al., (2017), relata a preservação de caixões até 03 anos após o sepultamento, sendo levando em consideração a qualidade da madeira do caixão (Carvalho), em caixões de madeira de qualidade inferior os autores relatam a rápida desintegração da tampa e fundo do caixão, devido a umidade se concentrar no topo e na base, ficando as laterais por um período maior.

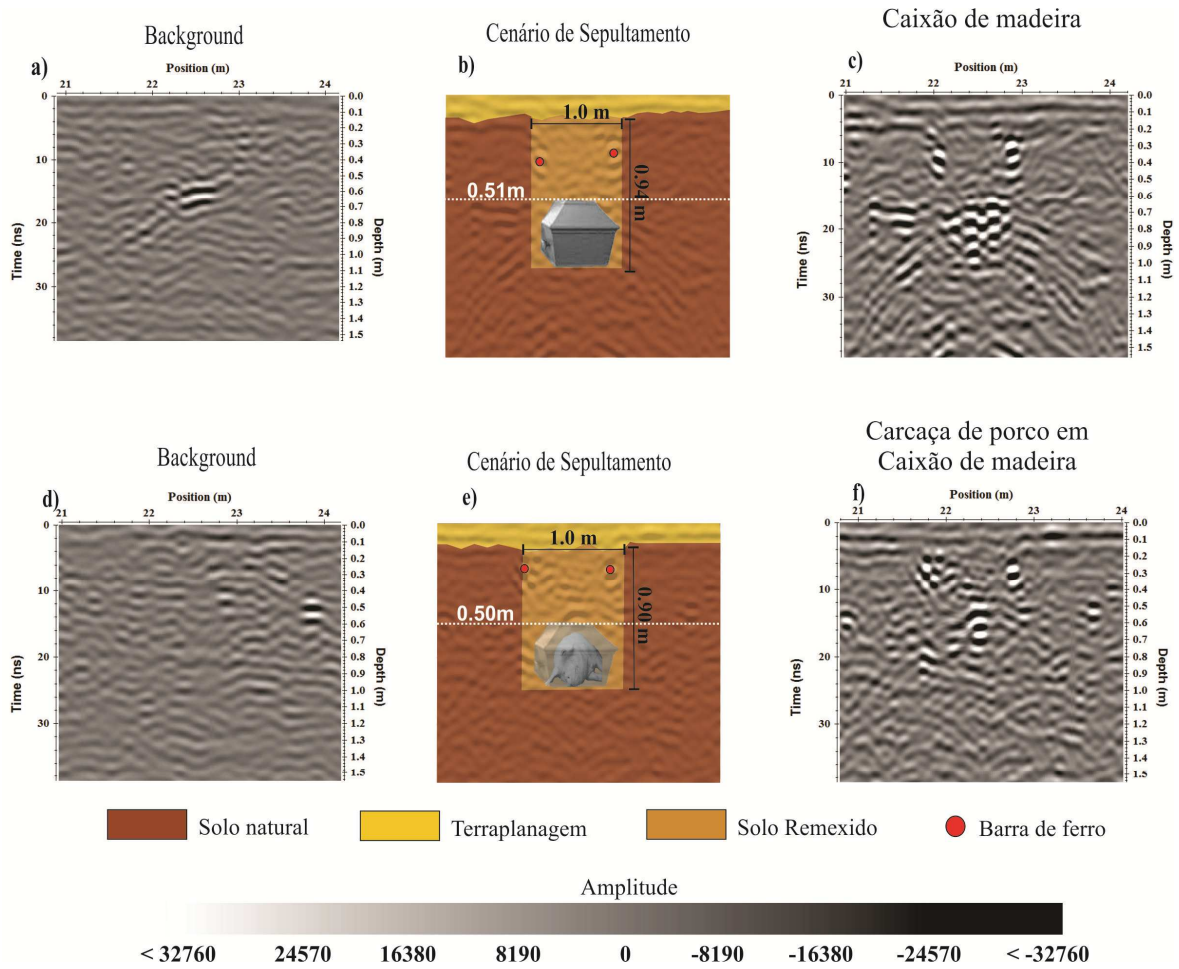


Figura 6.28- Informação da cova com caixão de madeira: a) radargrama do BG, b) esquema de enterro c) radargrama após o enterro. Informação do enterro com carcaça de suíno em caixão de madeira: d) radargrama do BG, e) esquema de enterro e f) radargrama após o enterro. Dados adquiridos com a antena de 400 MHz.

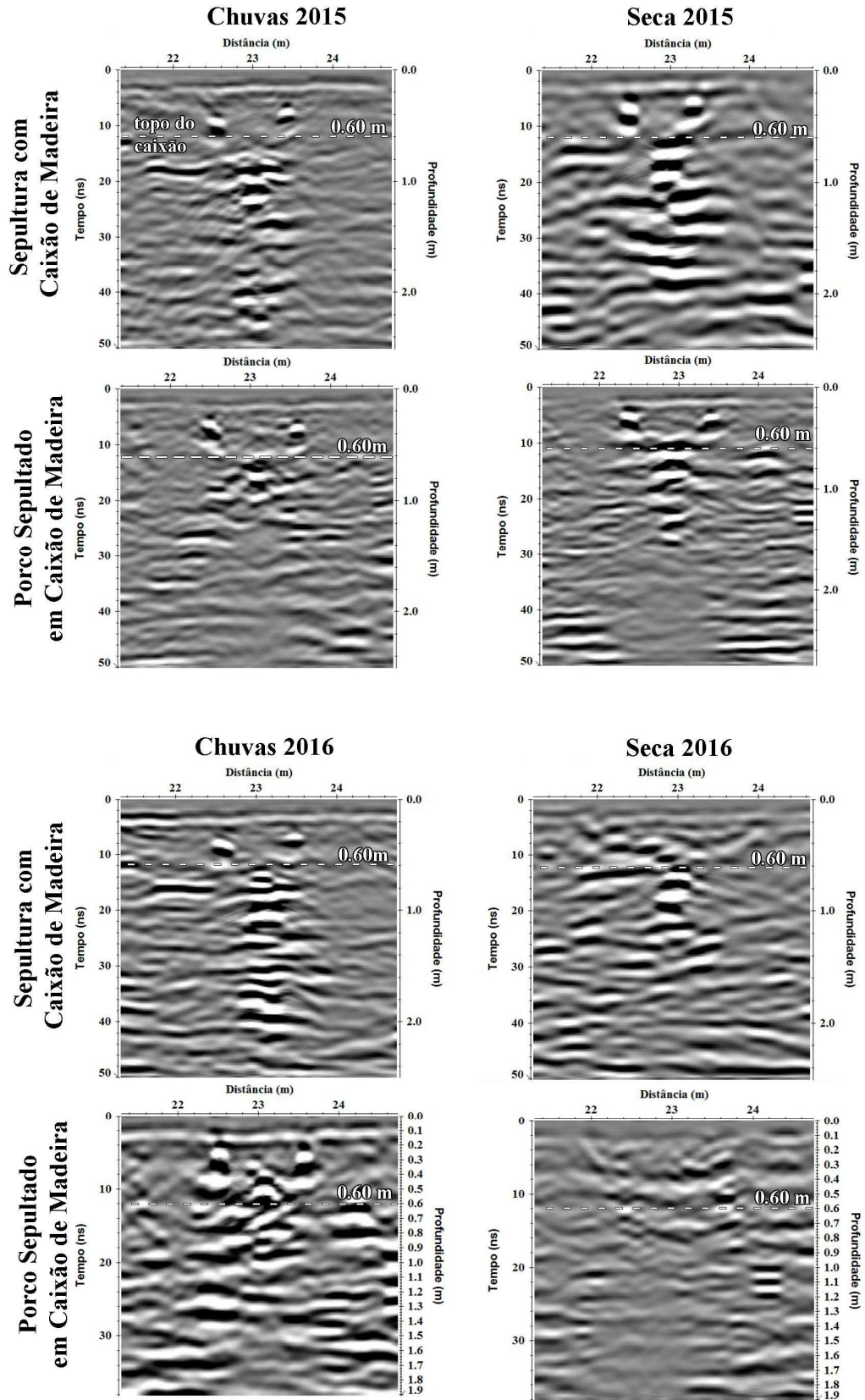


Figura 6.29- Radargramas com frequência de 250 MHz, sobre as covas com caixão de madeira com e sem a carcaça de suíno, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

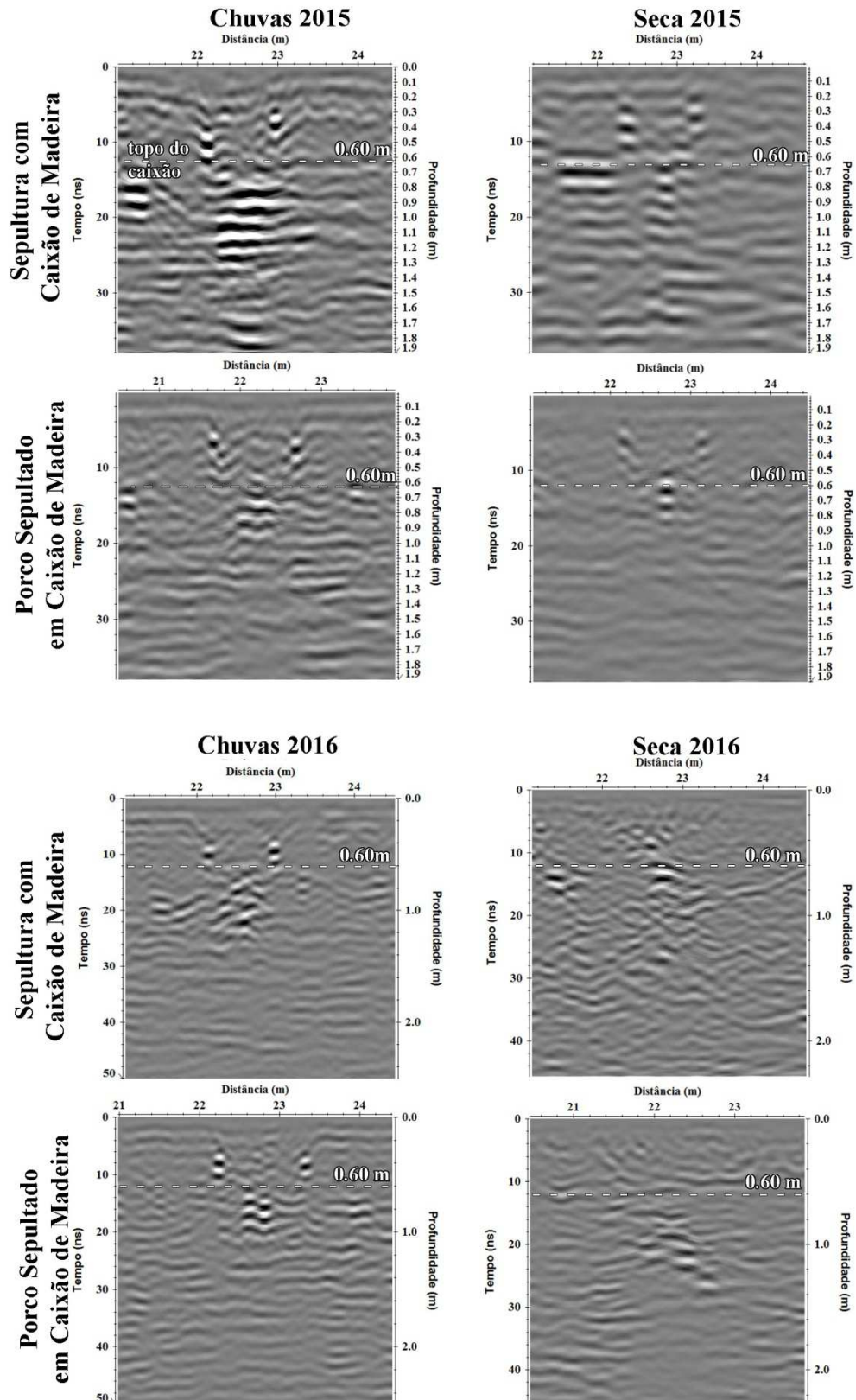


Figura 6.30 - Radargramas com frequência de 400 MHz, sobre as covas com caixão de madeira com e sem a carcaça de suíno, para os períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

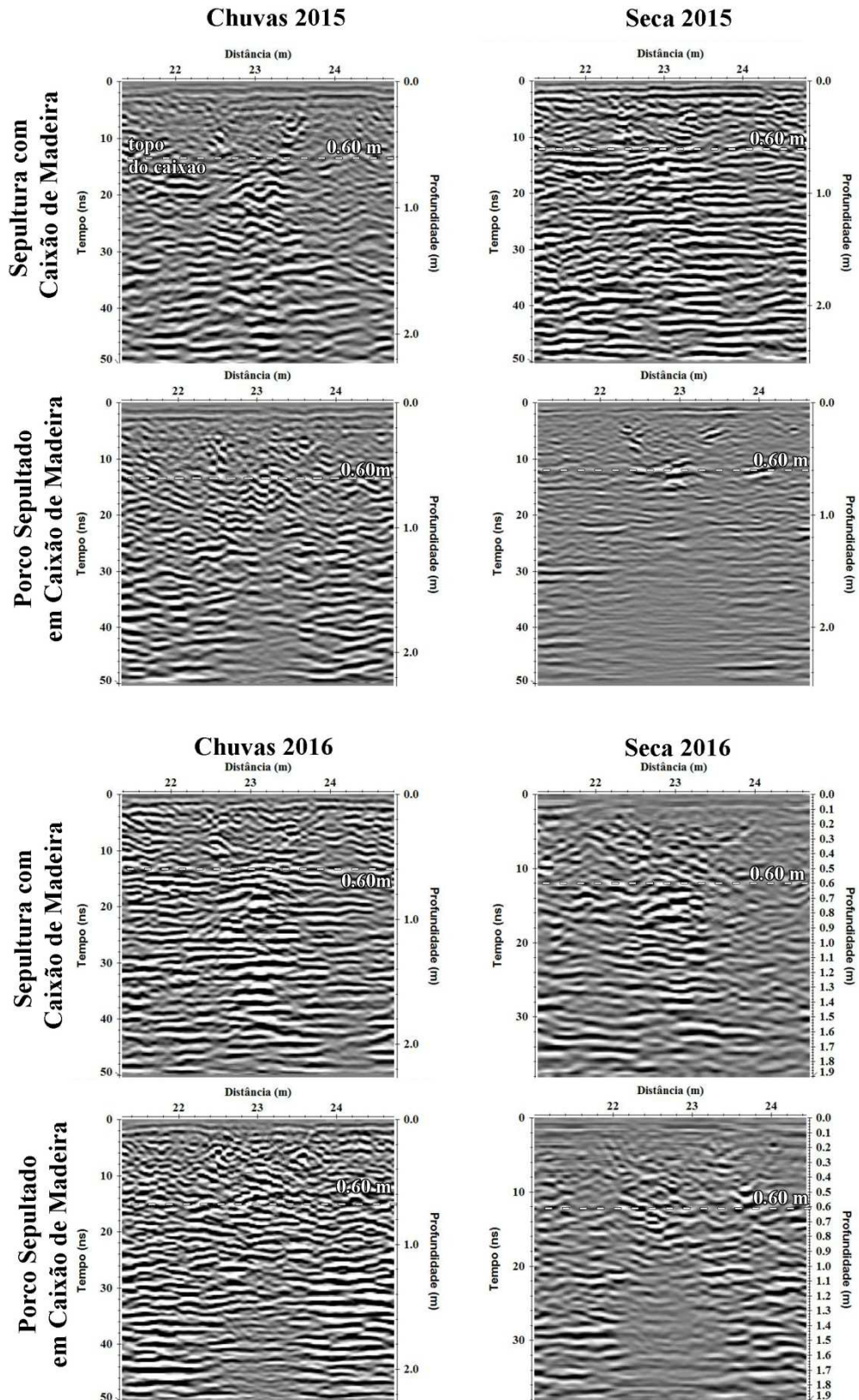


Figura 6.31 - Radargramas com frequência de 700 MHz, sobre as covas com caixão de madeira com e sem a carcaça de suíno, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

6.2.1.7 Cal hidratado x Carcaça em Cal Hidratado

A **Figura 6.32** ilustra o cenário de enterro em cal hidratado sem e com a carcaça de suíno. No primeiro, a cova (cenário com apenas a cal hidratada) tem 0,92 m de profundidade, com cal entre 0,48 m e 0,92 m de profundidade (**Figura 6.34b**). O cenário do enterro com carcaça de suíno em cal hidratada (**Figura 6.32e**) tem a cova escavada até a profundidade de 0,93 m, com o topo da carcaça de suíno posicionado a uma profundidade de 0,56 m, sendo coberta por cal hidratado até o topo atingir a profundidade de 0,30 m, sendo a cova coberta por terra em seguida.

O radargrama sobre a cova com apenas o cal hidratado (**Figura 6.32c**) mostra refletores de alta amplitude, posicionados entre 26 m e 27 m, e localizados entre 0,60 m e 0,93 m de profundidade, os quais são relacionados à parte superior e à base do cal hidratado dentro da cova. O radargrama sobre a cova com a carcaça de suíno envolto em cal hidratado (**Figura 6.32f**) mostra refletores de alta amplitude, posicionados entre 26 m e 27 m, e localizados entre 0,50 m e 0,70 m de profundidade, os quais são relacionados ao topo do cal hidratado e ao topo da carcaça de suíno. A base da cova não é visível devido à atenuação do sinal GPR após o topo da carcaça de suíno.

Observam-se nos radargramas de 250 MHz (**Figura 6.33**), sobre a cova com cal hidratado, a presença de refletores horizontais de alta amplitude, associados à presença do topo e base da camada de cal hidratado. Sendo mais bem visualizados nos períodos de chuva. Na cova com a presença da carcaça de suíno (envolto) em cal hidratado, nota-se a presença de reflexões de alta amplitude, precedidas por uma zona de atenuação do sinal GPR. Os radargramas adquiridos nos períodos de chuva, nos anos de 2015 e 2016, apresentam melhores visualizações das reflexões de alta amplitude e zonas de atenuação. Nos radargramas adquiridos no período de seca os resultados apresentam refletores horizontais de alta amplitude, seguidos de uma zona de atenuação do sinal de GPR.

Nos radargramas de 400 MHz (**Figura 6.34**) são observadas reflexões horizontais e hiperbólicas de alta a média amplitude, relacionadas à cal, sendo bem apresentados nos radargramas adquiridos no período de chuva. A presença da zona de atenuação do sinal eletromagnético são bem visíveis nos radargramas adquiridos nos períodos de seca. A atenuação do sinal GPR é associada a presença da carcaça de suíno em decomposição. Nos

radargramas adquiridos no período de seca observa-se uma baixa amplitude das reflexões, relacionadas ao cal hidratado.

Nos radargramas de 700 MHz (**Figura 6.35**), observam-se reflexões de alta amplitude em todos os radargramas adquiridos durante os períodos de chuva, dificultando a identificação do alvo sepultado. No radargrama durante o período de chuva de 2016, sobre a cova com cal hidratado, é possível observar a presença de refletores horizontais de alta amplitude, localizados entre 0,50 m e 0,90 m de profundidade. Estes refletores são associados à presença do cal hidratado na cova. Os radargramas adquiridos nos períodos de seca sobre as covas com cal hidratado, é notado a presença de reflexões de baixa a média amplitude, não sendo nítido a delimitação do topo e base do cal hidratado.

Os radargramas sobre a cova com a carcaça de suíno coberto por cal hidratado apresentam variações de reflexões de alta amplitude, durante os períodos de chuva entre os anos de 2015 e 2016. No radargrama adquirido no período de chuva de 2015, observa-se a relação de refletores hiperbólicos descontínuos de alta amplitude, localizados entre 0,50 m a 0,80 m de profundidade, a presença do topo do cal hidratado até o topo da carcaça de suíno (0,80 m), sendo após esta profundidade a presença da zona de atenuação, relacionada a carcaça de suíno em decomposição. No radargrama adquirido no período de chuva no ano de 2016, a alta resolução das reflexões não permite visualizar com clareza os refletores associados à presença da camada de cal hidratado.

Nos radargramas sobre a cova com a carcaça de suíno coberto com cal hidratado, adquiridos nos períodos de seca observa-se que no radargrama de 2015, é observada a presença de refletores horizontais e inclinados de alta amplitude, localizados entre 0,45 m a 0,58 m de profundidade, sendo após a profundidade de 0,58 m a presença de uma zona de atenuação do sinal que se propaga até o fim do radargrama. A reflexões de alta amplitude é relacionada à presença da camada de cal hidratado, e a zona de atenuação relacionadas a presença da carcaça de suíno em decomposição com a percolação dos fluídos de decomposição na base da cova.

No radargrama sobre a cova com o cal hidratado sobre a carcaça de suíno, adquirido no período de seca no ano de 2016, apresenta localizado entre 0,30 m a 0,50 m de profundidade, refletores horizontais e hiperbólicos de alta amplitude, sendo associado a

camada de cal hidratado sobre a carcaça de suíno. Localizado entre 0,50 m a 0,95 m de profundidade é observado a presença da atenuação do sinal GPR, sendo associada a presença da carcaça de suíno. O que é importante neste radargrama é a presença de um refletor pontual de alta amplitude, localizado abaixo da carcaça de suíno, localizado após 0,95 m de profundidade. Este refletor é, provavelmente, interpretado como sendo a presença da base da cova entre a zona de atenuação.

Os radargramas adquiridos com a antena de 250 MHz apresentaram bons resultados com melhor visualização dos refletores de alta amplitude, tanto nos períodos de chuva e seca. Os resultados com a antena de 400 MHz apresentaram refletores de baixa à média amplitude, tendo uma boa visualização dos refletores associados a camada de cal hidratado e ao cal hidratado com a carcaça de suíno, nos períodos de chuva. A antena de 700 MHz apresentou informações com melhores detalhes, devido à alta resolução da antena em realçar melhor as zonas de atenuação nas covas com a presença da carcaça de suíno.

O resultado do radargrama adquirido no período de seca no ano de 2016 sugere a presença do refletor pontual a 0,95 m de profundidade esta associado à visualização da base da cova. O que pode ser Considerado pelos resultados de Thew (2000) e Schotsmans et al. (2014) em experimentos com carcaças de suíno sepultado em cal, os processos de decomposição são retardados nos primeiros 6 meses, depois as carcaças começa a se liquefazer, abaixo da camada de cal, o que pode indicar uma diminuição da condutividade devido ao estágio próximo da esqueletização.

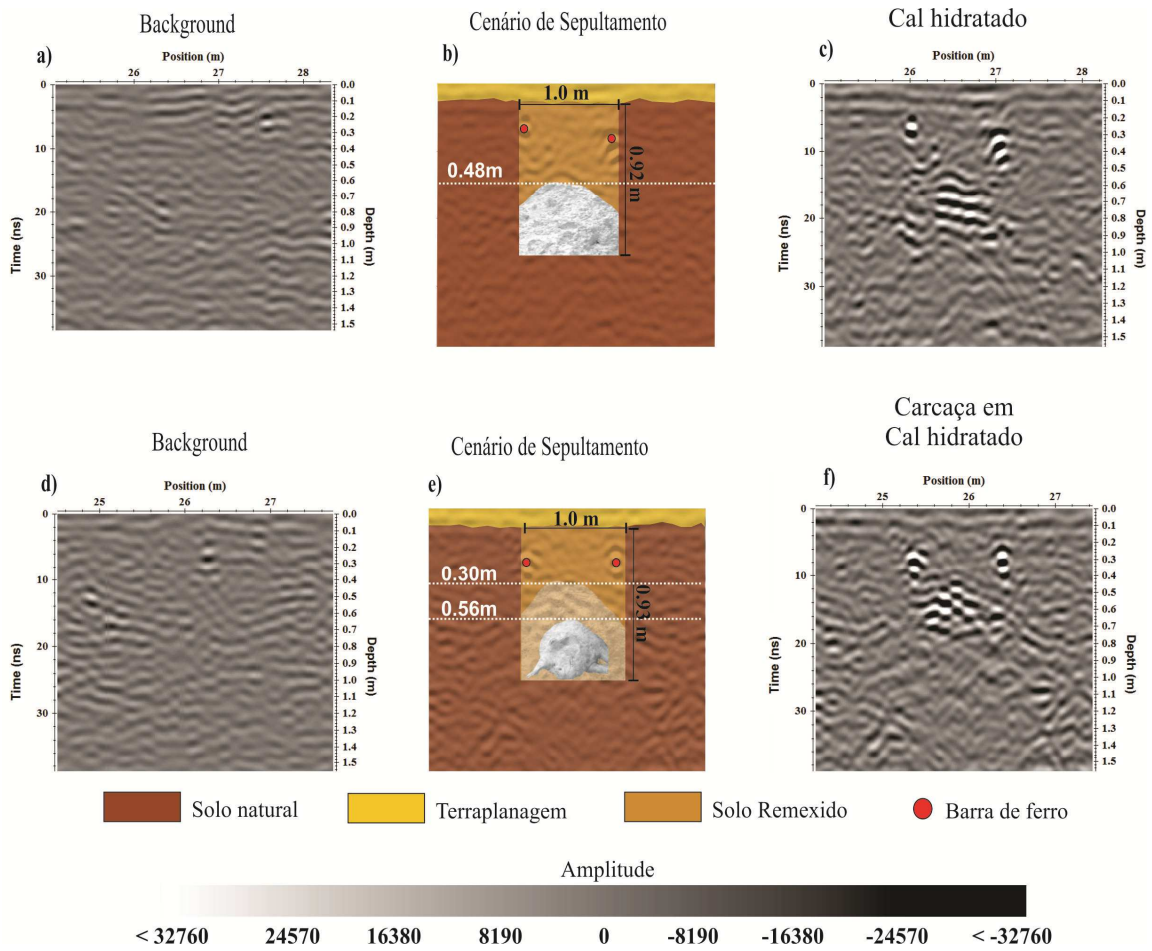


Figura 6.32 - Informação da cova com cal hidratado: a) radargrama do BG, b) cenário de enterro e c) radargrama após o enterro. Informação do enterro com carcaça de suíno em cal hidratado: d) radargrama do BG, e) cenário de enterro e f) radargrama após o enterro. Dados adquiridos com a antena de 400 MHz.

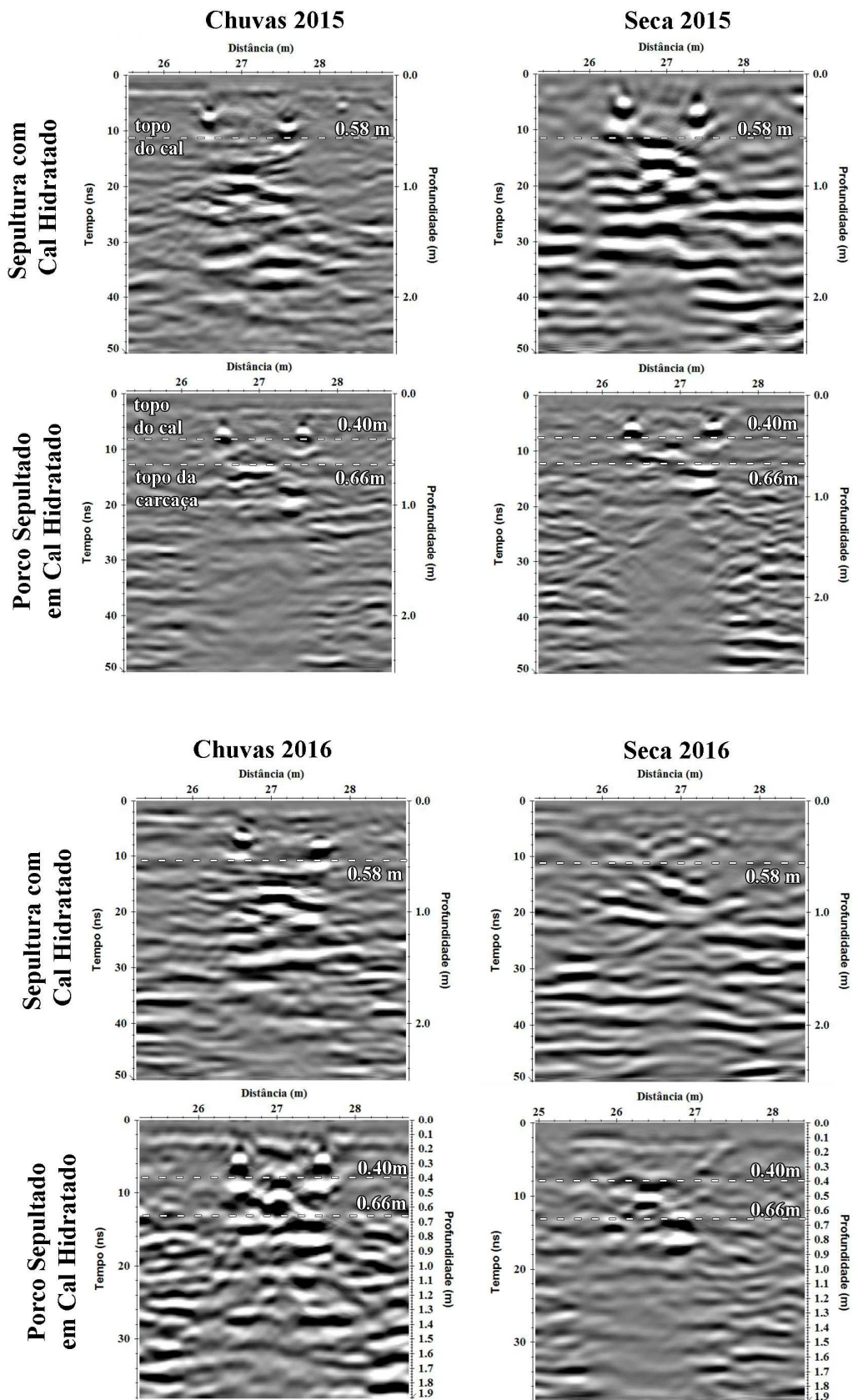


Figura 6.33 - Radargramas com frequência de 250 MHz, sobre as covas com cal hidratado com e sem a carcaça de suíno, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

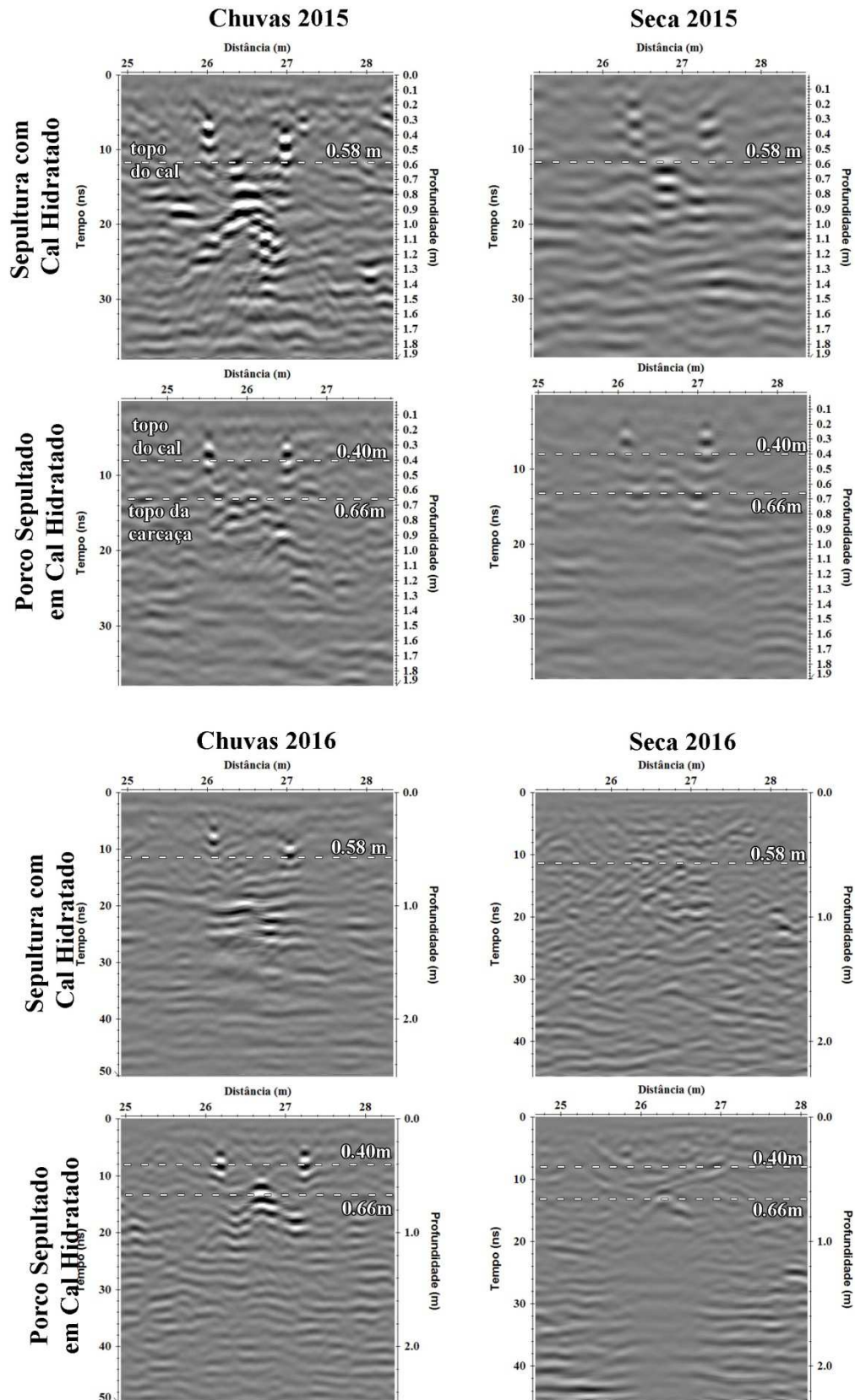


Figura 6.34 - Radargramas com frequência de 400 MHz, sobre as covas com cal hidratado com e sem a careca de suíno, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

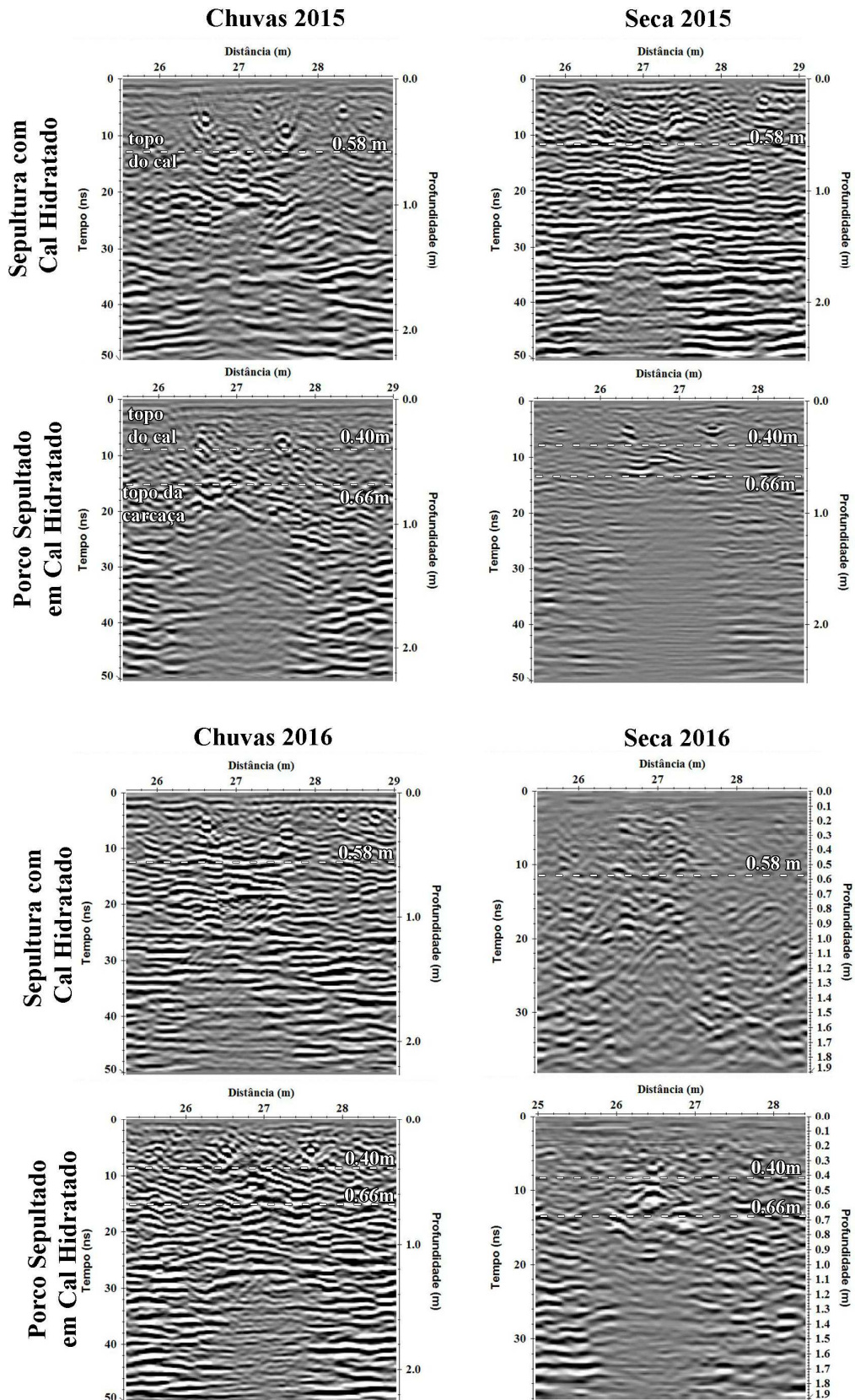


Figura 6.35 - Radargramas com frequência de 700 MHz, sobre as covas com cal hidratado com e sem a carcaça de suíno, nos períodos de seca e chuva, nos anos de 2015 e 2016.

6.2.1.8 Resumo

Os resultados observados nos radargramas para cada cenário de sepultamento foram resumidos em duas tabelas. A **Tabela 6.1** resume os resultados sobre as covas com envoltórios e solo remexido. A **Tabela 6.2**, os resultados sobre as covas com as carcaças de suíno em cada envoltório e com o cenário de sepultamento com a carcaça de suíno desnudo. Foram atribuídos valores qualitativos aos resultados do sinal GPR, sobre cada cenário de sepultamento, sendo: Bom (Alvo associado à um refletor e atenuação), Regular (Alvo associado a um refletor ou a atenuação) e Ruim (Alvo sem associação a um refletor ou zona de atenuação)

Tabela 6.1– Resultados dos radargramas 2D sobre as covas com envoltórios.

Frequência	250 MHz				400 MHz				700 MHz				Resposta do sinal GPR
	2015		2016		2015		2016		2015		2016		
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	
Solo remexido	Bom	Regular	Bom	Regular	Bom	Regular	Bom	Regular	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Reflexões
Lona Plástica	Bom	Bom	Bom	Ruim	Regular	Ruim	Regular	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Reflexões
Lençol	Bom	Bom	Bom	Regular	Regular	Ruim	Regular	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Reflexões
Bloco de Concreto	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Regular	Bom	Regular	Bom	Bom	Bom	Bom	Atenuação
Restos de Construção	Regular	Regular	Regular	Ruim	Regular	Ruim	Ruim	Ruim	Bom	Bom	Bom	Bom	Atenuação
Caixão de Madeira	Bom	Bom	Bom	Regular	Bom	Ruim	Bom	Regular	Regular	Ruim	Regular	Regular	Reflexões
Cal Hidratado	Bom	Bom	Bom	Regular	Bom	Regular	Regular	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Ruim	Reflexões

Tabela 6.2 – Resultados dos radargramas 2D sobre as covas com a carcaça de suíno com envoltórios.

Frequência	250 MHz				400 MHz				700 MHz				Resposta do sinal GPR
	2015		2016		2015		2016		2015		2016		
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	
Porco desnudo	Bom	Bom	Bom	Bom	Regular	Ruim	Regular	Regular	Bom	Regular	Bom	Bom	Reflexões + Atenuação
Lona Plástica + Carcaça	Bom	Bom	Bom	Bom	Ruim	Regular	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Ruim	Regular	Reflexões + Atenuação
Lençol + Carcaça	Bom	Bom	Bom	Bom	Regular	Ruim	Regular	Regular	Bom	Ruim	Regular	Regular	Reflexões + Atenuação
Bloco de Concreto + Carcaça	Bom	Regular	Bom	Regular	Bom	Ruim	Bom	Regular	Bom	Bom	Bom	Bom	Reflexões + Atenuação
Restos de Construção + Carcaça	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Ruim	Regular	Ruim	Regular	Regular	Regular	Regular	Atenuação
Caixão de Madeira + Carcaça	Bom	Bom	Bom	Regular	Bom	Regular	Bom	Regular	Regular	Bom	Regular	Bom	Reflexões + Atenuação
Cal Hidratado + Carcaça	Bom	Regular	Bom	Regular	Bom	Regular	Bom	Regular	Regular	Regular	Regular	Bom	Reflexões + Atenuação

Os resultados mostram que em relação à frequência utilizada, para uma investigação de sepultamentos, as antenas de 250 MHz e 700 MHz produziram bons resultados, tendo a média de classificação entre Bom e Regular.

No caso da frequência de 700 MHz, a alta resolução das reflexões permitiu identificar melhor a camada mais rasa das covas, mas dificultou a identificação das reflexões associadas aos alvos sepultados, tendo a ocorrência das zonas de atenuação do sinal GPR (provocados pela condutividade da carcaça e percolação de fluidos de decomposição) como guias na identificação de covas com a presença da carcaça de suíno.

Em casos de superfície muito condutivas, como na cova de concreto, a antena de 700 MHz apresentou o refletor associado a carcaça de suíno dentro do bloco de concreto em todos os períodos de seca ou chuva. Isso indica o uso de altas frequências em investigações com ocultação em concreto.

A limitação da antena de 700 MHz ficou evidente na cova com cenário de ocultação em saco plástico, onde a dificuldade de identificar a reflexão associada ao material da lona plástica e a falta das zonas de atenuação não permitiram associar a presença do alvo no radargrama.

A antena de 400 MHz apresentou resultados medianos tendo a classificação da resposta do sinal de GPR entre Regular e Ruim. A frequência de 400 MHz apresentou uma maior dependência dos períodos de chuva ou seca para identificar a melhor resposta do sinal sobre os alvos sepultados. Sendo os períodos de chuva a melhor época para identificar os contrastes de permissividade entre os materiais sepultados.

O cenário de ocultação sobre restos de construção não apresentou resultados positivos para nenhuma das antenas utilizadas sobre a cova. A presença de vários refletores e da zona de atenuação, abaixo das covas com ou sem a carcaça de suíno, produziram um cenário caótico com baixo contraste do alvo sepultado, o que não favoreceu a indicação do alvo. Em resumo, o alvo sepultado foi mascarado pelas diversas reflexões menores geradas pelos fragmentos contidos nos restos de construção.

O período de chuva influenciou positivamente os resultados de GPR, provocando melhores contrastes entre as reflexões e zonas de atenuação para todas as frequências utilizadas sobre os alvos sepultados. É provável que a umidade do solo provoque o aumento dos valores de permissividade dielétrica dos envoltórios em relação à permissividade dielétrica do solo. Um fator importante é que, conforme relatado por Carter et al. (2007), a umidade é um parâmetro importante na decomposição de corpos enterrados, aumentando a taxa de decomposição em períodos de alta precipitação.

6.2.1.9 Quase-3D e Slices dos Radargramas 2D

Para construção dos radargramas Quase-3D foram escolhidos os radargramas 2D adquiridos durante o período de chuva, devido estes apresentarem um bom contraste entre os alvos sepultados (reflexões e as atenuações do sinal GPR). A **Figura 6.36** apresenta os blocos Quase-3D para a aquisição com a antena de 250 MHz, sobre as covas com e sem a presença das carcaças de suínos. O bloco retangular é caracterizado com a presença das barras de ferro, e das reflexões de alta amplitude relacionadas aos alvos sepultados. Nas posições entre 13 m e 20 m, são observadas as covas com cenário de ocultação em concreto e resto de construção, com as suas respectivas zonas de atenuação do sinal GPR.

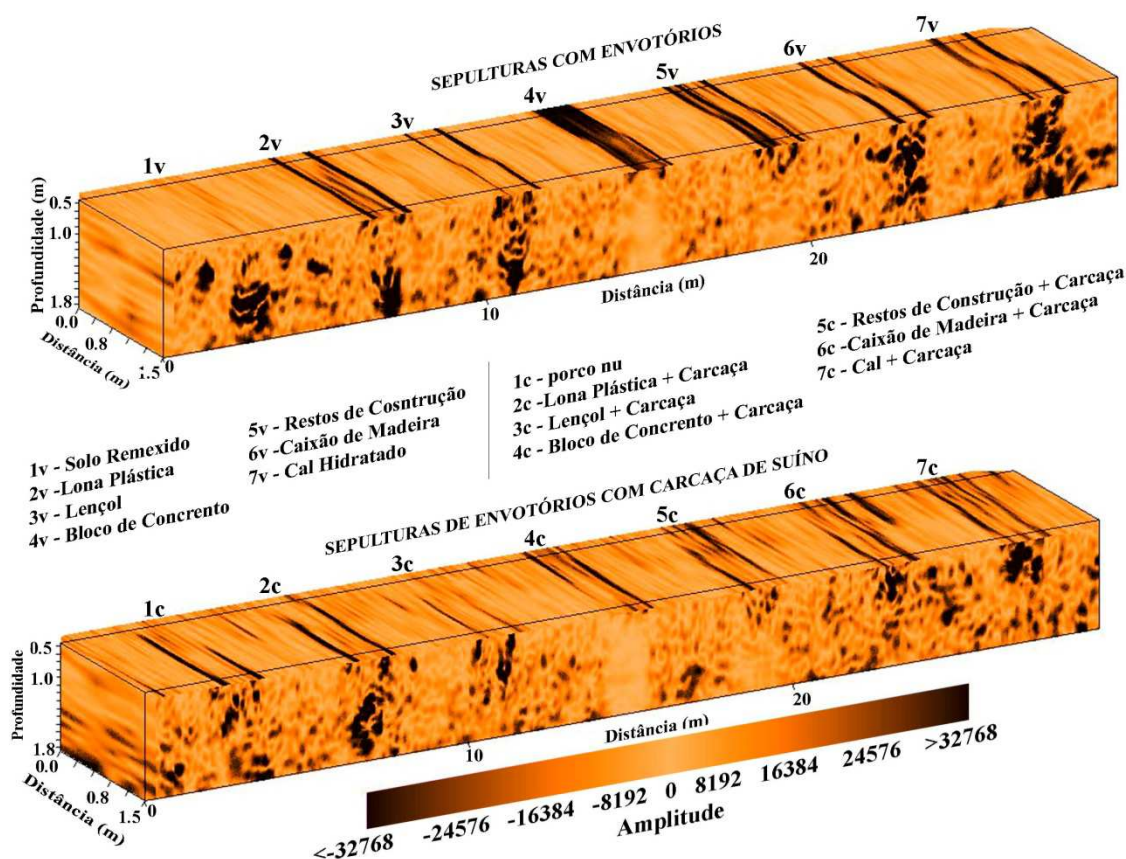


Figura 6.36 – Bloco quase-3D dos radargramas 2D, adquiridos com antena de 250 MHz, sobre as covas na área do SCGF-UnB.

No bloco Quase-3D com antena de 400 MHz (**Figura 6.37**), foi possível identificar um fraco sinal nas alterações dentro das covas, onde reflexões de média amplitude estão relacionadas aos cenários de sepultamento com os envoltórios, tendo as zonas de atenuação nas covas com cenário de concreto e restos de construção. Nas covas com a presença das carcaças, temos a presença da atenuação do sinal GPR abaixo de todas as covas. É notado que os alvos imageados pela antena de 400 MHz, são representados com menores dimensões de reflexão, em relação aos alvos apresentados no bloco de 250 MHz. Esta diferença nas dimensões se deve ao sinal da antena de 400 MHz apresentar uma melhor resolução sobre os alvos sepultados.

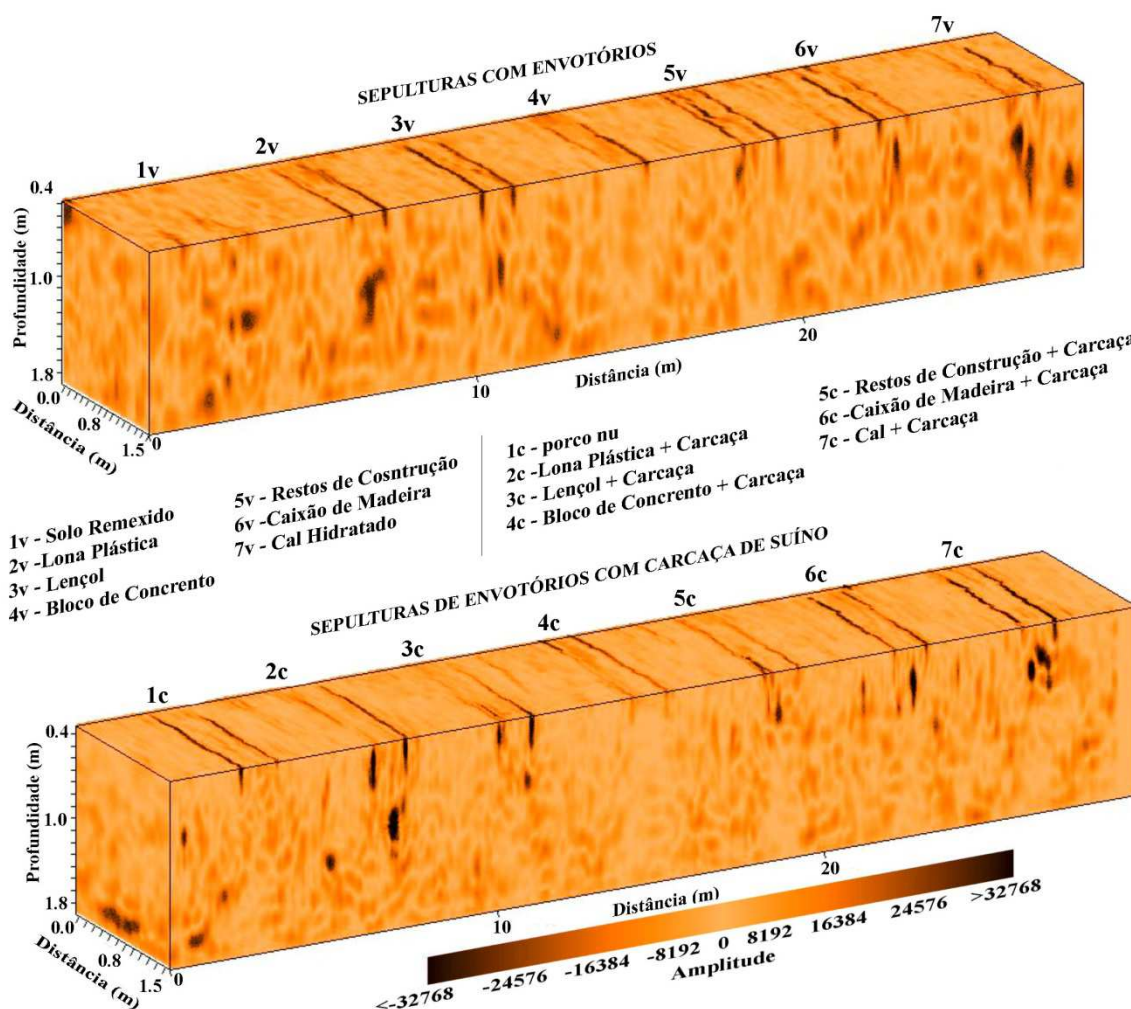


Figura 6.37 – Bloco quase-3D dos radargramas 2D, adquiridos com antena de 400 MHz, sobre as covas na área do SCGF-UnB.

Na frequência de 700 MHz, para o bloco Quase-3D (**Figura 6.38**), houve dificuldade de delimitar e identificar as covas, devido ao adensamento de reflexões, como pode ser visto sobre as covas com envoltório. Somente os cenários de sepultamento com bloco de concreto e restos de construção, apresentam zonas de atenuação abaixo das covas. Esta atenuação sem a presença das carcaças de suíno se deve às características químicas dos materiais empregados no concreto e nos restos de construção, apresentarem um comportamento condutivo.

No bloco com as carcaças de suíno é possível identificar a presença das zonas de atenuação abaixo de todas as covas, com exceção da cova com a carcaça de suíno enrolado na lona plástica (**Figura 6.38(2c)**) Esta ausência de atenuação do sinal GPR, se deve ao fato do material impermeável da lona plástica estar retendo o fluido de decomposição da carcaça.

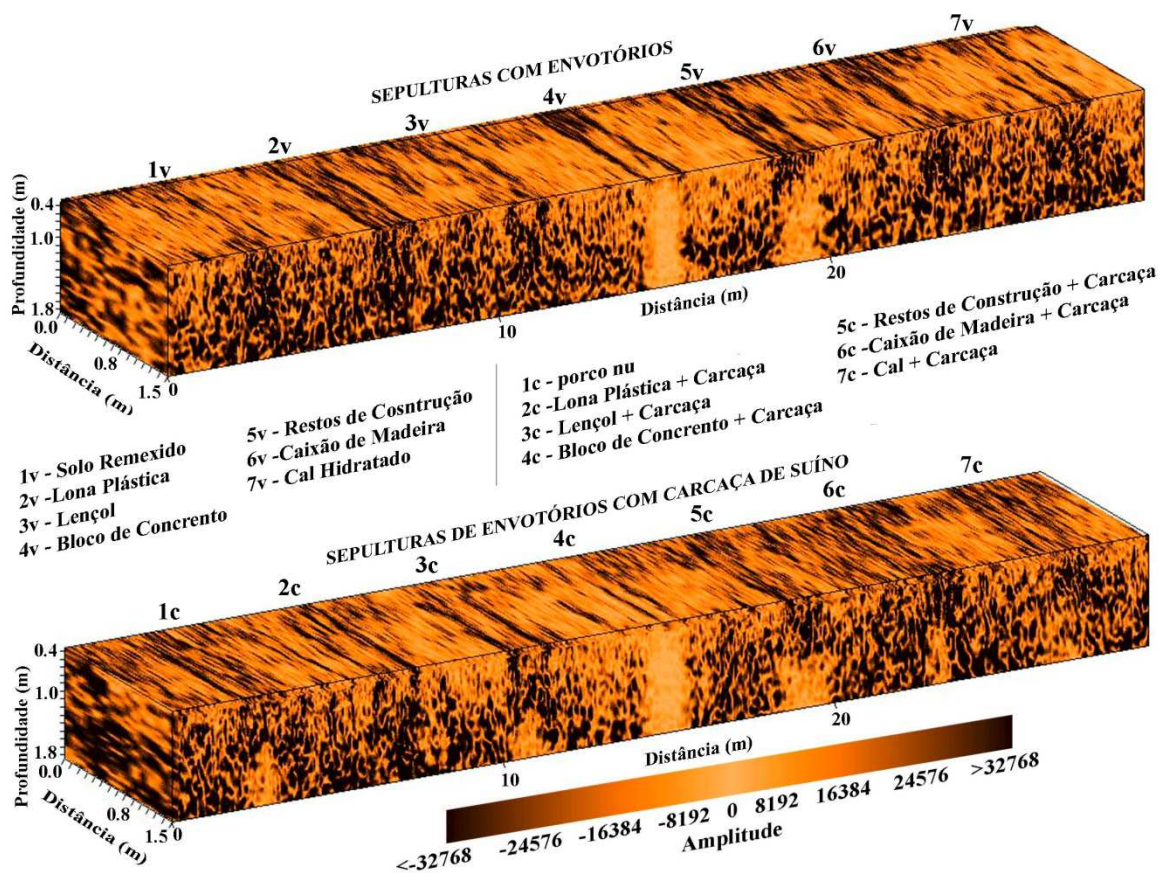


Figura 6.38 – Bloco quase-3D dos radargramas 2D, adquiridos com antena de 700 MHz, sobre as covas na área do SCGF-UnB.

Na **Figura 6.39** é apresentado o corte horizontal adquirido com a antena de 250 MHz sobre a área do SCGF-UnB, após o sepultamento dos alvos, em três fatias de profundidade (0,35 m; 0,72 m e 1,80 m). Na fatia horizontal a 0,35 m de profundidade é possível visualizar as barras de ferro utilizadas para delimitar as laterais das covas. Nas covas de porco nu, posicionado entre 2,0 m e 3,20 m, é visto um refletor entre as barras de ferro. Na cova com a carcaça em bloco de concreto, posicionado entre 15,0 m e 3,20 m, é visível um refletor, entre as barras de ferro. Estes refletores são associados aos espaços vazios, presente nesta profundidade, devido à redução do diâmetro da carcaça de suíno, pelos processos de decomposição.

Na profundidade de 0,72 m, foi possível visualizar as reflexões de alta amplitude, e as zonas de atenuação, que estão relacionadas aos cenários de ocultação. Observa-se nesta profundidade que existe uma reflexão de alta amplitude que se localiza fora dos limites das covas (Circulo vermelho) e que não condiz aos materiais sepultados.

No corte horizontal à profundidade de 1,80 m foi possível observar a localização das covas pela presença das zonas de atenuação do sinal GPR. Observa-se, na fileira de envoltórios sepultados, que somente as covas com concreto e restos de construção apresentam zonas de atenuação das covas com e sem as carcaças de suíno. Isto sugere que apenas nestes dois casos a causa da atenuação estaria relacionada aos envoltórios (ou a soma dos efeitos dos envoltórios e das carcaças), e que para os demais cenários esta seria causada pela presença da carcaça. Isso poderia ser explicado pela presença de fluídos de decomposição que, por serem altamente condutores, causam este efeito.

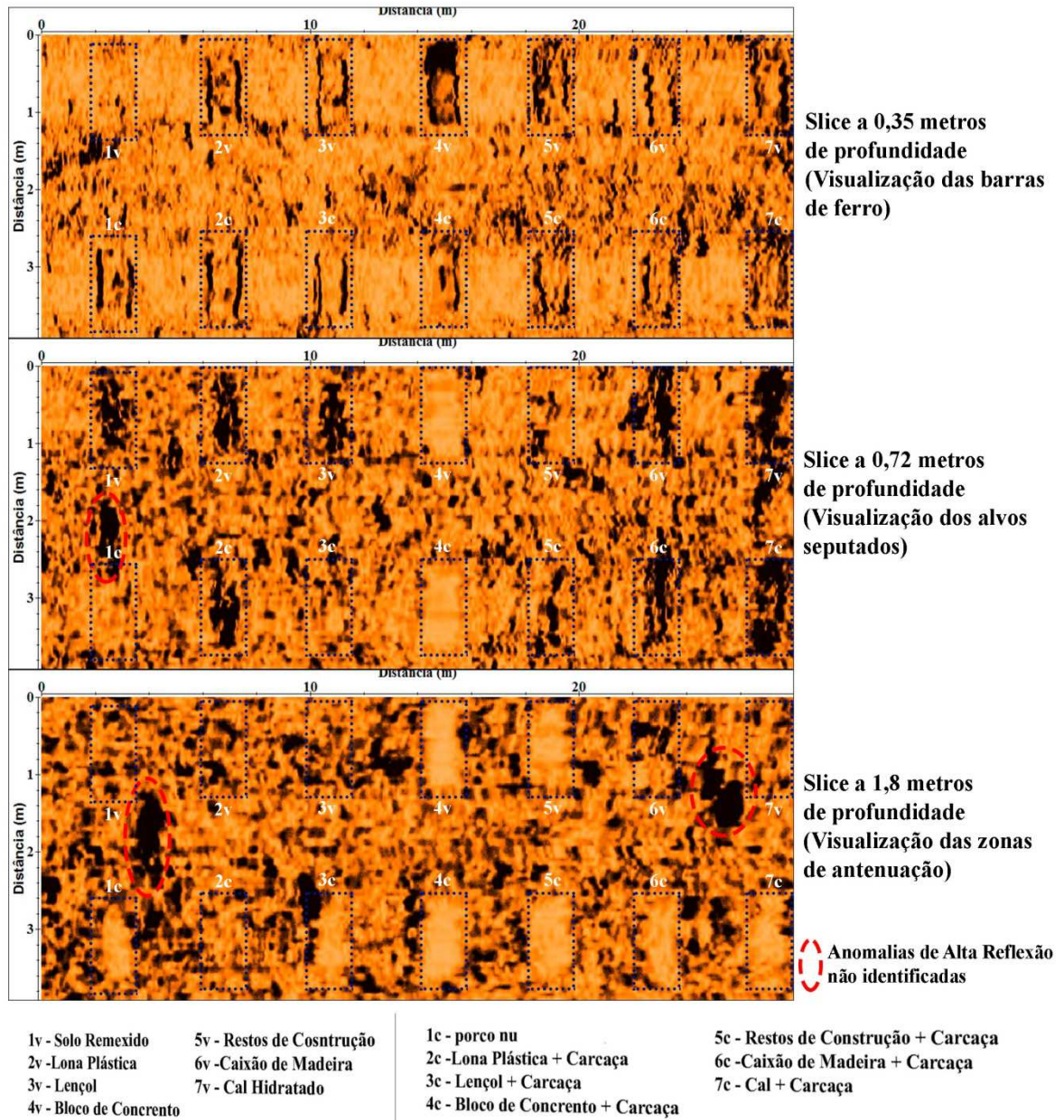


Figura 6.39 – Cortes horizontais do bloco quase-3D para as profundidades de 0,35 m (superior), 0,72 m (central) e 1,8 m (inferior) sobre a área do SCGF-UnB, gerado com radargramas da antena de 250 MHz.

6.2.2 Eletrorresistividade

Os resultados das seções de eletrorresistividade foram agrupados por tipo de arranjo, espaçamento entre os eletrodos e pela estação (chuva e/ou seca) nos anos de 2015 e 2016.

6.2.2.1 Seção com espaçamento 1,00 m, período de seca.

As primeiras seções de eletrorresistividade adquiridas após o sepultamento dos alvos foram realizadas no período de seca, nos dias 1 e 2 do mês de outubro de 2015 (**Figura 6.40**), foram empregados os arranjos Wenner-Schlumberger (WS) e Dipolo-dipolo (DD), com o espaçamento entre os eletrodos de 1,0 m.

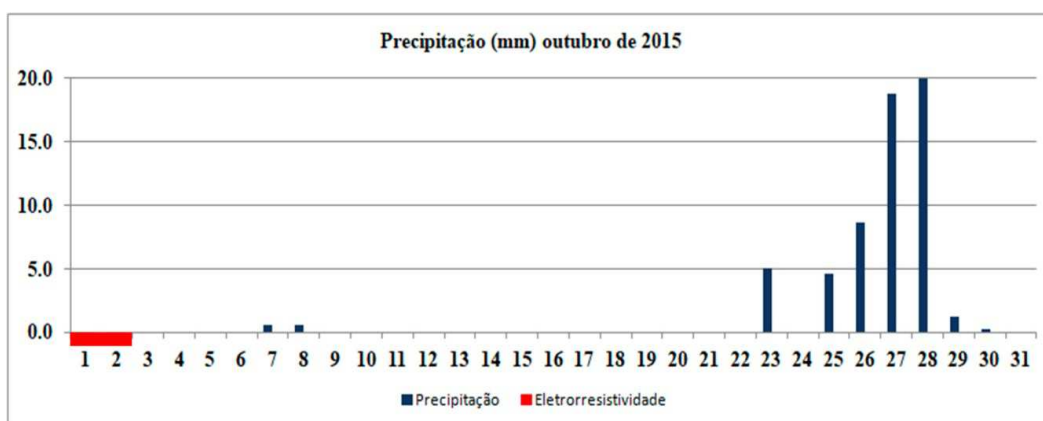


Figura 6.40 – Gráfico de precipitação do mês de outubro de 2015 ocorrido na área da FAL-UnB, em vermelho os dias de aquisição das seções de eletrorresistividade após o sepultamento dos alvos na área do SCGF-UnB.

Os resultados de eletrorresistividade com arranjo DD (**Figura 6.41**) apresentam uma seção com o comprimento total de 48 m, e 2,97 m de profundidade. As seções de eletrorresistividade sobre as covas apresentaram o primeiro horizonte de resistividades com os valores de resistividade entre 140 a 1915 Ohm.m, relacionados a presença das covas e seus envoltórios, até a profundidade de 0,90 m. Após 0,90 m é visto um segundo horizonte de resistividade com o valor > 5453 Ohm.m, este horizonte é associado ao solo com maior concentração da fração argila, conforme foi relatada por Morais, (2009), e pelos os resultados das análises do solo. Um terceiro horizonte é visto na profundidade de 2,30 m,

com valores de resistividade entre 236 a 3232 Ohm.m, que pode estar possivelmente relacionado a presença do nível freático na área do SCGF-UnB.

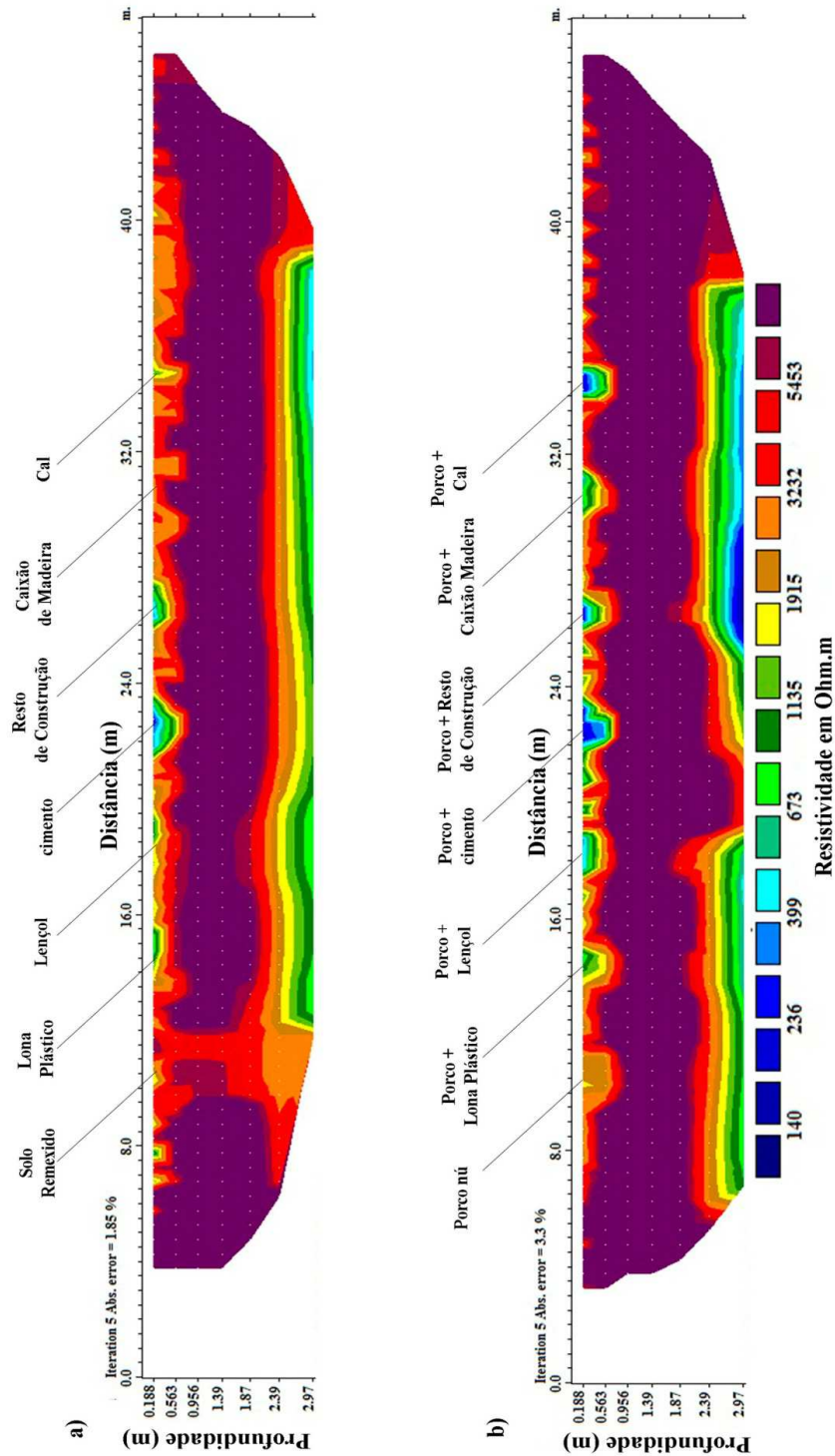


Figura 6.41 – Seções de resistividade obtidas por meio de inversão de dados obtidos com arranjo DD , no período de seca de 2015 para : a) covas com apenas os envoltórios e b) covas com carcaças de suíno nos envoltórios.

As seções de eletrorresistividade adquiridas com o arranjo WS (**Figura 6.42**) apresentam o comprimento total de 48 m e profundidade máxima de investigação de 4,30 m.

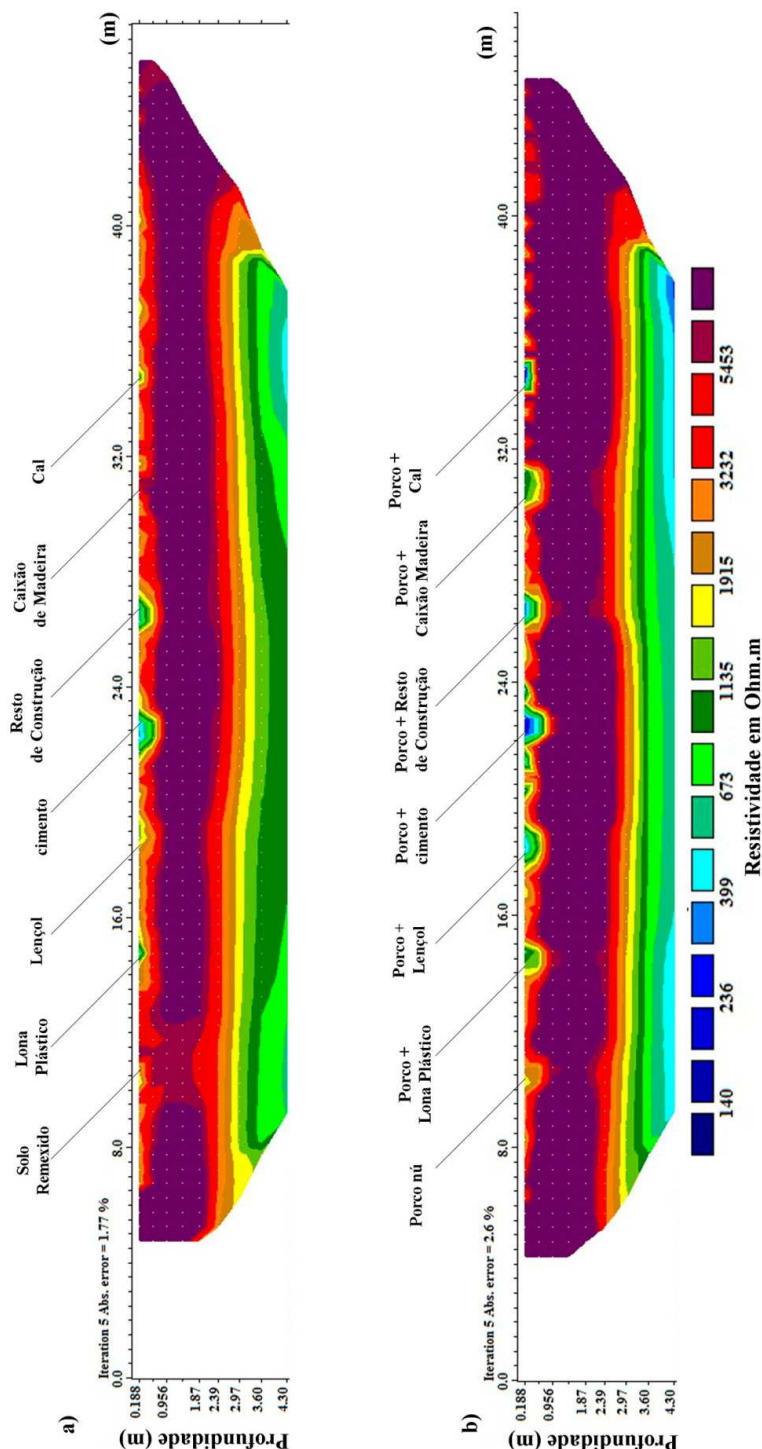


Figura 6.42 – Seções de eletrorresistividade adquiridas pelo arranjo WS, no período de seca de 2015 e com espaçamento de 1,0 m entre os eletrodos. a) Seção de eletrorresistividade sobre as covas com apenas os envoltórios. b) Seção de eletrorresistividade sobre as covas com carcaças de suíno nos envoltórios.

No cenário de sepultamento com solo remexido, os valores de resistividade são os mesmos, pela comparação entre os arranjos DD e WS. No arranjo WS os limites laterais da cova com solo remexido são mais bem delimitados em relação ao arranjo DD, porém os valores de resistividade são idênticos quando comparado com a seção de BG. O que torna imprecisa sua identificação.

No cenário com a carcaça desnuda verifica-se melhor a relação entre as delimitações da cova entre os dois arranjos. A melhor resolução vertical (limites laterais) e resolução horizontal (base) ficaram bem visíveis no arranjo WS. Apesar dos valores serem parecidos com a seção de BG, os limites geoeletricos permitem identificar a presença da cova.

Estas características de resolução foram vistas nas demais covas e todas elas apresentaram uma melhor delimitação no arranjo WS. Esta boa resolução lateral do arranjo WS é discutida por Loke (2004), que qualifica as resoluções de estruturas verticais e horizontais ótimas para os arranjos WS. O Arranjo DD é qualificado como bom na resolução de estruturas horizontais, mas ruim para a resolução de estruturas laterais. Apesar da baixa resolução no arranjo DD, o mesmo permitiu identificar bem os limites das covas, o que se deve a sua boa sensibilidade aos efeitos laterais e às heterogeneidades superficiais.

6.2.2.2 Seção com espaçamento 0,50 m, período de seca.

Os estudos em investigações forenses são realizados em ambientes rasos entre 0,50 a 2,0 m de profundidade, o que indica a necessidade de informações mais detalhadas, próximas a superfície do local de ocultação. O uso do método da eletrorresistividade com menor espaçamento entre os eletrodos permite obter maior detalhe da resistividade aparente próxima à superfície, porém com perda da investigação em profundidade. Sabendo dessa necessidade foram realizadas aquisições com o espaçamento reduzido, durante o mesmo período de seca (outubro de 2015). As seções de eletrorresistividade com espaçamento dos eletrodos em 0,50 m são apresentadas na **Figura 6.43** (arranjo DD) e **Figura 6.44** (arranjo WS).

A seção com arranjo DD e espaçamento em 0,50 m (Figura 6.43), é caracterizada com uma profundidade de investigação até 1,48 m, e uma melhora na leitura dos valores de resistividade das covas. Na observação entre as covas de solo remexido e carcaça de suíno

desnudo, percebe-se que ambas tiveram uma identificação dos limites da cova imprecisa. Este resultado se deve a perda de informação lateral da seção, pela configuração do arranjo (DD), ocorrido pelo erro de posicionamento do arranjo sobre a área do SCGF-UnB.

No cenário de sepultamento com solo remexido os valores de resistividade ficaram entre de 1.915 a 3.232 Ohm.m; estes valores também são identificados na cova com porco nu. A comparação entre os resultados para os dois cenários mostra que a presença de solo remexido é identificada com valores próximos a 1.915 Ohm.m. No entanto, este é o valor de resistividade observado em toda a superfície (0,0 m a 0,50 m de profundidade) da seção de resistividade, o que não assegura uma correta identificação da cova. A cova com porco nu apresenta valores de resistividade menores do que as do solo revirado (1135 Ohm.m). Como este padrão de resistividade também é observado em toda a superfície da seção de eletrorresistividade superficial, também não se asseguraria sua correta identificação.

É possível verificar que, nos arranjos DD e WS, a identificação de solos revirados é imprecisa com espaçamento entre os eletrodos entre 1,0 m e 0,50 m. A cova com a carcaça de suíno nu destacou-se em ambos os arranjos. Essa identificação foi possível pela delimitação da cova (ver **Figuras 6.41 e 6.42**), podendo-se concluir que a identificação da presença de uma cova com um corpo nu, nos períodos de seca, pode ser feita pela observação dos limites geoeletricos das anomalias, nas seções de eletrorresistividade.

Nos cenários em lona plástica, com ou sem a carcaça, exibiram-se as seguintes características resistivas: a cova com lona plástica apresenta limites geoeletricos bem definidos dos limites da cova (visto nos arranjos DD e WS), com valores de resistividade entre 1135 a 1915 Ohm.m. A cova com a carcaça enrolada na lona plástica, apresenta limites geoeletricos diferentes entre os arranjos DD e WS. No arranjo DD os limites geoeletricos são representados por uma forma retangular verticalizada, com valores de resistividade entre 399 a 1915 Ohm.m. No arranjo WS os limites geoeletricos da anomalia, associada a carcaça de suíno enrolada em lona plástica, é representada por uma forma circular, tendo os valores de resistividade entre 673 a 1915 Ohm.m. A variação dos limites geoeletricos da cova com a carcaça envolvida em lona plástica, se deve às sensibilidades verticais e horizontais de cada arranjo. O fato dos valores de resistividade também serem diferentes se deve ao fato da sensibilidade à heterogeneidades do arranjo DD, que atribui valores menos resistivos (399 Ohm.m), durante o processo de inversão.

No cenário de sepultamento em lençol, com ou sem a carcaça de suíno, ocorre a mesma característica resistiva, relacionada aos limites geoeletricos descrita acima. Tendo o arranjo DD a conservação dos limites da cova, e o arranjo WS a delimitação do material sepultado. Os valores de resistividade são menores no arranjo DD (399 a 1915 Ohm.m), em relação ao arranjo WS (539 a 1915 Ohm.m). O que se pode concluir é que os menores valores de resistividade se devem ao lençol, que não é impermeável, tendo a carcaça de suíno (condutivo) apresentado baixos valores de resistividade. Uma questão importante a ser considerada é que a anomalia do porco nu não apresentou valores de baixa resistividade como no cenário com lençol. O que se poderia inferir é que o lençol, na época de seca, mantém a umidade da carcaça, influenciando no fundo da cova.

Nos cenários com bloco de concreto e carcaça em bloco de concreto, é visto uma forte diferença dos valores de resistividade entre ambos os casos. Na cova com bloco de concreto, o arranjo WS apresenta uma boa delimitação da geometria da anomalia. Os valores de resistividade foram entre 673 a 1135 Ohm.m, em ambos os arranjos (DD e WS), sendo no arranjo DD o valor predominante de resistividade de 1135 Ohm.m, mais resistivo que no arranjo WS cujo o valor predominante de resistividade é de 973 Ohm.m. Na cova com a carcaça em bloco de concreto, observa-se entre ambos os arranjos, baixos valores de resistividade (< 140 a 1135 Ohm.m). Esta redução da resistividade está associada a presença da carcaça dentro do bloco de concreto, sendo que no período de seca, os valores de baixa resistividade estão associados a presença da carcaça e dos fluídos de decomposição que migram para o fundo da cova. Este resultado revela que o uso do método da eletrorresistividade permite identificar a presença de corpos em ambientes condutivos (bloco de concreto).

No cenário dos restos de construção, com e sem carcaça, as mesmas características de resistividade foram observadas. Em ambos os arranjos os limites geoeletricos se apresentaram com maior variação de resistividade (140 a 3232 Ohm.m). Na cova com apenas restos de construção, o arranjo DD apresentou um valor predominante de resistividade de 140 Ohm.m, enquanto que no arranjo o WS o valor predominante de resistividade foi de 399 Ohm.m. Conforme foi observado anteriormente, a variação do valor predominante de resistividade está relacionada com a sensibilidade à heterogeneidade superficial do arranjo DD, que atribuiu um valor muito baixo de resistividade na cova com restos de construção. Na cova com a carcaça em restos de construção, o arranjo DD não apresentou diferenças entre as covas, sendo impossível distinguir uma relação para a presença da carcaça. O arranjo WS apresentou uma diferença na cova com a carcaça de

porco, tendo a mudança no valor predominante de resistividade, para um valor mais baixo de resistividade, que passou a ser de 140 Ohm.m. Neste caso o uso do arranjo WS seria o mais indicado para uma investigação de ocultação em restos de construção (aterros). Porém a semelhança no contraste de resistividade é muito pequena, o que não asseguraria resultados confiáveis na identificação de corpos sepultados em restos de construção.

No cenário de sepultamento em caixão de madeira com e sem os arranjos DD e WS apresentaram baixa definição nos limites laterais do cenário com o caixão vazio. Os valores de resistividade para este cenário apresentam os mesmos valores, de 399 a 1135 Ohm.m, entre os arranjos. Na cova com a presença da carcaça de suíno no caixão, o arranjo DD apresentou uma melhor delimitação geométrica da cova, com valores de resistividade variando entre 239 a 673 Ohm.m, O que se observa de importante neste arranjo é a presença de uma anomalia de 239 Ohm.m, localizada no fundo dos limites geométricos da cova. O que poderia sugerir ser a identificação dos limites entre o caixão e a carcaça. No arranjo WS a cova com caixão e carcaça, os limites geométricos ficaram bem definidos, com valores de resistividade entre 140 a 673 Ohm.m, tendo o valor predominante de resistividade de 239 Ohm.m. Os resultados sugerem que os dois arranjos podem ser utilizados na investigação de corpos sepultados em caixão de madeira, como por exemplo para localização de cemitérios antigos. Conforme os resultados de Ellwood (1990), que utilizou a eletroresistividade para mapear um cemitério antigo, foi possível identificar a presença de 8 anomalias que resultaram na localização de 5 corpos perdidos.

Nos cenários de cal hidratado com e sem carcaça de suíno, os arranjos DD e WS apresentam os mesmos valores de resistividade (1135 a 1915 Ohm.m). O arranjo WS apresenta a delimitação geométrica da cova com melhor resolução lateral na cova apenas com cal, enquanto que na cova com presença da carcaça de suíno o arranjo DD apresenta uma melhor delimitação dos contornos geométricos. Os valores de resistividade variam entre 140 a 399 Ohm.m, sendo o valor de resistividade predominante de 239 Ohm.m. O arranjo WS apresenta uma fraca delimitação dos contornos geométricos da cova com a carcaça coberta com cal hidratado. Os valores de resistividade são os mesmos do arranjo DD, mas o valor predominante de resistividade é de 399 Ohm.m. Os resultados mostram que a presença da carcaça de suíno permitiu realçar melhor os limites da cova com valores de baixa resistividade, o que permite a identificação de sepultamentos com corpo coberto em cal hidratado.

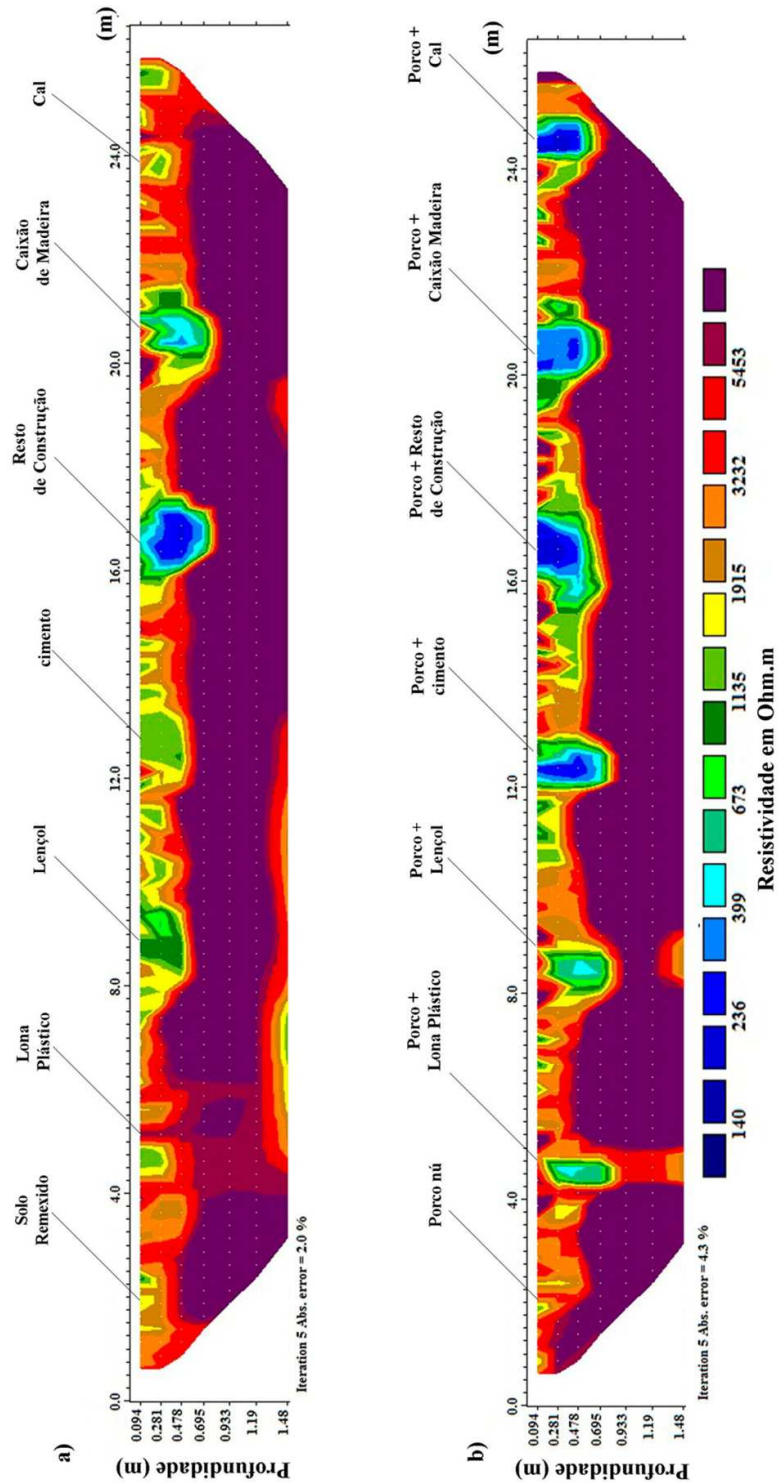


Figura 6.43 – Seções de eletroresistividade adquiridas pelo arranjo DD, no período de seca de 2015 e com espaçamento de 0,50 m entre os eletrodos. a) Seção de eletroresistividade sobre as covas com apenas os envoltórios. b) Seção de eletroresistividade sobre as covas com carcaças de suíno nos envoltórios.

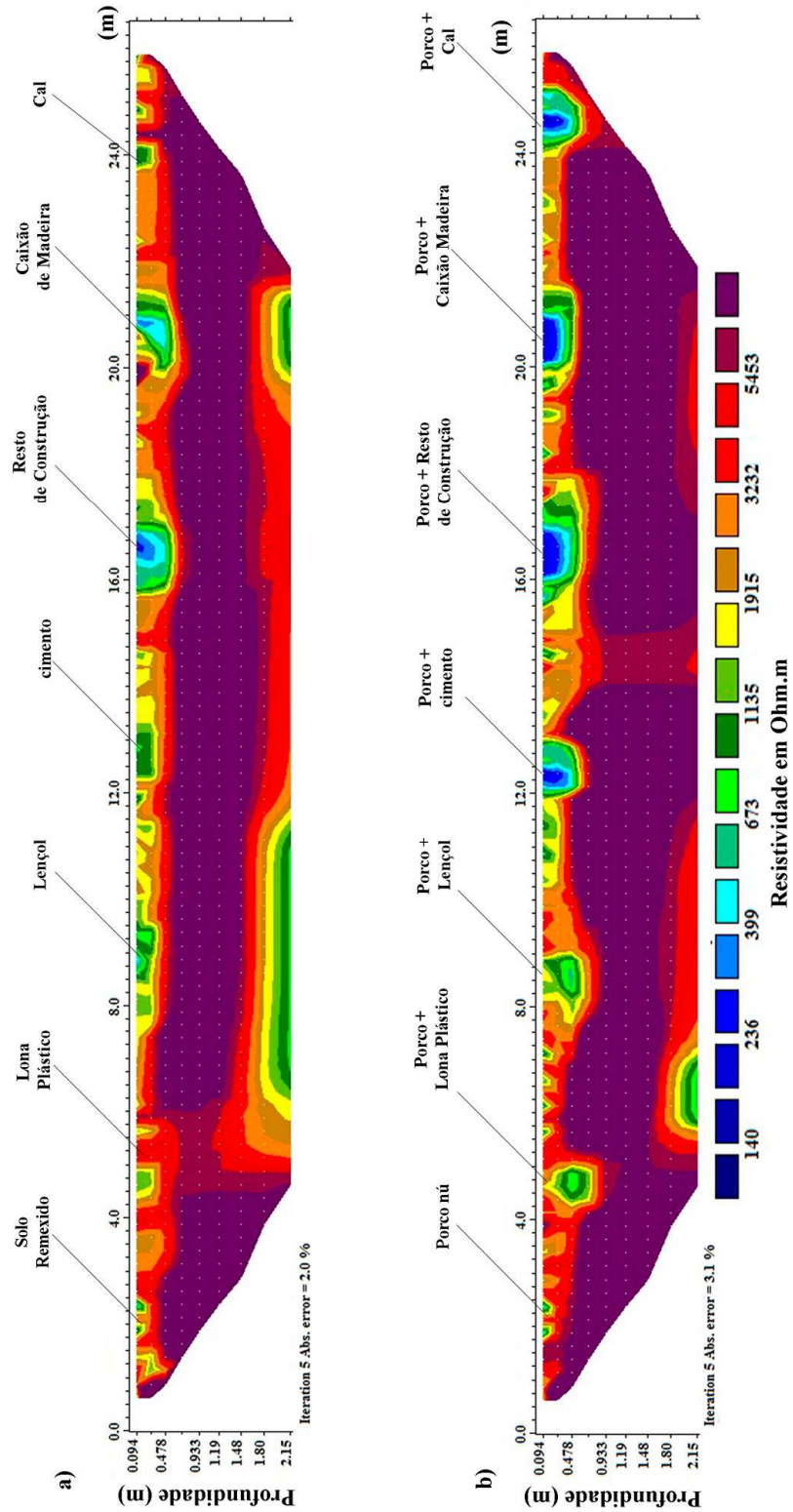


Figura 6.44 – Seções de eletroresistividade adquiridas pelo arranjo WS, no período de seca de 2015 e com espaçamento de 0,50 m entre os eletrodos. a) Seção de eletroresistividade sobre as covas com apenas envoltórios. b) Seção de eletroresistividade sobre as covas com carcaças de suíno nos envoltórios.

Os resultados com espaçamento de 0,50 m permitiram analisar melhor as variações de resistividade, entre os cenários de sepultamento. As comparações entre os arranjos mostraram que o arranjo WS apresentou melhores resultados, porém a perda de informações laterais da seção prejudicou as análises dos cenários de solo remexido e carcaça de porco nu. Foi observada uma correlação entre os resultados com espaçamento de 1,0 m e 0,50 m, para os cenários de sepultamento. O arranjo DD mostrou resultados satisfatórios para as análises de resistividade entre as covas com envoltórios e com as carcaças de suíno. Um fator a ser considerado é a perda de informações laterais, onde os resultados com o arranjo DD tiveram menor perda quando comparado aos do arranjo WS.

Em áreas de ocultação, muitas vezes pode ocorrer à presença de obstáculos naturais ou antrópicos que podem reduzir o espaço para a aquisição. Diante dos resultados obtidos com o espaçamento entre eletrodos de 0,50 m, foram adquiridas também seções de eletrorresistividade com o espaçamento de 0,25 m. Devido à perda lateral nas seções de eletrorresistividade para o arranjo WS, foi utilizado o arranjo DD, o qual mostrou resultados satisfatórios de contraste de resistividade entre as covas. As seções de eletrorresistividade foram adquiridas durante os períodos de chuva, em abril de 2016 (**Figura 6.45**), e no período de seca, em setembro de 2016 (**Figura 6.46**).

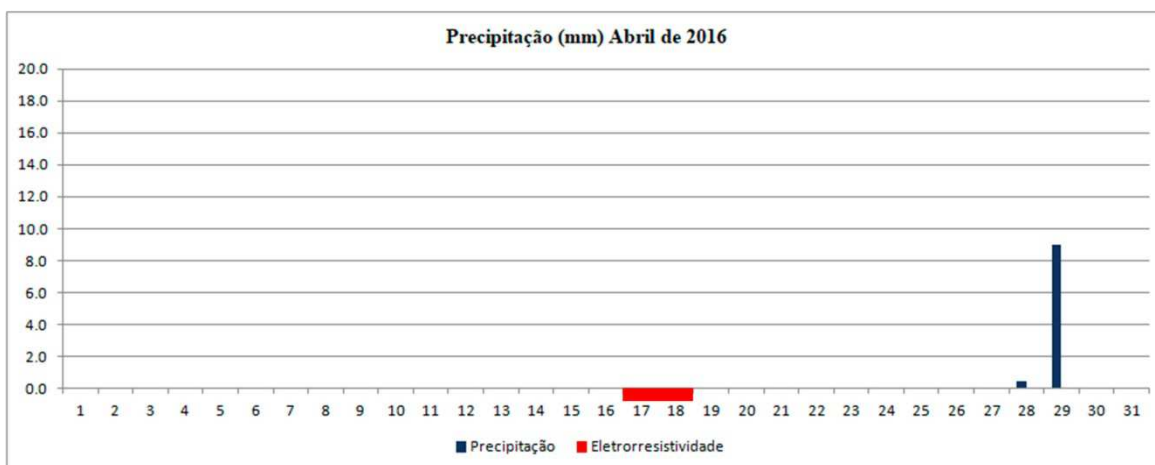


Figura 6.45 – Gráficos de precipitação do mês de chuva (abril de 2016), ocorridos na área da FAL-UnB, em vermelho os dias de aquisição das seções de eletrorresistividade após o sepultamento dos alvos na área do SCGF-UnB.

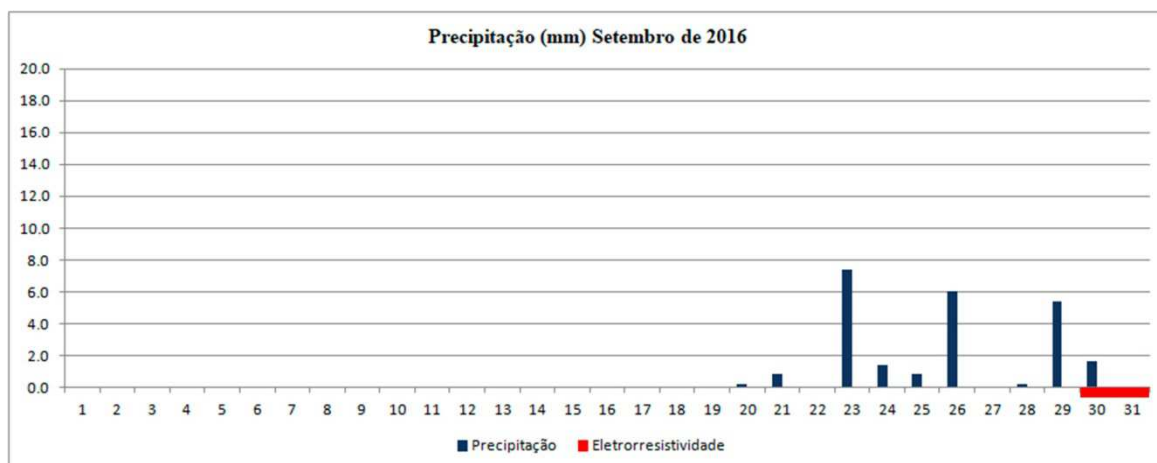


Figura 6.46 – Gráficos de precipitação do mês de seca (setembro de 2016), ocorridos na área da FAL-UnB, em vermelho os dias de aquisição das seções de eletrorresistividade após o sepultamento dos alvos na área do SCGF-UnB.

6.2.2.3 Seção com espaçamento 0,25 m, período de chuva.

Nos resultados obtidos com espaçamento entre os eletrodos em 0,25 m, durante o período de chuva no ano de 2016 (**Figura 6.47**), foram observados os mesmos padrões de resistividade entre as covas com e sem a carcaça, dificultando a distinção para alguns cenários de ocultação. As observações da Figura 6.47 são descritas abaixo:

No cenário com solo remexido observou-se uma anomalia geométrica com resistividade de 1135 Ohm.m. Esta anomalia geométrica estaria associada ao solo remexido devido este ser menor do que aqueles encontrados nos dados coletados no período de seca (1915 a 3232 Ohm.m). Esta diferença se deve a umidade no solo, que reduz os valores de resistividade, pela percolação da água no solo.

No cenário com porco sepultado nu, foi possível identificar uma anomalia geométrica com baixo valor de resistividade (140 Ohm.m), estando relacionado à carcaça em decomposição. Esta constatação é feita comparando os cenários: com apenas o solo remexido e com carcaça sem envoltório. Pode-se perceber que o baixo valor de resistividade (140 Ohm.m) é devido a presença da carcaça de suíno em decomposição, que por oferecer um comportamento condutivo, influencia nos valores de resistividade medidos.

No cenário com lona plástica, a seção de eletrorresistividade apresenta uma anomalia geométrica no topo da cova com valor de baixa resistividade (399 Ohm.m), e outra na base da cova com um valor de resistividade de 1525 Ohm.m. Este aumento de

resistividade na base da cova se deve à presença da lona plástica depositada no fundo da cova. Por ser um material impermeável, a lona plástica deve estar acumulando água e umidade, contribuindo para que a base da cova apresente valores de baixa resistividade. Na cova com a carcaça enrolada em lona plástica, observa-se a presença de uma anomalia geométrica, de forma circular, com valores de baixa resistividade entre 140 a 399 Ohm.m. O comportamento condutivo da lona plástica envolvendo a carcaça se deve ao acúmulo de água e umidade sobre a estrutura da lona plástica e em sua adjacência, atribuindo a forma circular.

No cenário com lençol e carcaça de suíno envolto em lençol, observa-se que a cova somente com o lençol apresenta uma anomalia geométrica com valores de resistividade entre 236 a 673 Ohm.m, estando relacionado ao solo remexido úmido. Sua representação com baixos valores de resistividade se deve ao material do lençol estar posicionado na base da cova e acumulando a umidade dos períodos de chuva. Na cova com a carcaça de suíno envolto em lençol é observada uma anomalia geométrica de baixa resistividade com valor predominante de 140 Ohm.m. Este valor muito baixo de resistividade se deve a presença da carcaça de suíno em decomposição, com o fluido da decomposição tendo influência com a umidade do solo da cova.

Nos cenários com bloco de concreto, restos de construção e caixão de madeira, com e sem a presença da carcaça de suíno, apresentaram o mesmo comportamento geométrico, onde baixos valores de resistividade (140 Ohm.m) foram predominantes. Estes valores são relacionados a presença dos envoltórios, o que sugere que em períodos de precipitação, não se pode distinguir a presença ou não de um corpo.

No cenário com cal hidratado e carcaça de suíno coberto por cal hidratado, a diferença entre uma cova com cal hidratado ou com a presença da carcaça, se resume nos valores de resistividades presente em cada cova. Valores muito baixos de resistividade (inferiores a 140 Ohm.m), estão relacionados a presença da carcaça de suíno. Conforme já comentado anteriormente, os valores de baixa resistividade são ocasionados pela estrutura da carcaça e pelos fluidos de decomposição, que são de característica condutiva.

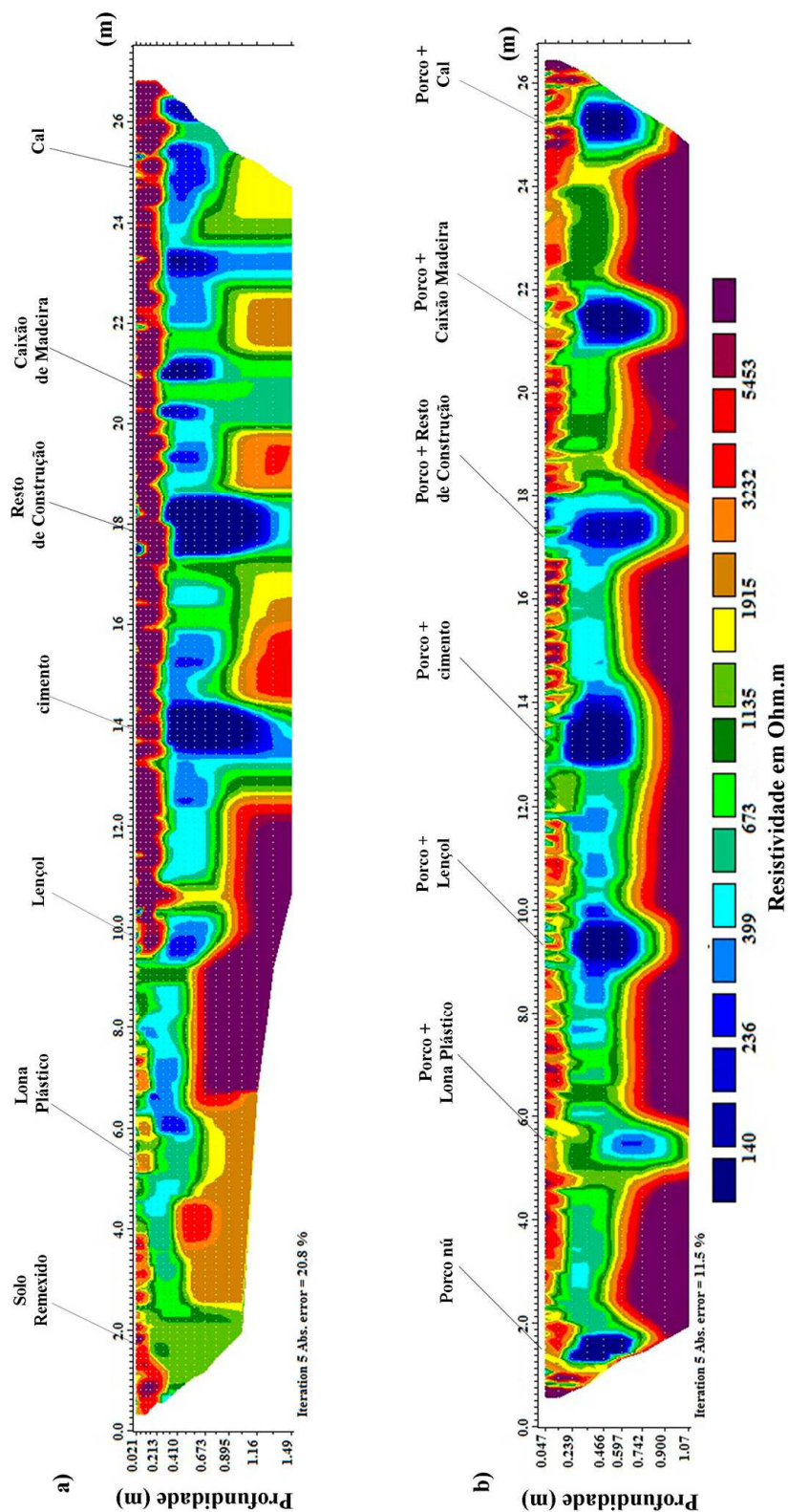


Figura 9.47 – Seções de eletrorresistividade adquiridas pelo arranjo DD, no período de chuva de 2016 e com espaçamento de 0,25 m entre os eletrodos. a) Seção de eletrorresistividade sobre as covas com apenas os envoltórios. b) Seção de eletrorresistividade sobre as covas com carcaças de suíno nos envoltórios.

6.2.2.4 Seção com espaçamento 0,25 m, período de seca.

A seção de eletrorresistividade adquirida no período de seca no ano de 2016, com espaçamento entre os eletrodos de 0,25 m (**Figura 6.48**), exibem bons contrastes de resistividade, que permitiram uma melhor identificação entre as covas com e sem a carcaça de suíno. Os resultados em cada cenário de sepultamento, na Figura 6.48, são comentados a seguir.

No cenário com solo remexido e carcaça de suíno nu, ocorreu um mau posicionamento dos eletrodos, que afetou a leitura sobre as covas permitindo recuperar pouca informação das anomalias geoeletricas. Devido à falta de informação consistente para analisar os resultados com o espaçamento de 0,25 m não serão discutidos estes cenários.

No cenário com lona plástica e carcaça envolta em lona plástica, a presença de contraste entre os dois cenários de sepultamento, permite distinguir a cova somente com lona plástica com valores de resistividade entre 673 a 1915 Ohm.m, e com os limites geoeletricos definidos. A presença de valores mais altos de resistividade se deve a perda da umidade do solo, no período de seca. Na cova com a carcaça envolta em lona plástica, os valores de resistividade são bem menores (399 a 1135 Ohm.m). Observou-se uma anomalia geoeletrica com limites maiores que a da cova com a lona vazia. Esta diferença entre os tamanhos das anomalias geoeletricas se deve ao tamanho do alvo dentro da cova. A cova somente com lona plástica possui um tamanho reduzido e está posicionada no fundo da cova. A presença da carcaça envolta em lona plástica possui um maior volume corporal e por isso é bem delimitado.

Nos cenários com lençol, com e sem a carcaça de suíno, os resultados da cova somente com lençol, os valores de resistividade ficaram entre 673 a 1135 Ohm.m, e a anomalia geoeletrica é razoavelmente delimitada. Na cova com a carcaça envolta em lençol os valores de resistividade são menores (399 a 1135 Ohm.m), e os limites das covas são bem delimitados. Os baixos valores de resistividade é ocasionado pela carcaça de suíno em decomposição.

No cenário com bloco de concreto com e sem a carcaça de suíno, a presença de uma anomalia geoeletrica com valores muito baixos de resistividade (236 Ohm.m), é um indicativo da presença da carcaça localizado na cova.

Nos cenários com restos de construção, com ou sem a carcaça de suíno, a presença de mesmo contraste de resistividade não permite distinguir a presença da carcaça.

Esta dificuldade se deve a heterogeneidade dos materiais dentro das covas, que apresentam vários valores de baixa resistividade (pedaços de cerâmica, colunas de concreto e outros materiais), o que pode mascarar anomalias relacionadas à presença da carcaça de suíno.

Nos cenários com o caixão de madeira, observa-se que a cova com caixão vazio possui valores altos de resistividade (1135 a 1915 Ohm.m). Estes altos valores de resistividade ocorrem devido a pouca umidade do solo e a presença do espaço vazio dentro do caixão. Na cova com carcaça dentro do caixão os valores de resistividade são extremamente baixos (399 a 1135 Ohm.m), conforme já mencionado, relacionado ao padrão de baixa resistividade de um corpo em decomposição. Uma observação importante é a presença de uma anomalia geométrica de alta resistividade (1915 a 3232 Ohm.m), localizado em cima do caixão com a carcaça de suíno. Esta anomalia de alta resistividade sobre o caixão com a carcaça, se deve a presença do solo utilizado para o preenchimento da cova devido ao desmoronamento do teto da cova, ocorrido durante a retirada das barras de ferro.

Na cova somente com cal hidratado, os valores de resistividade variaram entre 1135 a 1915 Ohm.m, devido a pouca presença de umidade dentro da cova. Na cova com a carcaça em cal hidratado, observam-se baixos valores de resistividade (399 a 1135 Ohm.m). Valores de baixa resistividade são associados a presença de materiais condutivos, neste caso a carcaça de suíno em decomposição.

A seção com espaçamento em 0,25 m, entre os eletrodos, possuem resultados semelhantes à seção com espaçamento em 0,50 m. (com o mesmo arranjo). Esta comparação sugere que não existe perda de informação utilizando-se espaçamentos de 0,50 m. Em áreas não muito extensas e sem a presença de bloqueios o arranjo de eletrorresistividade com espaçamento maior poderá trazer informações com detalhamento satisfatório, e com a vantagem de alcançar maiores profundidades de investigação (superior a 1,5 m para o arranjo DD e 2,20 m para o arranjo WS).

Em casos de áreas reduzidas e com a presença de obstáculos o uso dos arranjos com espaçamento em 0,25 m, trará bons resultados, mas com profundidade reduzida (1,07 m). Neste caso o planejamento para definir o início da aquisição será importante para evitar a perda de informação lateral das seções de eletrorresistividade (neste caso a covas com solo remexido e carcaça de suíno desnudo).

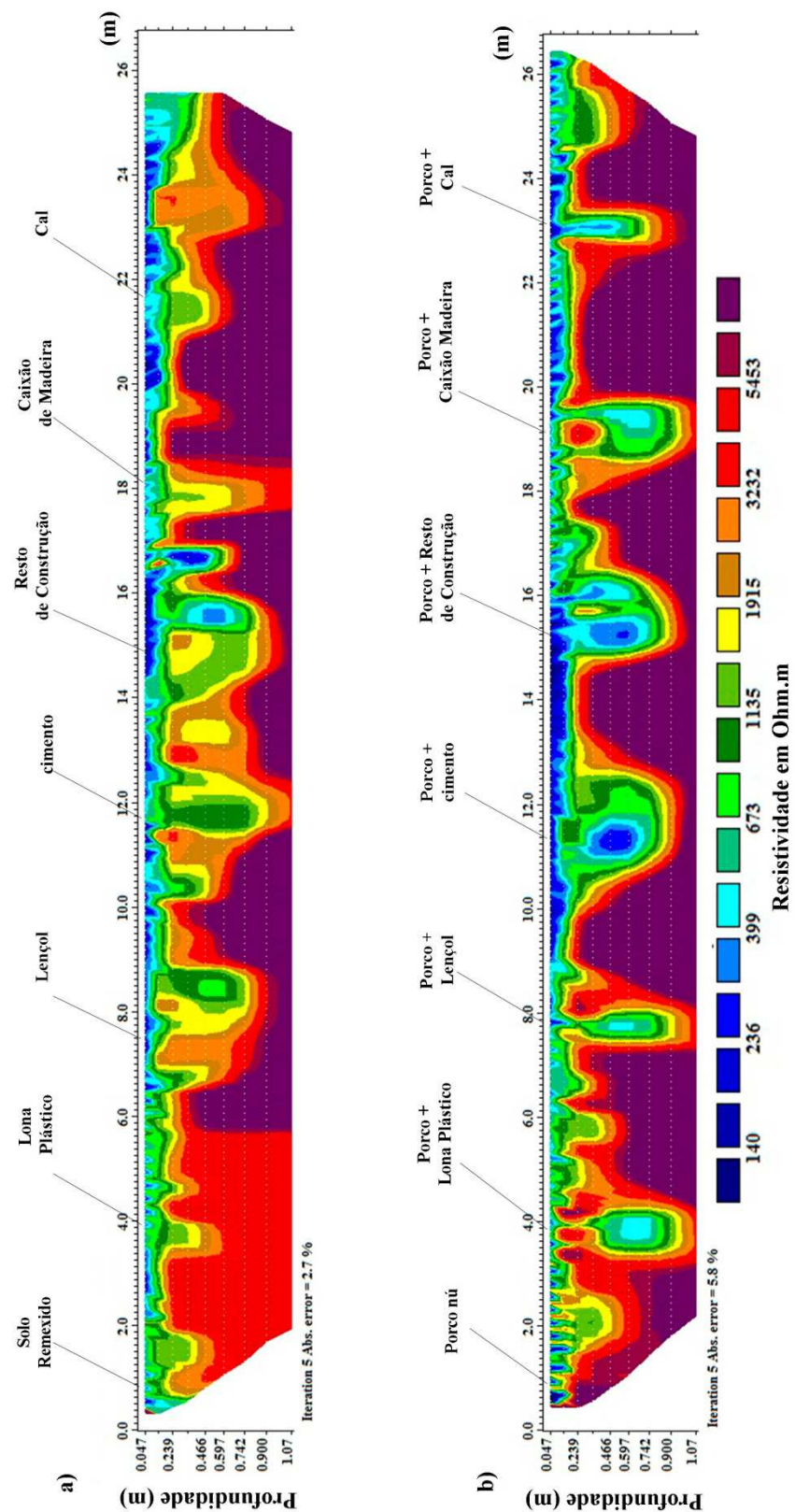


Figura 6.48– Seções de eletrorresistividade adquiridas pelo arranjo DD, no período de seca de 2016 e com espaçamento de 0,25 m entre os eletrodos. a) Seção de eletrorresistividade sobre as covas com envoltórios. b) Seção de eletrorresistividade sobre as covas com carcaças de suíno nos envoltórios.

A aquisição dos últimos dias do mês de setembro de 2016, já com o início das chuvas, não forneceu resultado influenciados por estas, provavelmente pelo baixo volume acumulado. A comparação entre as seções de eletrorresistividades dos períodos de seca de 2015 e 2016 mostrou padrões de resistividade bem semelhantes, sendo que a única diferença observada foi a presença de um horizonte com valores muito baixos de resistividade (140 a 236 Ohm.m) na camada de solo superficial, relacionado com maior umidade causada pelas primeiras chuvas no mês de setembro de 2016, e que não chegou até a profundidade onde se encontravam os alvos.

A seção adquirida durante o período de chuvas de 2016 possui resultados não muito satisfatórios para alguns envoltórios (bloco de concreto, restos de construção e caixão de madeira) devido às covas com e sem a carcaças de suíno demonstrarem o mesmo contraste de resistividade entre as anomalias geoeletricas. O que não permitiu distinguir a existência ou não do corpo, indicando que para estes cenários, no período de precipitação, a resposta geofísica está relacionada aos envoltórios e não à presença da carcaça.

Para os cenários com solo remexido, carcaça de suíno nu, lona plástica e lençol, adquiridos no período de chuvas de 2016, os contrastes de resistividade, entre as anomalias geoeletricas, permitiram uma boa distinção entre as covas com e sem a presença da carcaça de suíno.

O cenário com restos de construção expôs incerteza na distinção entre as covas com e sem a presença da carcaça de suíno. Tendo o mesmo resultado durante o período de seca e de chuva. O arranjo WS apresentou resultados com contraste de resistividade entre as covas com e sem a carcaça de suíno em restos de construção, no entanto com valores muito próximos, o que indica que o método de eletrorresistividade não produz resultados satisfatórios em áreas de ocultação com restos de construção.

6.2.2.5 Resumo

A **Tabela 6.3** (envoltórios) e a **Tabela 6.4** (carcaças em envoltórios) apresentam um resumo dos resultados entre os arranjos DD e WS, durante os períodos de estiagem e precipitação (nos anos de 2015 e 2016), e com os diferentes espaçamentos entre os eletrodos. Foram atribuídos valores qualitativos aos resultados de eletrorresistividade, sobre cada cenário de sepultamento, sendo: Bom (Alvo com boa delimitação da cova e bom contraste de resistividade entre os cenários com ou sem a carcaça de suíno), Regular

(Alvo com razoável delimitação da cova, e baixo contraste de resistividade entre os cenários com ou sem a carcaça de suíno) e Ruim (Alvo sem contraste e delimitação dos limites da cova).

Tabela 6.3 – Resultados qualitativos de Eletrorresistividade sobre as covas com envoltórios.

Arranjo	Wenner-Schlumberger		Dipolo-dipolo		Dipolo-dipolo	
	2015		2015		2016	
Ano	2015		2015		2016	
Período	Seca		Seca		Chuva	Seca
Espaçamento	1,0	0,5	1,0	0,5	0,25	0,25
Cenários:						
solo revirado	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Regular	-
Lona plástica	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Regular	Regular
Lençol	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Regular	Regular
Concreto	Bom	Regular	Bom	Regular	Bom	Bom
Resto de Construção	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Caixão de madeira	Ruim	Bom	Ruim	Bom	Regular	Regular
Cal Hidratado	Ruim	Regular	Ruim	Regular	Regular	Regular

Tabela 6.4 – Resultados qualitativos de Eletrorresistividade sobre as covas com carcaças de suíno nos envoltórios.

Arranjo	Wenner-Schlumberger		Dipolo-dipolo		Dipolo-dipolo	
	2015		2015		2016	
Ano	2015		2015		2016	
Período	Seca		Seca		Chuva	Seca
Espaçamento	1,0	0,5	1,0	0,5	0,25	0,25
Cenários:						
Carcaça nua	Regular	Regular	Regular	Regular	Bom	-
Lona plástica + Carcaça	Regular	Bom	Regular	Bom	Bom	Bom
Lençol + Carcaça	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Concreto + Carcaça	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Resto de Construção + Carcaça	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Caixão de madeira + Carcaça	Regular	Bom	Regular	Bom	Bom	Bom
Cal Hidratado + Carcaça	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom

CAPÍTULO 7

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados adquiridos e analisados neste trabalho permitiram observar a resposta geofísica dos métodos GPR e de Eletrorresistividade sobre diferentes cenários de sepultamento, nos diferentes períodos de precipitação e estiagem, até 24 meses após o sepultamento. As informações reunidas e apresentadas aqui irão servir de apoio nas investigações em áreas de ocultação a que venham utilizar os métodos geofísicos citados na busca de corpos.

A construção do sítio controlado mostrou ser uma ferramenta de grande utilidade para os estudos geofísicos. O controle das informações dos alvos sepultados, tais como, profundidade, localização, características e posicionamento, permitiram realizar uma análise mais segura dos resultados obtidos pelos métodos indiretos (GPR e Eletrorresistividade), evitando erros de interpretação das anomalias recuperadas.

A utilização das barras de ferro nos limites laterais das covas permitiu identificar o posicionamento dos alvos sepultados (nos radargramas). No entanto, as reflexões de alta amplitude das barras se sobrepuseram sobre as reflexões relacionadas aos alvos sepultados. Recomenda-se para futuras instalações de sítios controlados, a utilização de demarcadores fora das covas.

Os cenários de sepultamento, divididos entre envoltórios e carcaça com envoltório, permitiram observar as diferentes respostas geofísicas relacionadas aos materiais nos períodos de precipitação e estiagem em um solo argiloso com classificação de Latossolo vermelho.

Os cenários de sepultamento com ou sem a carcaça de suíno foram bem observados com o GPR durante os períodos de precipitação, enquanto com a eletrorresistividade, durante o período de estiagem.

Covas (com a presença de corpos sepultados, ou) somente com envoltórios são identificadas com o GPR porque envoltórios e espaços vazios geram reflexões de alta amplitude. A presença de um corpo (carcaça de suíno), por sua vez, pode ser identificada pela atenuação que suas partes moles e/ou necrochorume promovem no sinal após os refletores. Essa característica do sinal GPR é visível tanto durante os períodos de precipitação, quanto os de estiagem.

No método de eletrorresistividade a identificação dos envoltórios nas covas ocorre pela presença de anomalias geoelétricas com baixos valores de resistividade e de contornos bem definidos (limites da cova). A presença da carcaça de suíno junto aos envoltórios gera valores de resistividade extremamente baixos.

O cenário de sepultamento em restos de construção não possibilitou identificar e diferenciar a presença da carcaça de suíno com os métodos GPR e de Eletrorresistividade. Conclui-se que, em investigações de ocultação em áreas de aterro ou sobre destroços de pequeno porte (fragmentos de reboco, tijolos, madeiras, etc), os métodos de GPR e Eletrorresistividade não são eficientes, não devem assegurar a identificação de corpos soterrados.

Recomenda-se a continuidade do monitoramento, para acompanhar as mudanças nas repostas dos alvos por longos períodos e identificar se os sinais poderão desaparecer ou se alterar.

As presenças das zonas de atenuação e dos valores de baixíssima resistividade, após os 24 meses de sepultamento, evidenciam a preservação das carcaças por longos períodos em solos argilosos.

Aconselha-se a utilização de outros cenários de sepultamento. E que, diante das possibilidades e autorizações pertinentes, se possa utilizar corpos humanos, devido esses terem uma estrutura óssea diferente dos suínos. Recomendam-se também estudos de cenários de sepultamento em outros tipos de solo.

Observou-se que o uso da antena de baixa frequência (250 MHz) permite ter uma boa resposta do sinal GPR, tanto nos períodos de estiagem quanto nos de precipitação, para a localização de corpos sepultados.

O uso de uma frequência intermediária (400 MHz) apresentou resultados regulares devido à redução do sinal de amplitude. Apesar da perda de amplitude, foi possível visualizar os alvos. O que não descarta o uso da frequência de 400 MHz, podendo o problema ser contornado nas etapas de processamento.

Para o uso de antenas de alta frequência (700 MHz), aconselha-se sua aplicação nos períodos de seca, devido o adensamento de refletores causar dificuldades na interpretação de radargramas 2D, onde o alto contrastes de amplitude prejudica na visualização de refletores rasos. As zonas de atenuação provocadas pela condutividade da decomposição da carcaça de suíno foram bem delimitadas permitindo a identificação da cova com corpos sepultados.

Aconselha-se a aquisição de vários radargramas 2D para observação do sinal GPR em blocos 3D, ou em fatias de profundidade, onde o conjunto de dados permite em uma melhor observação dos resultados e na localização das áreas escavadas.

Concluiu-se que a presença de áreas de atenuação, após eventos de reflexão de alta amplitude, é uma indicação da presença de corpos enterrados, em solos argilosos como o Latossolo.

Recomenda-se, quando possível, em uma investigação de ocultação, o uso conjunto de antenas de GPR com diferentes frequências, no período de precipitação, onde o contraste de permissividade dielétrica permitirá uma melhor observação dos alvos.

O uso da Eletrorresistividade fornece bons resultados na localização de sítios de ocultação em períodos de estiagem.

O arranjo Wenner-Schlumberger mostrou bons resultados na delimitação dos alvos sepultados nos cenários utilizados, tanto com , quanto sem carcaça de suíno. No entanto, com pouca diferença, o arranjo Dipolo-dipolo mostrou ser mais adequado devido ter uma menor perda lateral da leitura de resistividade, sendo, portanto, mais adequado para áreas de menores dimensões.

A comparação entre diferentes espaçamentos dos eletrodos mostrou que o espaçamento de 1,0 m é adequado para identificar alvos com corpos sepultados, sendo uma alternativa aceitável para investigações em grandes áreas. No entanto, para investigações mais detalhadas, sugere-se que o espaçamento máximo entre eletrodos seja de 0,50 m, que fornece resultados semelhantes aqueles obtidos com espaçamentos menores (0,25 m).

Em cenários com restos de construção a identificação da presença de um corpo sepultado fica prejudicada pela falta de contraste de resistividade, devido à heterogeneidade dos resíduos sobre o corpo, não sendo seguro a identificação de corpos sepultados em áreas de aterro com restos de construção de pequeno porte.

Devido ao longo tempo de aquisição e manejo que demanda a aquisição com o método de eletrorresistividade, recomenda-se o uso de equipamentos dimensionados para estudos de baixa profundidade, ou seja, com cabos menores e de mais fácil manuseio, o que permitirá em um menor tempo para as aquisições.

Recomenda-se a continuidade das aquisições dos métodos geofísicos na área do SCGF-UnB, para monitorar as mudanças que os sinais, aqui apresentados, poderão sofrer após longos períodos de tempo.

8 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANNAN, A.A.P. Ground Penetrating Radar. **Workshop Notes**. 197pp. 2001.
- BETHELL, P. H.; CARVER, M. O. H. Detection and enhancement of decayed inhumations at Sutton Hoo. In: **Death, decay and reconstruction. Approaches to archaeology and forensic science**. [s.l: s.n.]. p. 10–21.
- BEVAN, B. W. The search for graves. **Geophysics**, v. 56, n. 9, p. 1310–1319, 1991.
- BORGES, W.R. **Caracterização Geofísica de Alvos Rasos com Aplicações no Planejamento Urbano e Meio Ambiente: Estudo sobre o Sítio Controlado do IAG / USP**. Tese de doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. 260pp. 2007.
- BRAGA, A.C. **Métodos Geolétricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica- Formações Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro – São Paulo, Rio Claro**. Tese de Doutorado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro – SP, 169p. 1997.
- BRASIL, Diogenes Leão. **Investigação geofísica forense e antropológica com o método GPR no cemitério do Tapanã e no cemitério perdido de Mosqueiro (Belém, Pará)**. *Dissertação de Mestrado*, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém. 2013. 90f
- BUCK, S. C. Searching for graves using geophysical technology: field tests with ground penetrating radar, magnetometry, and electrical resistivity. **Journal of forensic sciences**, v. 48, n. 1, p. 5–11, 2003.
- CAMPOS, J. E. G. e FREITAS-SILVA, F. H. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. 1998. Relatório Técnico, Vol. 4 – Hidrogeologia do Distrito Federal SRH/MMA – IEMA/SEMATEC, Brasília, DF. 85p. 1998.
- CARTER, D. O.; TIBBETT, M. Microbial decomposition of skeletal muscle tissue (*Ovis aries*) in a sandy loam soil at different temperatures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 5, p. 1139–1145, 2006.
- CARTER, D. O.; YELLOWLEES, D.; TIBBETT, M. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. **Natur wissenschaften**, 2007.
- CATETE, Clistenes Pamplona. **Investigações ambiental e forense com os métodos geofísicos radar de penetração do solo, polarização induzida e eletrorresistividade no Cemitério do Tapanã, Belém/Pará**. *Dissertação de Mestrado*, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém. 2010.

- CHEETHAM, P. Forensic geophysical survey. In: Hunter, J, Cox, M. **Forensic Archaeology: Advances in Theory and Practice**. Routledge, Oxon. p. 62–95. 2005.
- CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal**, Brasília, DF. 1984
- COSTA, A. S. **Resistividade, potencial espontâneo e radiometria aplicados a investigação ambiental e forense no campo de testes do cemitério do Tapanã (Belém-PA)**. 43 f. TCC (Graduação) – Curso de Graduação em Geofísica/IG/UFPA, Belém, 2009.
- CURTIS, J.O., WEISS, C.A., EVERETT, J.B. Effect of soil composition on complex dielectric properties. **US Army Corps Eng. Waterways Exp. Station, Tech. Rep. EL-95-34** pp. 1995.
- DANIELS, J.J. Fundamentals of ground penetrating radar, in: In: **Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and environmental Problems, 2**. Golden. In: Proceedings, Golden, SAGEEP'89. p. 62–142. 1989.
- DAVENPORT, G.C., LINDEMANN, J.W., GRIFFIN, T.J., BOROWSKI, J.E. Crime scene investigation techniques. **The Leading Edge**, n. August, p. 64–66, 1988.
- DAVIS, J.L., ANNAN, A.P. Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophys. Prospect.** 37, 531–551pp. 1989.
- DAVIS, J., HEGINBOTTOM, J., ANNAN, A., DANIELS, R., BERDAL, B., BERGAN, T., DUNCAN, K., LEWIN, P., OXFORD, J., ROBERTS, N., SKEHEL, J., SMITH, C. Ground Penetrating Radar Surveys to Locate 1918 Spanish Flu Victims in Permafrost. **Journal of Forensic Sciences**, v. 45, p. 68–76, 2000.
- D'ERRICO, S., TURILLAZZI, E., POMARA, C., FIORE, C., MONCHIOTTI, F., FINESCHI, V. A novel macabre ritual of the Italian mafia. **American Journal of Forensic Medicine and Pathology** 32, 44–46. 2011.
- DEMO, C. **Tafonomia Forense: Estudo sobre a Decomposição Experimental e das Alterações Post-Mortem no Cerrado de Brasília**. Tese de doutorado. Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Biológicas: 103pp. 2013.
- deGROOT-HEDLIN, C., CONSTABLE, S. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. **Geophysics** 55 (12), 1613-1624. 1990
- DUKE, Steven. Calibration of ground penetrating radar and calculation of attenuation and dielectric permittivity versus depth. Ms. Thesis. Colorado School of Mine. Department of Geophysics. Colorado. 320pp
- EDWARDS, L. S. A modified pseudo-section for resistivity and induced polarization. **Geophysics**. Vol. 42(3): 1020-1036. 1977
- ELIS, V. R. **Avaliação da Aplicabilidade de Métodos Elétricos de Prospecção Geofísica no Estudo de Áreas utilizadas para Disposição de Resíduos**.

Dissertação de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, São Paulo. Brasil. 1999.

ELIS, V.R. **A geofísica como ferramenta para detectar e mapear contaminação. Material Básico – principais métodos geofísicos e aplicações.** Departamento de Geofísica – IAG/USP. São Paulo, 35P.2005.

ELLWOOD, B. B. Electrical Resistivity Surveys in Two Historical Cemeteries in Northeast Texas: A Method for Delineating Unidentified Burial Shafts. **Historical Archaeology**, v. 24, n. 3, p. 91–98, 1990.

FALLER MARQUARDT, M.; LUTZ, S.; POLLAK, S. Using cement-containing powder glue (tile cement) to dispose of a cadaver. **Archiv für Kriminologie**, v. 206(3-4), p. 73–81, 2000.

FAV - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Base de dados da Estação Meteorológica Automática. Fazenda Água Limpa - FAL/UnB. Dados Diários. 2016. Disponível: www.fav.unb.br/86-faculdade-veterinaria/128-base-de-dados-estacao-automatizada-dados-diaros. Acesso: 22 de junho de 2016.

FIEDLER, S.; GRAW, M. Decomposition of buried corpses, with special reference to the formation of adipocere. **Naturwissenschaften**, 2003.

FREITAS-SILVA, F. H. e CAMPOS, J. E. G. Geologia do Distrito Federal. In: IEMA/UnB. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Relatório Técnico, Vol. 1 – Meio Físico do Distrito Federal, SRH/MMA – IEMA/SEMATEC, Brasília, DF. 1998. 1-87p.

FREELAND, R. S. et al. **Forensic application of sweep-frequency and impulse GPR International conference on ground penetrating radar (9 ; United States ; 2002)**, 2002.

FORBES, S.L., STUART, B.H., DENT, B.B. The effect of the burial environment on adipocere formation. **Forensic Science International** 154, 24–34. 2005.

GALLAS JDF, TAIOLI F & SILVA SMCP. Contaminação por chorume e sua detecção por resistividade. **Revista Brasileira de Geofísica (ISSN 0102-261X)**. 23(1): 51-59p. 2005. Disponível em: www.scielo.br/rbg.

GALLAS, JDF. **Principais métodos geoeletricos e suas aplicações em prospecção mineral, hidrogeologia, geologia de engenharia e geologia ambiental. Tese de Doutorado.** Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, SP. 2000.

GEOTOMO, Heights, M. with 64-bit support for Windows XP / Vista / 7 / 8 Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method and non-conventional arrays On land , aquatic , cross-borehole and time-lapse surveys Geoelectrical Imaging 2D & 3D GEOTOMO SOFTWARE. 2010.

GIBELLI, D., DI GIANCAMILLO, A., TABORELLI, A., PORTA, D., ANDREOLA, S., FERRO, F., VITARI, F., DOMENEGHINI, C., GRANDI, M., CATTANEO, C.

- Burial of piglet carcasses in cement: a study of macroscopic and microscopic alterations on an animal model. *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 34, 43–9. 2013.
- GIBELLI, D. et al. Burial of piglet carcasses in cement: a study of macroscopic and microscopic alterations on an animal model. **The American journal of forensic medicine and pathology**, v. 34, n. 1, p. 43–9, 2013.
- GILCHRIST, R., SLOANE, B. Requiem: the Medieval Monastic Cemetery in Britain. **Museum of London Archaeology Service**. 2005.
- GRASMUECK, M., WEGER, R., HORSTMAYER, H. Full-resolution 3D GPR imaging. **Geophysics** 70, 12–19. 2005.
- GREENHOUSE, J.; GUDJURGIS, P; SLAINE, D. Applications of surface geophysics to environmental investigations. Apostila do curso "Aplicações de metodologias geofísicas em estdos ambientais e geotécnicos". Tradução e adaptação do Prof Dr. Clóvis José (UNESP/SP). 1995.
- HAMMON, W. S.; MCMECHAN, G. A.; ZENG, X. Forensic GPR: Finite-difference simulations of responses from buried human remains. **Journal of Applied Geophysics**, v. 45, n. 3, p. 171–186, 2000.
- JANAWAY, R. C. et al. Taphonomic change to the buried body and associated materials in an upland peat environment: Experiments using pig carcasses as human body analogues. In: N. LYNNERUP, C. ANDREASEN, AND J. BERGLUND, E. (Ed.). . **Mummies in a New Millenium**. Nuuk, Greenland: Greenland National Museum and Archives & Danish Polar Center, p. 56–59. 2003.
- JERVIS, J.R., PRINGLE, J.K., CASSELLA, J.P., TUCKWELL, G. Using soil and groundwater data to understand resistivity surveys over a simulated clandestine grave. In: Ritz, K., Dawson, L., Miller, D. (Eds.), **Criminal and Environmental Soil Forensics**. Springer Science + Business Media B.V, Dordrecht. pp. 271–284. 2009a.
- JERVIS, J. R.; PRINGLE, J. K.; TUCKWELL, G. W. Time-lapse resistivity surveys over simulated clandestine graves. **Forensic Science International**, v. 192, n. 1–3, p. 7–13, 2009b.
- JERVIS, J.R; PRINGLE, J.K. A study of the effect of seasonal climatic factors on the electrical resistivity response of three experimental graves. **Journal of Applied Geophysics**. 108 (2014), 53-60 pp. 2014.
- JOL, H.M. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications. **Elsevier Science, Oxford**. 402p. 2009.
- JONES, A.M. An unusual atypical gunshot wound. **American Journal of Forensic Medicine and Pathology** 8, 338–341.1987.

- JUERGES, A., PRINGLE, J.K., JERVIS, J.R., MASTERS, P. Comparisons of magnetic and electrical resistivity surveys over simulated clandestine graves in contrasting burial environments. **Near Surf. Geophys.** 8, 529–539.2010.
- KEAREY, P.; BROOKS,M.; HILL,I. **Geofísica de exploração**. Tradução Maria CristinaMoreira Coelho. São Paulo: Oficina do Texto, 438p. 2009.
- KELLER, V. G.; FRISCHKNECHT, F. C. Electrical methods in geophysical prospecting. Oxford, Pergamon Press.517p. 1966.KILLAM, E.W. The Detection of Human Remains. **2 ed. Charles C. Thomas. Publisher, Ltd. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data**. Springfield, Illinois. USA. 96-106pp.1990.
- KLUG, L. Surviving the fire, in: Mother Courage and World War II, Open Hand. Greensboro, 1989.
- LAGO, A,P. **Investigação geofísica 2D e 3D com aplicação em meio ambiente: estudo sobre uma área de disposição de resíduos de óleo lubrificante no município de Ribeirão Preto – SP**. Dissertação de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 194p. 2009.
- LARCERDA, M. P. C; BARBOSA, I. O; CAMPOS, P. M.; PAPA, R. A. Utilização de sensoriamento remoto para o estabelecimento de relações entre vegetação nativa e classes de solos em mapeamento pedológico, Distrito Federal, **In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais, Florianópolis**. SC. 3991 – 3996 p. 2007.
- LOKE, M.H. Tutorial: 2D and 3D electrical imaging surveys. 129p. 2004. Disponível em: <http://www.geotomosoft.com>, acessado em 29/06/2012.
- LOKE, M.H., BARKER, R.D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting* 44 (1), 131–152. 1996.
- MADEA, B., CREMER, U., SCHIWY-BOCHAT, K.H. Concealing the cadaver in masonry and cement. **Arch. Kriminol.** 212(5-6), 129–140. 2003.
- MALA GEOSCIENCE. RAMAC/GPR. Version 2.28. **Software Manual**, August, 66p. 1997.
- McNEILL, J. D. Electromagnetics terrain conductivity measurement at low induction numbers. tech. **note tn-6, Geonics Ltd**, Mississauga, Ontario, Canadá.1980
- MELLET, J. S. Location of human remains with ground-penetrating radar. **Fourth International Conference on Ground Penetrating Radar**, p. 359–365, 1992.
- MILLER, P. S. Disturbances in the Soil: Finding Buried Bodies and Other Evidence Using Ground Penetrating Radar. **Journal of Forensic Sciences**, 1996.
- MOLDRUP, P., OLESEN, T., ROLSTON, D.E., YAMAGUCHI, T. Modeling Diffusion and Reaction in Soils: Vii. Predicting Gas and Ion Diffusivity in Undisturbed and

- Sieved Soils. *Soil. Sci.* 162, 632–640.1997.
- MOLINA, C.M., PRINGLE, J.K., SAUMETT, M., EVANS, G.T. Geophysical monitoring of simulated graves with resistivity, magnetic susceptibility, conductivity and GPR in Colombia, South America. **Forensic Science International**, v. 261, n. April, p. 106–115, 2016.
- MORAIAS, F. M. 2009. **Análise de atributos da vegetação e do solo em cerrado sensu stricto, 20 anos após distúrbios antrópicos**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 99 pp.
- MORTON, R.J., LORD, W.D. Detection and recovery of abducted and murdered children: behavioral and taphonomic influences. In: Haglund, W.D., Sorg, M.H. (Eds.), *Advances in Forensic Taphonomy: Methods, Theory, and Archaeological Perspectives*. CRC Press, Boca Raton, pp. 151–171. 2002.
- NASCIMENTO, W. G.; 2009. *Investigação Geofísica Ambiental e forense com os métodos radar e LIN nos cemitérios do Bengui e do Tapanã (Belém – Pa)*. 153 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) Programa de Pós-graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2009.
- NOBES, D. C. Geophysical surveys of burial sites: a case study of the Oaro urupa. **Geophysics**, v. 64, n. 2, p. 357, 1999. OLHOEFT, G.R. Electrical, magnetic and geometric properties that determine ground penetrating radar performance. **7 international Conference on Ground Penetrating Radar**, The Univ. of Kansas, Lawrence, USA, In. *Proceedings*, p. 177-182. 1998.
- ORELLANA, E. *Prospeccion geoelectrica em corriente continua*. **Madrid, Ed. Paraninfo, Biblioteca Técnica Philips**. 523p. 1972.
- PETHIG, R., *Dielectric and Electronic Properties of Biological Materials*. **Wiley, New York**. 1979.
- PORSANI, J.L. *Ground penetrating radar (GPR): proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado-SP*. Universidade Estadual Paulista. 1999. nº de páginas? etc?
- POWELL, K. *Grave concerns: locating and unearthing human bodies*. **Australian Academic Press, Bowen Hills 1921513705**, 2010.
- PRADO, R.L. *A sísmica de reflexão e o radar de penetração no solo na investigação geológico-geotécnica em ambientes urbanos: Um estudo na cidade de São Paulo - SP, Brasil*. UNESP, Campus de Rio Claro - SP. 2000.
- PRINGLE, J.K., JERVIS, J., CASSELLA, J.P., CASSIDY, N.J. Time-lapse geophysical investigations over a simulated urban clandestine grave. **Journal of Forensic Sciences**, v. 53, n. 6, p. 1405–1416, 2008.
- PRINGLE, J.K., JERVIS, J.R., HANSEN, J.D., JONES, G.M., CASSIDY, N.J.,

- CASSELLA, J.P. Geophysical Monitoring of Simulated Clandestine Graves Using Electrical and Ground-Penetrating Radar Methods: 0-3 Years After Burial* †. **Journal of Forensic Sciences**, v. 57, n. 6, p. 1467–1486, 2012a.
- PRINGLE, J.K., RUFFELL, A., JERVIS, J.R., DONNELLY, L., MCKINLEY, J., HANSEN, J., MORGAN, R., PIRRIE, D., HARRISON, M. The use of geoscience methods for terrestrial forensic searches. **Earth-Science Reviews**, v. 114, n. 1–2, p. 108–123, 2012b.
- REYNOLDS JM. An introduction to applied and environmental geophysics. **Ed. John Wiley and Sons**. 796 p. 1997.
- RODRIGUEZ, W.C., BASS, W.M. Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location. **J. Forensic Sci.** 30, 836–852. 1985.
- RODRIGUES, Selma I.; PORSANI, Jorge L.; SANTOS, Vinicius R. N.; DEBLASIS, Paulo A. D.; GIANNINI, Paulo C. F. GPR and Inductive electromagnetic surveys applied in three coastal sambaqui (Shell mounds) archaeological sites in Santa Catarina state, South Brazil. **Journal of Archaeological Science**, V.3, n.10, 2081-2088pp. 2009.
- SANDMEIER, J. REFLEXW Version 8.1. **manual técnico**. 272pp. 2016.
- SASAKI, Y. Two-dimensional joint inversion of magnetotelluric and dipole-dipole resistivity data. *Geophysics*, Vol. 54(2):254-262. 1989.
- SASAKI, Y. 3D - resistivity inversion using the finite element method. *Geophysics*, Vol. 59:1839:1848. 1994.
- SCHOTSMANS, M. J. MÁRQUEZ-GRANT, N. Taphonomy of Human Remains. Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment. **Wiley. Universit  Bordeaux**. 531pp. 2017.
- SCHOTSMANS, E.M.J., FLETCHER, J.N., DENTON, J., JANAWAY, R.C., WILSON, A.S. Long-term effects of hydrated lime and quicklime on the decay of human remains using pig cadavers as human body analogues: Field experiments. **Forensic Sci. Int.** 238, 141.e 1-141. 2014.
- SCHULTZ, J. J. Sequential monitoring of burials containing small pig cadavers using ground penetrating radar. **Journal of Forensic Sciences**, v. 53, n. 2, p. 279–287, 2008.
- 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**, v. 51, p. 607–616, 2006.
- SCHULTZ, J. J.; MARTIN, M. M. Monitoring controlled graves representing common burial scenarios with ground penetrating radar. **Journal of Applied Geophysics**, v. 83, p. 74–89, 2012.

- SCHUMANN, M., BARZ, J., BONTE, W. Disposal of the corpse by cement encapsulation and submersion in water. **Arch. Kriminol.** 195(1-2), 18–26. 1995.
- SCHWAN, H.P., LI, K., Capacity and conductivity of body tissues at ultrahigh frequencies. **Proc. I.R.E.** 41, 1735–1740. 1953.
- SCHWAN, H.P., PIERSOL, G.M. The absorption of electromagnetic energy in body tissues. **Am. J. Phys. Med.** 33, 371–404 pp. 1954.
- SCOTT, J.; HUNTER, J. R. Environmental influences on resistivity mapping for the location of clandestine graves. In: Pye, K., Croft, D.J. (Eds.), **Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications. Geological Society**, London. v. 232, p. 33–38, 2004.
- SILVA, L. M. C. E. ; 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. In: III Simpósio Brasileiro de Geofísica, 2008, Belém. Planeta Terra, 2008. 5p.
- SPENNEMANN, D.H., FRANKE, B. Decomposition of buried human bodies and associated death scene materials on coral atolls in the tropical Pacific. **J. Forensic Sci.** 40, 356–67. 1995.
- THEW, H.A., Effects of Lime on the Decomposition rate of buried remains (abstract). University of Indianapolis Archeology & Forensics Laboratory 5–6. 2000. (<http://archlab.uindy.edu>).
- TELFORD, W.M; GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. **Applied geophysics. Second Edition.** Cambridge: Cambridge University Press, 770p. 1990.
- TIBBERT, M., CARTER, D.O. Soil Analysis in Forensic Taphonomy: Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains. **CRC Press. Taylor&Francis Group.** Boca Raton. 366pp. 2008.
- TOMS, C., ROGERS, C.B., SATHYAVAGISWARAN, L. Investigation of homicides interred in concrete - The Los Angeles experience, in: **Journal of Forensic Sciences.** p. 203–207. 2008.
- TOPP, G.C; DAVIS, J. L; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research,** Vol. 16 (3): 574-582. 1980.
- TUMER, A.R., KARACA OGLU, E., NAMLI, A., ALPER, K., FARASAT, S., AKCAN, R., SERT, O., ODABASI, A.B. Effects of different types of soil on decomposition: An experimental study. **Leg. Med.** 15, 149–156. 2013.
- UNTERBERGER, R. R. Ground penetrating radar finds disturbed earth over burials. **4th International Conference on Ground Penetrating Radar**, p. 351–357, 1992.
- VASS, A. A. Review of: Soil Analysis in Forensic Taphonomy: Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains. **J. Forensic Sci.** 53, 1484–1485. 2008
- VAUGHAN, C. J. Ground-penetrating radar surveys used in archaeological investigations.

Geophysics, v. 51, n. 3, p. 595–604, 1986.

VINCENT, S.J., CARTER, A., LAVRISHCHEV, V.A., RICE, S.P., BARABADZE, T.G., HOVIUS, N. The exhumation of the western Greater Caucasus: a thermochronometric study. **Geol. Mag.** 148, 1–21. 2011.

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

WEITZEL, M. A report of decomposition rates of a special burial type in Edmonton, Alberta from an experimental field study. **J. Forensic Sci.** 50, 641–7. 2005.

YACCUP, RAHMAN. The spatial characterisation of contaminant distribution found at industrial sites using combined geophysical/hydrogeological field-studies and laboratory modelling. **Cardiff University**, 2012.

YELF, R. J. Where is true time zero? **Proceedings of the Tenth International Conference on Grounds Penetrating Radar**. v. 1, p. 279–282, 2004.

YILMAZ, O. Seismic Data Processing. **Tulsa: Society of Exploration Geophysics Press**, 526p. 2000

ANEXO 1

Informações dos Alvos

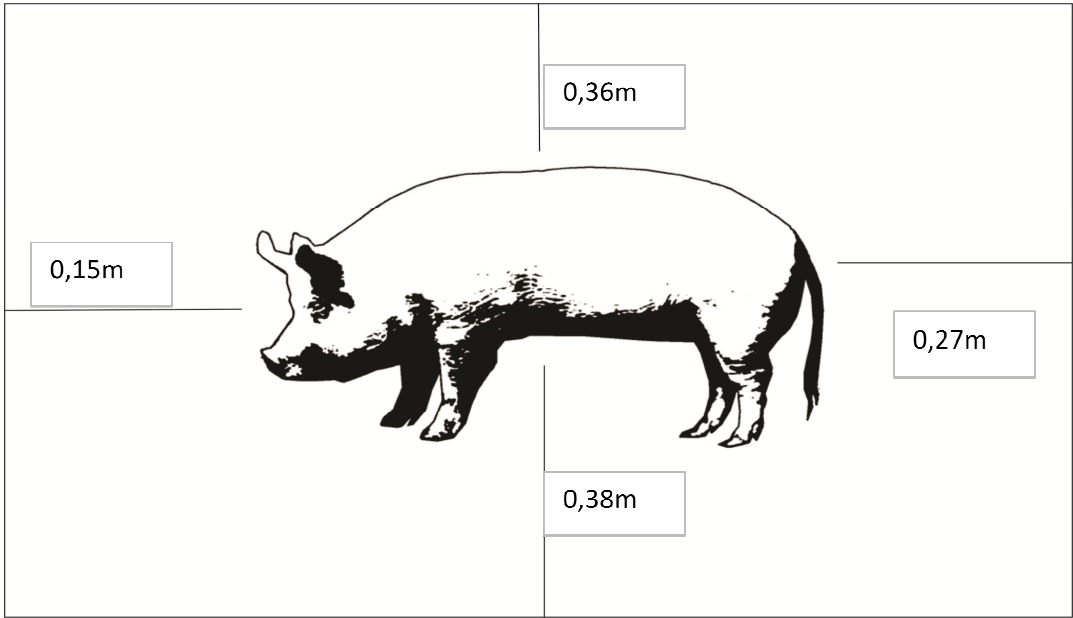
Tabela de Informação Cova in Natura			
Data:	12/01/2015	Hora do enterro:	17h
Nº da Cova:	01		
Cenário de sepultamento:	Porco enterrando in natura		
Causa morte:	Torção gástrica		
Tempo pós-morte:	12h		
Sexo:	Macho		
Peso:	78 kg		
Comprimento:	1,42 m		
Diâmetro da cabeça:	0,21 m		
Diâmetro do tórax:	0,42 m		
Diâmetro do abdômen:	0,52 m		
Diâmetro do lombo:	0,39 m		
Dimensão na Cava:			
Profundidade em relação à cabeça:	0,93 m		
Profundidade em relação ao abdômen	0,74 m		
Profundidade em relação ao lombo:	0,76 m		
Profundidade das barras de ferro:	0,26 m		
<p>Distância da carcaça de suíno em relação às paredes da cova</p>  <p>0,15m</p> <p>0,36m</p> <p>0,27m</p> <p>0,38m</p>			

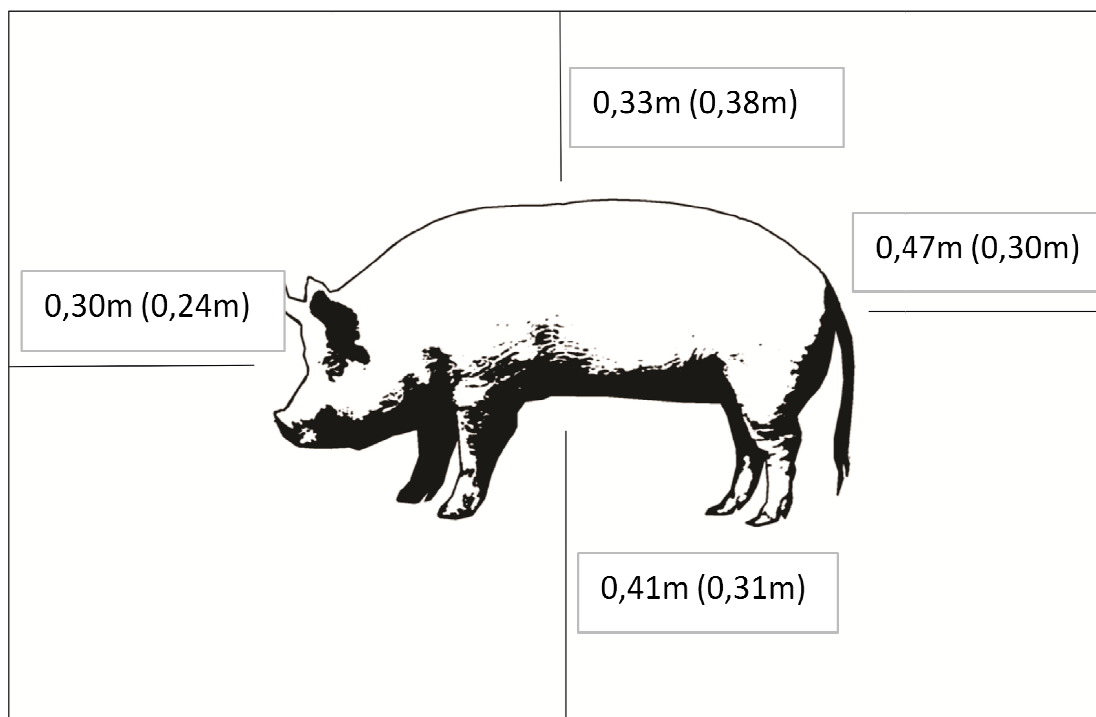
Tabela de Informação Cova Saco Plástico

Data:	13/01/2015	Hora do enterro:	16h30
Nº da Cova:	02		
Cenário de sepultamento:	Porco enterrado enrolado em saco plástico		
Causa morte:	Indigestão		
tempo pós-morte:	12h		
Sexo:	Masculino		
Peso:	58,2 kg		
Comprimento:	1,18m (1,47 m)*		
Diâmetro da cabeça:	0,25 m		
Diâmetro do tórax:	0,31 m		
Diâmetro da abdômen:	0,37m		
Diâmetro do lombo:	0,26m		

Dimensão na Cava:

Profundidade em relação a cabeça:	0,95m
Profundidade relação a abdômen:	0,80m
Profundidade em relação ao lombo:	0,86m
Profundidade em relação ao saco (vazio)	1,03m
Profundidade das barras de ferro:	0,26 m / 0,25 m

Distância da carcaça de suíno em relação às paredes da cova



*Valores em parênteses (pertencem)referem-se ao envoltório do alvo .

Tabela de Informação Cova Lençol			
Data:	13/01/2015	Hora do enterro:	16h30
Nº da Cova:	03		
Cenário de sepultamento:	Porco enterrando enrolado no lençol		
Causa morte:	Torção gástrica		
tempo pós-morte:	07h		
Sexo:	Masculino		
Peso:	64,1 Kg		
Comprimento:	1,20 m (0,9 0m)		
Diâmetro da cabeça:	0,25 m		
Diâmetro do tórax:	0,31 m		
Diâmetro do abdômen:	0,36 m		
Diâmetro do lombo:	0,22 m		
Dimensão na Cava:			
Profundidade em relação a cabeça:	0,85 m		
Profundidade em relação ao abdômen:	0,69 m		
Profundidade em relação ao Lombo:	0,76 m		
Profundidade em relação ao lençol (vazio)	0,96 m		
Profundidade das Barras:	0,27m (0,24m) e 24m (25m)		
<u>Distância da carcaça de suíno em relação às paredes da cova</u>			
<p>0,42m (0,28 m)</p> <p>0,40m (0,42m)</p> <p>0,35m (0,42m)</p> <p>0,42m (0,42m)</p>			

*Valores em parênteses pertencem ao material (envoltório) utilizado na cova.

Tabela de Informação Cova Cimento			
Data:	16/01/2015	Hora do enterro:	15h
Nº da Cova:	04		
Cenário de sepultamento:	Porco enterrando no concreto (3:3:1)		
Causa morte:	Indigestão		
tempo pós-morte:	07h		
Sexo:	Masculino		
Peso:	40 Kg		
Comprimento:	106m		
Diâmetro da cabeça:	0,20 m		
Diâmetro do tórax:	0,23 m		
Diâmetro do abdômen:	0,28 m		
Diâmetro do lombo:	0,20 m		
Dimensão na Cava:			
Profundidade em relação a cabeça:	0,54 m		
Profundidade em relação ao abdômen:	0,36 m		
Profundidade em relação ao Lombo:	0,39 m		
Profundidade do cimento	0,15 m		
Profundidade das Barras:	0,26m e 0,25m		
<u>Distância da carcaça de suíno em relação às paredes da cova</u>			

*Valores em parênteses pertencem ao material (envoltório) utilizado na cova.

Tabela de Informação Cova Resto de Construção Civil			
Data:	16/01/2015	Hora do enterro:	15h30
Nº da Cova:	05		
Cenário de sepultamento:	Porco enterrando sobre entulho de construção		
Causa morte:	Torção gástrica		
tempo pós-morte:	07h		
Sexo:	Masculino		
Peso:	40 Kg		
Comprimento:	1,05m		
Diâmetro da cabeça:	0,15 m		
Diâmetro do tórax:	0,20 m		
Diâmetro do abdômen:	0,29 m		
Diâmetro do lombo:	0,22m		
Dimensão na Cava:			
Profundidade em relação a cabeça:	0,76 m		
Profundidade em relação ao abdômen	0,64m		
Profundidade em relação ao Lombo:	0,68m		
Profundidade do entulho:	247,5m (238,5m)		
Profundidade das Barras:	0,25 m e 0,25m		
<u>Distância da carcaça de suíno em relação às paredes da cova</u>			
<p>O diagrama mostra uma carcaça de suíno em perfil dentro de um retângulo que representa a cova. Quatro medições de distância são indicadas por linhas e caixas de texto:</p> <ul style="list-style-type: none"> 0,47m: distância da cabeça da carcaça até a parede superior da cova. 0,40m: distância da cabeça da carcaça até a parede lateral esquerda da cova. 0,55m: distância da cauda da carcaça até a parede lateral direita da cova. 0,41m: distância da cauda da carcaça até a parede inferior da cova. 			

Tabela de Informação Cova Caixa de Madeira			
Data:	14/01/2015	Hora do enterro:	17h
Nº da Cova:	06		
Cenário de sepultamento:	Porco enterrando em caixão de madeira		
Causa morte:	Torção gástrica		
Tempo pós-morte:	12h		
Sexo:	Masculino		
Peso:	66,4Kg		
Comprimento:	1,23m		
Diâmetro da cabeça:	0,18m		
Diâmetro do tórax:	0,25m		
Diâmetro do abdômen	0,32m		
Diâmetro do lombo:	0,23m		
Dimensão na Cava:			
Profundidade em relação a cabeça:	0,405m (0,535m-tampa)		
Profundidade em relação ao abdômen:	0,505m (0,515m-tampa)		
Profundidade em relação ao Lombo:	0,46m (0,44,5m-tampa)		
Profundidade das Barras:	0,20m e 0,30m		
<u>Distância da carcaça de suíno em relação às paredes da cova</u>			

*Valores em parênteses pertencem ao material (envoltório) utilizado na cova.

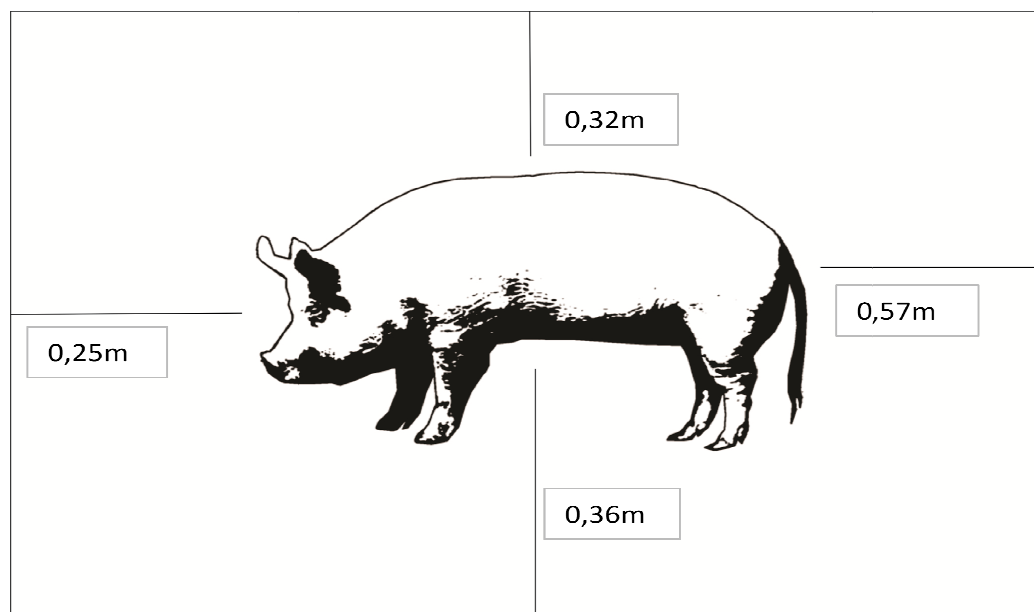
Tabela de Informação Cova Cal Hidratado

Data:	14/01/2015	Hora do enterro:	17h30
Nº da Cova:	07		
Cenário de seputamento:	Porco enterrando com cal		
Causa morte:	Torção gástrica		
tempo pos-morte:	12h		
Sexo:	Masculino		
Peso:	70,2 kg		
Comprimento:	1,20m		
Diâmetro da cabeça:	0,16m		
Diâmetro do tórax:	0,26m		
Diâmetro do abdômen:	0,35m		
Diâmetro do lombo:	0,24m		

Dimensão na Cava:

Profundidade em relação a cabeça:	0,73m
Profundidade em relação ao abdômen:	0,56m
Profundidade em relação ao Lombo:	0,64 m
Profundidade da Barras:	0,20 m e 0,25 m

Distância da carcaça de suíno em relação às paredes da cova



ANEXO 2:

Análise de solo do SCGF-UnB



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA - UCB ENSAIO DE GRANULOMETRIA NBR 7181/82

Amostra: Superfície até 0,50m				Local: SCGF-UnB				
Furo:		Cota:		Operador: Leidiane		Data:		
Umidade higroscópica								
Capsula N°	24	321	13	Massa da amostra seca ao ar M_t (g) =		0.00		
tara (g)	18.37	14.06	18.33	Massa total da amostra seca M_s (g) =		0.00		
tara + solo	28.37	24.06	28.33	Massa Específica dos Grãos (g/cm³) =		2.28		
tara + sólidos	26.67	22.35	26.63	cápsula utilizada p/ lavagem pen. fino		241.00		
Umidade (%)	20.48	20.63	20.48	cápsula utilizada p/ lavagem pen. grosso				
		w (%)	20.53					
SEDIMENTAÇÃO								
Massa do material úmido submetido à sedimentação M_h (g) =				122.87	N° Densímetro			44884
tempo	tempo (s)	temp. (°C)	L (g/cm³)	Ld (g/cm³)	a (cm)	QS (%)	d (mm)	
15 s	15	28.6	1.035	0.9899	10.12	78.85	0.0941	
30 s	30	28.6	1.035	0.9899	10.12	78.85	0.0666	
1 min.	60	28.6	1.035	0.9899	10.20	77.97	0.0473	
2 min.	120	28.6	1.034	0.9899	10.29	77.10	0.0336	
4 min.	240	28.8	1.034	0.9898	9.52	77.17	0.0228	
8 min.	480	28.8	1.034	0.9898	9.52	77.17	0.0161	
15 min.	900	29.0	1.034	0.9898	9.52	77.24	0.0118	
30 min.	1800	29.0	1.033	0.9898	9.69	75.49	0.0084	
1 h	3600	29.5	1.032	0.9897	9.86	73.91	0.0060	
2 h	7200	29.0	1.031	0.9898	10.03	72.00	0.0043	
4 h	14400	29.0	1.030	0.9898	10.20	70.25	0.0030	
8 h	28800	26.5	1.030	0.9903	10.20	69.32	0.0022	
24 h	86400	29.8	1.028	0.9897	10.53	67.00	0.0013	
Peneiramento Fino								
Peneira	Abertura(mm)	Massa das Peneiras (g)	Massa das Peneiras + solo retido(g)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% passante	% retida	
16	1.19	383.35	383.60	0.25	0.25	99.8	0.2	
30	0.59	367.14	367.90	0.76	1.01	99.0	1.0	

40	0.42	338.10	338.83	0.73	1.74	98.3	1.7
60	0.25	309.20	310.53	1.33	3.07	97.0	3.0
100	0.149	344.45	345.41	0.96	4.03	96.0	4.0
200	0.075	285.52	286.36	0.84	4.87	95.2	4.8

Peneiramento Grosso							
Peneira	Abertura(mm)	Peso das Peneiras (g)	Massa das Peneiras + solo retido(g)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% passante	% retida
2"	50.8			0.00	0.00	100.0	0.0
1 1/2"	38.1			0.00	0.00	100.0	0.0
1"	25.4			0.00	0.00	100.0	0.0
3/4"	19.1			0.00	0.00	100.0	0.0
3/8"	9.5			0.00	0.00	100.0	0.0
4	4.76			0.00	0.00	100.0	0.0
10	2.00			0.00	0.00	100.0	0.0
Capsula N°	24	321	13	Massa da amostra seca ao ar M_t (g) =			0.00
tara (g)	18.37	14.06	18.33	Massa total da amostra seca M_s (g) =			0.00
tara + solo	28.37	24.06	28.33	Massa Específica dos Grãos (g/cm³) =			2.28
tara + sólidos	26.67	22.35	26.63	cápsula utilizada p/ lavagem pen. fino			241.00
Umidade (%)	20.48	20.63	20.48	cápsula utilizada p/ lavagem pen. grosso			
		w (%)	20.53				

SEDIMENTAÇÃO								
Massa do material úmido submetido à sedimentação M_h (g)				49.269	N° Densímetro			73207
		=						
tempo	tempo (s)	temp. (°C)	L (g/cm³)	Ld (g/cm³)	a (cm)	QS (%)	d (mm)	
15 s	15	26.0	1.0250	1.0014	13.69	50.73	0.1070	
30 s	30	26.0	1.0250	1.0014	13.69	50.73	0.0757	
1 min.	60	26.0	1.0250	1.0014	13.69	50.73	0.0535	
2 min.	120	26.0	1.0250	1.0014	13.69	50.73	0.0378	
4 min.	240	26.0	1.0250	1.0014	12.99	50.73	0.0261	
8 min.	480	26.0	1.0250	1.0014	12.99	50.73	0.0184	
15 min.	900	26.0	1.0245	1.0014	13.11	49.65	0.0135	
30 min.	1800	26.5	1.0240	1.0012	13.23	48.95	0.0095	
1 h	3600	26.5	1.0235	1.0012	13.34	47.87	0.0067	
2 h	7200	26.8	1.0230	1.0011	13.46	46.98	0.0048	
4 h	14400	25.5	1.0230	1.0015	13.46	46.08	0.0035	
8 h	28800							
24 h	86400	28.5	1.0200	1.0005	14.16	41.90	0.0015	

Peneiramento Fino							
-------------------	--	--	--	--	--	--	--

Peneira	Abertura(mm)	Massa das Peneiras (g)	Massa das Peneiras + solo retido(g)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% passante	% retida
16	1.19	383.35	383.60	0.25	0.25	99.8	0.2
30	0.59	367.14	367.90	0.76	1.01	99.0	1.0
40	0.42	338.10	338.83	0.73	1.74	98.3	1.7
60	0.25	309.20	310.53	1.33	3.07	97.0	3.0
100	0.149	344.45	345.41	0.96	4.03	96.0	4.0
200	0.075	285.52	286.36	0.84	4.87	95.2	4.8

Peneiramento Grosso							
Peneira	Abertura(mm)	Peso das Peneiras (g)	Massa das Peneiras + solo retido(g)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% passante	% retida
2"	50.8			0.00	0.00	100.0	0.0
1 1/2"	38.1			0.00	0.00	100.0	0.0
1"	25.4			0.00	0.00	100.0	0.0
3/4"	19.1			0.00	0.00	100.0	0.0
3/8"	9.5			0.00	0.00	100.0	0.0
4	4.76			0.00	0.00	100.0	0.0
10	2.00			0.00	0.00	100.0	0.0



Laboratório de Geotecnia Ambiental - LAGAM

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA - UCB
 ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS NBR6508/84

Amostra: Superfície até 0,50m				Local:			
Furo:		Cota:		Operador: Leidiane		Data: 06/07/2016	
Umidade higroscópica				Temperaturas °C		N° dos Balões	
Capsula N°	24	321	13			Balão: 02	Balão: 07
tara (g)	18.37	14.06	18.33	Gargalo	30.00	31.00	30.00
tara + solo	28.37	24.06	28.33	Meio	30.00	31.00	30.00
tara + sólidos	26.67	22.35	26.63	Fundo	31	31	31.00
Umidade (%)	20.48	20.63	20.48	Média T°C	30.33	31.00	30.33
		w (%)	20.53				

Dados da Massa Específica dos Grãos # 4,76mm			
	139	32	276
Nº dos Balões	2	7	8
Massa do solo (M1, g)	30.02	30.01	30.01
Balão+água+solo (M2, g)	662.1	664.0	661.9
Balão+água (M3, g)	646.6	650.2	647.7
Média das T°C	30.33	31.00	30.33
(g/cm³)	2.66	2.24	2.32
Média (g/cm³)			2.28



Laboratório de Geotecnia Ambiental - LAGAM

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA - UCB
ENSAIO DE GRANULOMETRIA NBR 7181/82

Amostra:		0,50m á 1m		Local: SCGF-UnB			
Furo:		Cota:		Operador: Leidiane		Data:	
Umidade higroscópica							
Capsula Nº	22	33	404	Massa da amostra seca ao ar M_t (g) =		0.00	
tara (g)	13.91	18.30	14.13	Massa total da amostra seca M_s (g) =		0.00	
tara +solo	23.93	28.30	24.20	Massa Específica dos Grãos (g/cm³) =		2.34	
tara + sólidos	22.19	26.56	22.48	cápsula utilizada p/ lavagem pen. fino			
Umidade (%)	21.01	21.07	20.60	cápsula utilizada p/ lavagem pen. grosso			
		w (%)				20.89	
SEDIMENTAÇÃO							
				120.29		73207/09	
Massa do material úmido submetido à sedimentação M_h (g) =				Nº Densímetro			
tempo	tempo (s)	temp. (°C)	L (g/cm³)	Ld (g/cm³)	a (cm)	QS (%)	d (mm)
15 s	15	28.0	1.038	1.0007	10.65	63.52	0.0944
30 s	30	28.0	1.037	1.0007	10.88	63.76	0.0675
1 min.	60	28.0	1.037	1.0007	10.88	63.76	0.0477
2 min.	120	28.0	1.037	1.0007	10.88	63.76	0.0337
4 min.	240	28.0	1.036	1.0007	10.42	62.01	0.0233
8 min.	480	28.2	1.036	1.0006	10.53	61.26	0.0166
15 min.	900	28.4	1.035	1.0005	10.65	60.51	0.0122
30 min.	1800	28.5	1.034	1.0005	10.88	58.82	0.0087

1 h	3600	28.5	1.033	1.0005	11.12	57.07	0.0062
2 h	7200	29.0	1.032	1.0003	11.35	55.65	0.0044
4 h	14400	28.5	1.032	1.0005	11.35	55.31	0.0031
8 h	28800	26.0	1.032	1.0014	11.35	53.75	0.0023
24 h	86400	29.5	1.030	1.0001	11.94	51.60	0.0013

Peneiramento Fino							
Peneira	Abertura(m m)	Massa das Peneiras (g)	Massa das Peneiras + solo retido(g)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% passante	% retida
16	1.19	406.14	406.27	0.13	0.13	99.9	0.1
30	0.59	369.92	370.46	0.54	0.67	99.3	0.7
40	0.42	393.70	394.30	0.60	1.27	98.7	1.3
60	0.25	354.09	355.24	1.15	2.42	97.6	2.4
100	0.149	371.59	372.62	1.03	3.45	96.5	3.5
200	0.075	383.01	383.96	0.95	4.40	95.6	4.4

Peneiramento Grosso							
Peneira	Abertura(mm)	Peso das Peneiras (g)	Massa das Peneiras + solo retido(g)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% passante	% retida
2"	50.8			0.00	0.00	100.0	0.0
1 1/2"	38.1			0.00	0.00	100.0	0.0
1"	25.4			0.00	0.00	100.0	0.0
3/4"	19.1			0.00	0.00	100.0	0.0
3/8"	9.5			0.00	0.00	100.0	0.0
4	4.76			0.00	0.00	100.0	0.0
10	2.00			0.00	0.00	100.0	0.0

SEDIMENTAÇÃO								
Massa do material úmido submetido à sedimentação				53.59	Nº Densímetro			44884
M _h (g) =								
tempo	tempo (s)	temp. (°C)	L (g/cm³)	Ld (g/cm³)	a (cm)	QS (%)	d (mm)	
15 s	15	26.5	1.0280	0.9903	11.30	79.53	0.0950	
30 s	30	26.5	1.0275	0.9903	11.39	78.48	0.0674	
1 min.	60	26.5	1.0275	0.9903	11.39	78.48	0.0477	
2 min.	120	26.5	1.0275	0.9903	11.39	78.48	0.0337	
4 min.	240	26.5	1.0275	0.9903	10.62	78.48	0.0230	
8 min.	480	26.5	1.0275	0.9903	10.62	78.48	0.0163	
15 min.	900	26.5	1.0275	0.9903	10.62	78.48	0.0119	
30 min.	1800	27.0	1.0270	0.9902	10.70	77.66	0.0083	
1 h	3600	27.0	1.0270	0.9902	10.70	77.66	0.0059	
2 h	7200	27.0	1.0260	0.9902	10.87	75.55	0.0042	
4 h	14400	25.5	1.0260	0.9906	10.87	74.81	0.0030	
8 h	28800							
24 h	86400							

Peneiramento Fino

Peneira	Abertura(mm)	Massa das Peneiras (g)	Massa das Peneiras + solo retido(g)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% passante	% retida
16	1.19	406.21	406.27	0.06	0.06	99.9	0.1
30	0.59	369.90	370.27	0.37	0.43	99.6	0.4
40	0.42	319.31	319.72	0.41	0.84	99.2	0.8
60	0.25	309.19	310.14	0.95	1.79	98.2	1.8
100	0.149	344.38	345.18	0.80	2.59	97.4	2.6
200	0.075	304.41	305.17	0.76	3.35	96.6	3.4
Peneiramento Grosso							
Peneira	Abertura(mm)	Peso das Peneiras (g)	Massa das Peneiras + solo retido(g)	Solo retido(g)	Solo ret. acum.(g)	% passante	% retida
2"	50.8			0.00	0.00	100.0	0.0
1 1/2"	38.1			0.00	0.00	100.0	0.0
1"	25.4			0.00	0.00	100.0	0.0
3/4"	19.1			0.00	0.00	100.0	0.0
3/8"	9.5			0.00	0.00	100.0	0.0
4	4.76			0.00	0.00	100.0	0.0
10	2.00			0.00	0.00	100.0	0.0



Laboratório de Geotecnia Ambiental - LAGAM

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA - UCB
ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS NBR6508/84

Amostra:	Superfície até 0,50m			Local:			
Furo:	Cota:			Operador:	Leidiane	Data:	06/07/2016
Umidade higroscópica				Temperaturas °C	N° dos Balões		
Capsula N°	22	33	404		Balão: 16	Balão: 15	Balão: 11
tara (g)	13.91	18.30	14.13	Gargalo	30.00	30.00	30.00
tara + solo	23.93	28.30	24.20	Meio	30.00	30.00	30.00
tara + sólidos	22.19	26.56	22.48	Fundo	31	31	31.00
Umidade (%)	21.01	21.07	20.60	Média T°C	30.33	30.33	30.33
		w (%)	20.89				

Dados da Massa Específica dos Grãos # 4,76mm			
	376	262	306
N° dos Balões	16	15	11
Massa do solo (M1, g)	30.03	30.12	30.07
Balão+água+solo (M2, g)	675.9	704.1	671.3
Balão+água (M3, g)	661.6	689.7	657.2
Média das T°C	30.33	30.33	30.33
(g/cm³)	2.34	2.35	
Média (g/cm³)			2.34

Curva Granulométrica do solo do SCGF-UnB

