

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

**APLICAÇÃO DE SONDAGEM ELÉTRICA E GPR
NO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO
NO MUNICÍPIO DE BELÉM – PA**

Dissertação de mestrado apresentada por
ANTÔNIO VINÍCIUS CORRÊA BARBOSA



Fevereiro - 2000

Belém



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**APLICAÇÃO DE SONDAGEM ELÉTRICA E GPR
NO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO
NO MUNICÍPIO DE BELÉM - PA**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
ANTÔNIO VINÍCIUS CORRÊA BARBOSA**

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

Data de aprovação :

COMITÊ DE TESE:

Dr. Om Prakash Verma (Orientador)

Dr. Salim H. Fraiha Neto (Coorientador)

Dr. Fábio Taioli

BELÉM

2000

À minha mãe e
minhas irmãs.

Àqueles que dedicam
sua vida à pesquisa
e novas descobertas.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Om P. Verma - UFPa, pela ajuda, e principalmente por ter assumido comigo este desafio.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Salim H. Fraiha Neto - UFPa, pela grande ajuda que me foi fornecida na áreas da geotecnia, através de materiais e conversas constantes.

Ao Prof. Dr. Fábio Taioli – USP, pela imensa colaboração no envio de materiais e sugestões quanto ao uso do *GPR*. Por ter aceito participar da banca examinadora e pela disponibilidade para a correção e compreensão ao prazo de entrega.

Ao Prof. Dr. Luiz Rijo - UFPa, pelos programas computacionais fornecidos para a interpretação das *SEVs*.

Ao Prof. Dr. José Gouvêa Luiz – UFPa, pela grande ajuda fornecida na interpretação do perfil de *GPR*.

À Prof. Benaia Vieira – UFPa, pelas constantes conversas , sugestões, incentivos e auxílios fornecidos, referentes a questão ambiental.

À Prof. Lúcia Maria Costa e Silva - UFPa, pelas constantes sugestões e auxílios na interpretação dos dados de *SEV*.

Ao Prof. João Augusto Barradas – CEFET – Pa, sempre estando disposto a auxiliar quanto ao uso do equipamento *GPR*.

Ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará, responsável pelo meu aprimoramento.

Aos funcionários do Curso de Geofísica, pelo apoio e cooperação, especialmente a secretária do curso Bene pelas constantes ajudas e momentos de descontração.

A Paulo Magalhães, Alberto e Álvaro pelo apoio técnico fornecido.

Ao bibliotecário Hélio braga Martins pela revisão dos textos e normas de editoração.

Ao amigo do curso Ronaldo, pela constante troca de informações e auxílio na coleta de dados das *SEVs* e *GPR*.

Ao grande amigo do curso João Augusto Neto, pelo companheirismo e compreensão nos bons e maus momentos.

Aos amigos do curso Luiz, Syme, Lindenberg, Valdívia, Marcos, Valéria, Fábio, Pedro, e todos aqueles que estiveram próximos nos momentos de descontração.

Aos meus familiares a quem eu amo tanto, especialmente a minha mãe Lourdes, e irmãs Marly e Luciana, nas horas de alegria e nos momentos de dificuldades, pelo permanente carinho e estímulo para comigo dedicados durante todo esse longo percurso, obrigado por tudo.

Ao grande amigo Idnir Júnior pelo companheirismo, amizade e compreensão dedicados todos esses anos.

Finalmente à Deus por ter me dado inspiração e força em nunca desistir nos momentos de dificuldade na conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

	p.
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1- INTRODUÇÃO	3
1.1- ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	5
1.2- DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	5
1.3- OBJETIVO.....	7
2- GEOLOGIA DA ÁREA	10
2.1- LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	10
2.2- GEOLOGIA.....	10
2.2.1- Geologia Regional.....	10
2.2.2- Geologia Local.....	13
3- ESTUDOS GEOTÉCNICOS	16
3.1- INTRODUÇÃO.....	16
3.2- SONDAGENS A PERCUSSÃO - <i>SPT</i>	17
3.2.1- Instrumentação e operação de campo.....	18
4- MÉTODOS GEOFÍSICOS EMPREGADOS	23
4.1- MÉTODO ELETRORRESISTIVO.....	23
4.1.1- Introdução.....	23
4.1.2- Fundamentos teóricos.....	25
4.1.3- Sondagem Elétrica Vertical.....	27
4.1.4- Instrumentação e operação de campo.....	28
4.2- RADAR DE PENETRAÇÃO DE SOLO - <i>GPR</i>	32

4.2.1- Introdução.....	32
4.2.2- Fundamentos Teóricos.....	34
4.2.3- Instrumentação e operação de campo.....	41
5- INTERPRETAÇÃO DOS DADOS COLETADOS.....	43
5.1- METODOLOGIA QUANTITATIVA PARA INTERPRETAÇÃO DAS SEV'S.....	43
5.1.1 Método Direto.....	43
5.1.2 Método Inverso.....	46
5.2- DISCUSSÃO DE DADOS DE GPR.....	49
5.2.1 – Interpretação Gráfica.....	50
5.2.2 – Análise Quantitativa.....	51
5.3- DISCUSSÃO DOS DADOS INTERPRETADOS.....	52
5.3.1- Dados de <i>SPTs</i>	52
5.3.2- Dados de <i>SEVs</i>	55
5.3.3 Seção Geométrica.....	57
5.3.3.1 Seção Geométrica <i>AB</i>	57
5.3.3.2 Seção Geométrica <i>CD</i>	59
5.3.3.3 Seção Geométrica <i>EF</i>	60
5.3.4 - Mapa 3D da Camada Rija.....	61
5.3.5- Dados de GPR.....	65
6- CONCLUSÕES E SUGESTÕES	70
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	72
ANEXO A – SONDA GENS A PERCUSSÃO COM ENSAIO SPT.....	79
ANEXO B – SEVs INTERPRETADAS.....	91
ANEXO C – PERFIL DE GPR.....	100

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Ocorrência de sedimentos litificados a grandes profundidades, com acentuado aumento no <i>SPT</i> das sondagens (Oliveira Filho, 1985).....	06
Figura 2 – Mapa de localização das sondagem <i>SPT</i> , e da área escolhida para os ensaios geofísicos.....	09
Figura 2 – Mapa geológico da área região de Belém (baseado em Farias <i>et. al.</i> 1992).....	12
Figura 4 – Diagrama esquemático de Sondagem a percussão com circulação de água.....	18
Figura 5 – Tipos de trados freqüentemente utilizados na investigação geológico-geotécnica (ABGE, 1980).....	18
Figura 6 – (a) Trépano de sondagem para a circulação de água e perfuração (b) Barrilete amostrador usado para execução do <i>SPT</i>	19
Figura 7 – Linha de eletrodos na superfície de terreno homogêneo e isotrópico.....	23
Figura 8 – Arranjo Schlumberger colinear simétrico.....	27
Figura 9 – Localização das Sondagens Elétricas Verticais e do perfil de <i>GPR</i> realizado...30	
Figura 10 – Esquema da perda do sinal da fonte transmissora (Reynolds, 1997).....	35
Figura 11 – Reflexão e refração de um sinal de georadar ao atingir a interface de separação de dois meios com propriedades elétricas diferentes.....	37
Figura 12 – Dados de <i>GPR</i> sendo coletados (<i>S</i> é a separação entre as antenas transmissora e receptora; Δx é o espaçamento entre os pontos de medição).....	39
Figura 13 – Representação esquemática de uma seção exibindo os traços oriundos de reflexões detectadas na antena receptora a intervalos Δx	40
Figura 14 – Diagrama de um sistema típico <i>GPR</i> , Davis & Annan (1989).....	42
Figura 15 – Perfil longitudinal de sondagem à Rua 9 de Janeiro entre Antônio Barreto e Oliveira Belo, dados de <i>SPT</i> (ANEXO A).....	54

Figura 16 – Seção Geométrica AB, baseada na interpretação das <i>SEVs</i> 18, 12, 11, 10, 09, 08 e 13.....	58
Figura 17 – Seção Geométrica CD, baseada na interpretação das <i>SEVs</i> 05, 06, 07, 04, 10 e 16.....	59
Figura 18 – Seção Geométrica EF, baseada na interpretação das <i>SEVs</i> 23, 01, 02, 03 e 09.....	60
Figura 19 – mapa 3D da superfície do terreno, mostrando a localização dos canais; valores de elevação em metros.....	62
Figura 20 – Mapa de contorno da superfície do terreno; valores de elevação em metros...62	
Figura 21 – Mapa 3D do topo da camada rija de maior resistividade elétrica, profundidade em relação a superfície do terreno.....	63
Figura 22 – Mapa de contorno do topo da camada de maior resistividade elétrica.....	64
Figura 23 – Seção de radar obtida à Trav. 9 de janeiro. ESC. HORIZONTAL: 1:3008,5..	66
Figura 24.– Seção de radar após a correção do tempo zero. ESC. HORIZONTAL: 1:3008,5.....	67
Figura 25 – Seção de radar após filtragem dos dados. ESC. HORIZONTAL: 1: 3008,5...68	
Figura 26 – Seção de radar após a eliminação da hipérbole. ESC. HORIZONTAL: 1:3008,5.....	69

TABELAS

Tabela 1 – Principais aplicações dos métodos geofísicos na Geologia de Engenharia (Souza 1988, Silva 1993, Lyomasa 1996).....	4
Tabela 2 – Coluna estratigráfica da Região Metropolitana de Belém. Pt= profundidade do topo, E=espessura do pacote sedimentar (Costa no prelo).....	15
Tabela 3 – Boletim de Campo.....	22
Tabela 4 – Tabela usada na coleta de dados de campo.....	29
Tabela 5 – Série de aplicações do GPR (Reynolds 1991).....	33

Tabela 6 – Valores aproximados da constante dielétrica (k), condutividade elétrica (σ), velocidade (V) e atenuação (α), dados de Ulriksen (1982).....	41
Tabela 7 – Resultado da interpretação quantitativa das 23 SEVs.....	55
Tabela 8 – Modelo geoeletrico–litológico de subsuperficie proposto para a área estudada.	57

RESUMO

Para a construção de edifícios o engenheiro necessita de informações geotécnicas do subsolo de rasa e média profundidades para projetar fundações. Com a implantação do projeto de Macrodrenagem da Bacia do Una de Belém, áreas que foram beneficiadas terão, num futuro próximo, um grande potencial para a ocupação e a construção de edifícios devido sua localização privilegiada.

Por isso, essa área foi escolhida para investigação geofísica com o objetivo de mapeamento das camadas litológicas e conseqüentemente o topo da camada rija, onde geralmente se posicionam as fundações prediais profundas. Os métodos geofísicos utilizados foram de sondagem elétrica com arranjo Schlumberger, na determinação da resistividade aparente (ρ_a) em subsuperfície, e um eletromagnético, o radar de penetração no solo, através de um perfil, como uma ferramenta auxiliar das informações.

As curvas de resistividade aparente obtidas com as sondagens Schlumberger foram processadas por inversão considerando um modelo de camadas planas, horizontais, homogêneas e isotrópicas e sua interpretação foi auxiliada por informações litológicas obtidas por sondagens a percussão com ensaio *SPT*. Assim, uma vez determinadas as variações de resistividades, foram confeccionadas três seções geoeletricas-litológicas e um mapa de contorno de profundidade do topo da camada rija na área estudada, com a finalidade de auxiliar o engenheiro em projetos de prédios nesta área.

ABSTRACT

Shallow to medium depth subsurface geotechnical-lithological information is very important to project the foundation of civil engineering structures. Increasing demand of the residential and commercial buildings in Belém requires areas for expansion the urban region. Areas around the Macrodrenage project of Una Basin fulfill the conditions for this kind of requirement. Therefore, this area is chosen for the geophysical investigation to obtain geotechnical information of sub-soils. In the area studied is encountered a geotechnically rigid sand-sandstone bed underlying a soft organic clay zone. This bed is considered suitable for laying foundations by civil engineers. The depth to the top of this layer has been mapped using mainly geotechnical soundings, and Ground Penetrating Radar (*GPR*) profile. In the quantitative interpretation of geotechnical sounding known geotechnical-lithological information obtained through Standard Penetrating Tests (*SPT*) were taken into consideration. Finally, presented are the geotechnical-lithological sections, and 2D and 3D contour maps of the depth to the top of the rigid layer in studied area in order to help civil engineers project foundations.

1- INTRODUÇÃO

Relatos históricos comprovam que o uso inadequado do solo pode acarretar em sérios problemas para o homem no seu *habitat*, como deslizamentos de terras, erosões subterrâneas, recalques de fundações, entre outros. Dessa forma, através das ciências da terra, é que se tentou traçar um estudo mais específico para solucionar e evitar tais problemas.

O estudo do solo vem sendo largamente ampliado em busca do conhecimento de suas características físicas, bem como na identificação de seu comportamento mecânico através de parâmetros geotécnicos específicos sobre uma determinada área ou região em estudo. Para tal é necessário também o conhecimento geológico dessa região.

A Tabela 1 mostra as diferentes aplicações dos métodos geofísicos, de acordo com o problema de subsuperfície que se deseja investigar. Dados geofísicos coletados, como auxiliar no mapeamento de camadas, na caracterização de litologias, assim como estratigrafia geológica e geotécnica, trazem informações de subsuperfície que podem ser interpretadas e confeccionadas em forma de seções bi e tri - dimensionais. Ou seja, através da geofísica em conjunto com a geotecnia, procura-se contribuir na busca de soluções para os problemas referentes à engenharia de fundações.

Tabela 1 – Principais aplicações dos métodos geofísicos na Geologia de Engenharia (Souza 1988, Silva 1993, Lyomasa 1996).

APLICAÇÃO	SÍSMICA DE REFRAÇÃO	SÍSMICA DE REFLEXÃO TERRESTRE	PERFILAGEM SÍSMICA CONTÍNUA	SONOGRAFIA	CROSS-HOLE	TOMOGRAFIA	SONDAGEM ELÉTRICA (SEV)	RADAR (GPR)	CAMINHAMENTO ELÉTRICO	POLARIZAÇÃO INDUZIDA	POTENCIAL ESPÔNTANEO
Análise de escorregamentos	2	2	4	4	0	0	0	2	1	0	3
Caracterização de litologias	3	2	2	3	3	3	4	3	3	3	2
Cubagem de depósitos minerais	2	2	4	3	0	0	2	2	2	3	0
Cubagem para material de escavação	4	3	4	0	0	0	3	2	1	0	0
Determinação da densidade de rochas	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Determinação da profundidade do topo rochoso	4	3	4	0	2	2	4	4	2	2	1
Determinação da direção do fluxo d'água	0	0	0	0	0	0	2	1	3	3	4
Determinação do nível d'água	3	2	0	0	0	0	4	3	4	2	2
Determinação de cavidades	1	2	0	0	3	3	2	3	4	3	3
Determinação de poluentes	0	0	1	1	0	0	0	3	1	2	4
Estratigrafia geológica e geotécnica	4	3	4	0	2	4	3	4	3	2	1
Localização de paleocanais	2	3	4	3	0	0	1	3	2	1	1
Localização de zonas de falhas	4	2	3	3	1	3	2	3	4	3	2
Mapeamento de contatos geológicos	4	2	4	4	3	3	4	2	3	2	1
Mapeamento de diques	4	3	3	3	1	1	3	2	4	2	1
Prospecção de material de construção	4	3	4	4	1	0	2	2	2	1	0
Zonas de faturamentos	3	2	2	2	3	4	2	3	4	3	2

0 - não aplicável; 1 - uso restrito; 2 - usado, porém com algumas limitações; 3 - excelente potencial, com algumas restrições ou aplicações em desenvolvimento; 4 - larga aplicação (bem desenvolvido)

1.1- ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho se caracteriza por ser de ordem prática, envolvendo a aplicação de um método eletrorresistivo - sondagem elétrica vertical, bem como um método eletromagnético - radar de penetração no solo. Assim, foi dividida em 6 capítulos:

No CAPÍTULO 1 é apresentada a motivação do trabalho, seu objetivo e sua organização.

No CAPÍTULO 2 está descrita a localização da área metropolitana de Belém, juntamente com informações da geologia regional e local.

No CAPÍTULO descrição das sondagem a percussão acompanhada de ensaio *SPT* e dos equipamentos utilizados, realizados por grupos voltados à geotecnia e empresas de fundações.

No CAPÍTULO 4 são apresentados os métodos geofísicos empregados, SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (*SEV*) e o RADAR PENETRANTE NO SOLO (*GPR*), juntamente com o fundamento teórico, instrumentação e operação de campo, de cada método.

No CAPÍTULO 5 está a metodologia para a interpretação dos dados coletados para ambos os métodos e apresentação dos resultados em seções bi e tri dimensionais.

Finalmente no CAPÍTULO 6 estão as conclusões referentes à dissertação, como também sugestões para futuros trabalhos voltados à geotecnia que poderão ser executados.

1.2- DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A região metropolitana de Belém (*RMB*) está situada às margens da Baía do Guajará. A faixa mais superficial de seu perfil geológico é composta de camadas de solos transportados, de formação aluvionar.

Nas regiões que apresentam cotas mais elevadas (8 a 15 m acima do nível do mar). O perfil característico consiste de camada superficial de silte arenoso de cor amarela (conhecido popularmente como "barro amarelo"), com espessura que pode variar de 1 a 8 m; subjacente a ela encontram-se camadas alternadas de argila rija a dura e areia medianamente compacta a

compacta. As fundações são, na sua grande maioria, constituídas por sapatas e/ou tubulões a céu aberto (fundações rasas).

Em torno de 40% da área urbana de Belém observa-se a presença de canais e igarapés, que correspondem aproximadamente à cota de 3 m abaixo do nível do mar, conhecidas como de "baixada de Belém". É observada nesta região a existência de uma camada superficial de argila siltosa ou argila silto-arenosa, com matéria orgânica, de consistência muito mole. A espessura da camada argilosa orgânica é variável, podendo atingir até 60 m, embora na grande maioria dos casos, apresenta-se entre 6 e 20 metros (Alencar Júnior. & Santos Filho, 1993). Subjacente a esse estrato argiloso é freqüente encontrar-se uma camada resistente de areia siltosa ou argila silto-arenosa (de coloração em tons cinza claro, amarelo e vermelho, indicando a presença de óxido de ferro), de pouca espessura, podendo haver a formação de arenito ferruginoso. Abaixo desse material resistente, normalmente encontra-se novamente argila de consistência mole a rija (em alguns caso até argila orgânica). Nessas áreas as fundações geralmente atravessam o estrato argiloso até encontrar uma camada de maior resistência mecânica (Figura 1).

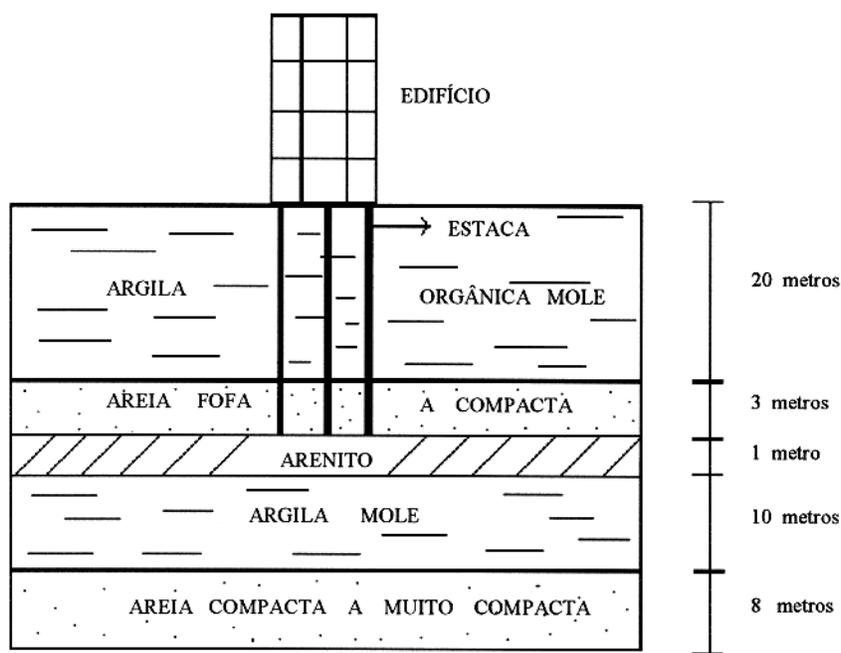


Figura 1 - Ocorrência de sedimentos litificados a grandes profundidades, com acentuado aumento nos ensaios SPT (Oliveira Filho, 1985).

O avançado estágio de ocupação da região metropolitana de Belém torna imprescindível um melhor conhecimento do meio físico sobre o qual estão assentadas as várias atividades humanas.

1.3 - OBJETIVO

Devido à implantação do projeto de macrodrenagem nas zonas de baixadas de Belém, surgirá um maior interesse de ocupação e especulação imobiliária, devido a sua localização privilegiada na *RMB*, fato já ocorrido anteriormente em áreas que tiveram seus igarapés drenados, como por exemplo o Igarapé das Armas na atual Avenida Visconde de Souza Franco, atualmente um local bem valorizado, que apresenta várias edificações.

A determinação das características de compressibilidade e resistência de um solo é, em geral, a maior preocupação que um projetista geotécnico tem na previsão de recalques e análise de estabilidade de fundações prediais. No momento, a previsão de recalques de uma obra de engenharia civil executada sobre um perfil similar ao que foi esquematizado na Figura 1, é feita tomando-se como base os parâmetros de compressibilidade obtidos nas camadas superiores de argila e na camada de areia, que a principal base de suporte das fundações. Nesta previsão, o possível adensamento da camada de argila abaixo do estrato arenoso não é considerado, pois não se tem constatado, a nível de fundações isoladas de um prédio, a influência desta camada nos recalques.

A quantidade de obras que serão construídas sobre esse perfil típico, passará a criar um carregamento numa macro escala, o que torna importante verificar o possível carregamento e deformação na camada de argila inferior. Como consequência disto, o peso próprio das camadas sobrejacentes somados ao sobrecarregamento das construções, faria com que a camada mais resistente de areia trabalhasse como um fundação do tipo *radier*, comprimindo a camada de argila inferior.

Sampaio Júnior (1995) sugere a realização do mapeamento geotécnico de todo o perfil estratigráfico onde se encontra o estrato argiloso, abaixo da camada de areia, para que se possa fazer uma análise de recalques de todo o perfil.

Como agravante, observa-se uma grande variação local na litologia, mesmo em profundidades rasas, nas diferentes regiões de Belém. Assim, a informação geotécnica obtida num ponto por uma sondagem não pode ser estendida para outro local, mesmo que não muito distante.

O objetivo dessa dissertação é mapear, numa das áreas de “baixada de Belém”, a distribuição de camada de maior resistência mecânica propícia à fundação de edifícios. Neste sentido, auxiliar para que os projetistas geotécnicos possam ter uma visão global da área em estudo, fornecendo-lhes a profundidade aproximada da camada de maior resistência mecânica, ajudando-os na escolha do tipo de fundação, e emprego das técnicas de execução. Pode-se também fornecer informações em termos de planejamento urbano e gestão ambiental, que, basicamente, consiste na estimulação de procedimentos técnicos e administrativos para assegurar a melhoria e o aprimoramento contínuo do desempenho de um empreendimento.

O mapeamento da camada de maior resistência mecânica será realizado através dos métodos geofísicos: um de eletrorresistividade – técnica de sondagem elétrica vertical (*SEV*), com arranjo Schlumberger, e como experimento auxiliar foi utilizado um método eletromagnético – radar de penetração no solo (*GPR*). Para auxiliar na interpretação das *SEVs* e do perfil de *GPR* serão utilizadas informações tátil- visual referentes a profundidade das camadas de diferentes litologias, obtidas através de Sondagens a Percussão acompanhada de ensaios *SPT in situ*.

Os dados de *GPR* serão analisados visando a identificação do limite de investigação no subsolo em áreas de baixadas, bem como a qualidade das informações fornecidas por esse método, e de sua contribuição no mapeamento geotécnico.

A área escolhida para aplicação desta técnica geofísica de investigação está ilustrada na Figura 2, presente também as sondagens a percussão com método *SPT*, que atualmente corresponde ao maior acervo disponível (Costa e Veiga, 1997), alguns dos ensaios *SPT* estão descritos no ANEXO A. A escolha se deu por essa área apresentar condições satisfatórias à realização de ensaios geofísicos, pois a sondagem elétrica vertical necessita de um local sem pavimentação asfáltica onde possam ser fixados os eletrodos no terreno.

2 – GEOLOGIA DA ÁREA

2.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A região metropolitana de Belém, no Estado do Pará, está localizada no quadrante entre os paralelos 1° 10' S e 1° 30' S e os meridianos 48° 25' W e 48° 35' W a uma altitude média de 15 m em relação ao nível do mar. Faz limite ao Sul com o rio Guamá, ao Norte com a baía do Marajó até o extremo oriental da ilha do Mosqueiro e a Oeste com as baías do Marajó, Guajará e Santo Antônio.

O acesso a Belém é feito, partindo-se do extremo nordeste do Estado do Pará, pela rodovia federal BR-316, daí pela avenida Almirante Barroso ou Pedro Álvares Cabral rumo ao centro ou à periferia da cidade, através das inúmeras ruas, travessas e avenidas que levam a seus bairros. Acesso também é realizado por rios que banham a cidade.

2.2 - GEOLOGIA

2.2.1- Geologia regional

A região Nordeste do Estado do Pará tem sua geologia representada por unidades do Pré-Cambriano, Eo-Paleozóico e Cenozóico (Arantes *et al*, 1972).

Geologicamente essa região pertence à era Cenozóica representada por períodos Terciário e Quaternário. A parte inferior do período Terciário é constituído pela Formação Pirabas da época Oligoceno-Mioceno e a parte superior por sedimentos Barreiras da época Mioceno-Plioceno.

A Formação Pirabas é constituída por calcários variados às vezes intercalados por folhelhos cinza-esverdeados e margas, com abundante conteúdo fóssil. Os sedimentos Barreiras

são solidificados que constituem argilas, silte, arenitos e, ocasionalmente, conglomerados de cores variegadas e normalmente ferruginizados.

O período Quaternário é representado por épocas, parte inferior – Pleistoceno, e parte superior – Holoceno. A época Pleistoceno é formada por sedimentos Pós-Barreiras, que são sedimentos areno-argilosos e argila-arenosas, amarelados e esverdeados com grânulos de quartzo e arenito ferruginizado. Enquanto o Holoceno é formado por sedimentos atuais – areias quartzosas de granulometria fina à média distribuída na orla litorânea, leitos de rios e igarapés, cascalhos fluviais, argilas e siltes ligados a manguesais. Sendo que 65% da área total da região é coberta pela Formação Barreiras e acima desta estão sedimentos Pós-Barreiras que também inclui sedimentos terciários aluvionares holocênicos da faixa costeira (Farias *et al*, 1992).

As descrições da estratigrafia a seguir foram elaboradas a partir de dados de subsuperfície (amostras de calha) de Soares (1984) e Pontes (1998) e dos dados superficiais de Farias *et al*. (1992), sendo estes últimos autores referentes apenas aos sedimentos Barreiras, Pós-Barreiras e atuais, aflorantes na região de Belém e cujo mapa geológico é mostrado na Figura 3.

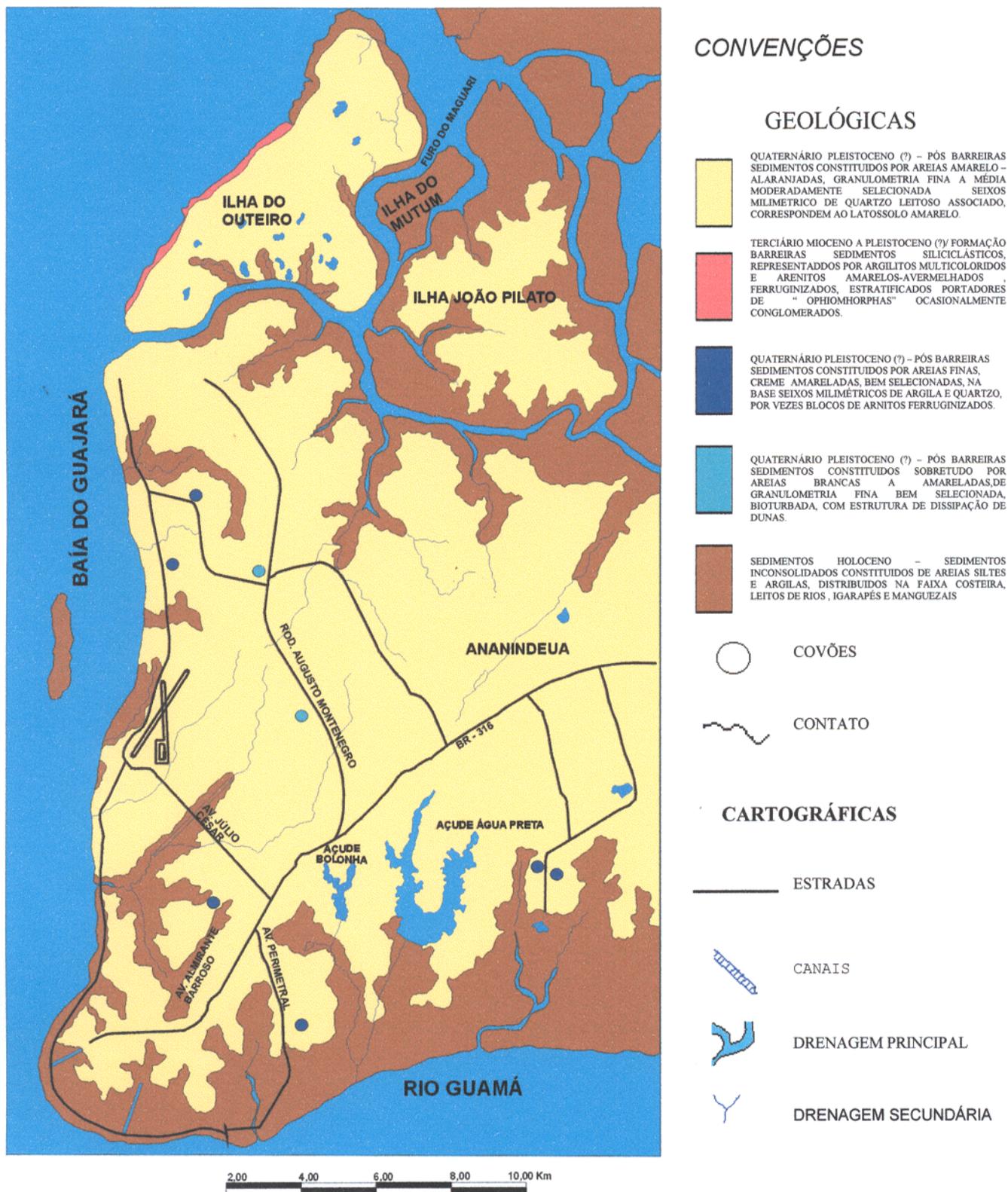


Figura 3 – Mapa geológico da área região de Belém (FARIAS *et. al.* 1992).

2.2.2 – Geologia local

Segundo Farias et al. (1992), na região metropolitana de Belém (*RMB*) as observações geológicas de subsuperfície indicaram três unidades litoestratigráficas: a) sedimentos continentais argilosos e arenosos; b) sedimentos inconsolidados sem estruturas aparentes; c) sedimentos aluvionares atuais e sub - atuais. Essas unidades recebem respectivamente as seguintes denominações: Formação Barreiras, Pós-Barreiras e Sedimentos Holocênicos.

A Formação Barreiras pertence ao Terciário e é representada por sedimentos continentais argilosos e conglomeráticos com níveis de arenitos ferruginosos, pouco consolidados, com estruturas primárias (estratificações) e conteúdo fossilífero vegetal. Essa formação foi subdividida em seis fácies distintas, a saber: fácies argilosa maciça, fácies conglomerática, fácies argilosa com laminação plano-paralela, fácies arenosa com estratificação cruzada sigmoidal, fácies arenosa com estratificação cruzada acalamada e fácies areno-argilosa maciça.

O Pós-Barreiras é representado por sedimentos arenosos que variam de alaranjados até totalmente brancos. Essa unidade foi subdividida em duas fácies arenitos ferruginosos e fácies arenitos diversos.

O Quaternário Recente ou Holoceno é representado por areia, siltes, argilas e cascalho, observados principalmente as margens dos rios e igarapés que drenam a região metropolitana de Belém. Os sedimentos Holocênicos compõem as baixadas inundáveis da região metropolitana de Belém, denominada por Mazzeo (1991) de níveis de várzea. Estas áreas, de sedimentação recente e de freqüente inundação, recebem o nome de “Baixadas de Belém” e compreendem as terras alagáveis situadas em cotas inferiores a 4 metros, perfazendo 2000 hectares da superfície total da *RMB*, ou seja, abrange 39,43 % dessa área, ocorrendo sobre ela a maioria dos assentamentos periféricos.

Em subsuperfície, a partir da análise de amostras coletadas em poços perfurados para captação de água subterrânea, foram identificadas as formações Barreiras e Pirabas.

A litologia da Formação Pirabas é composta por margas e calcários (micritos, bioclásticos, biohémicos e dolmicritos) intercalados com folhelhos cinza - esverdeados a negros, contendo vegetais piritizados. Arenitos calcíferos (“beach rocks”) já foram registrados nessa formação (Ferreira, 1982).

A Formação Pirabas está regionalmente sobreposta ao embasamento cristalino e à Formação Barreiras (Ferreira, 1982).

Na *RMB* o contato Barreiras – Pirabas foi reconhecido nas seguintes profundidades e locais: 76 m no poço nº 3 do Campus Universitário (Soares, 1984); 90 – 92 m no poço Amasa I, localizado no Distrito de Icoaraci (Lima Filho, 1985); 105 m no poço Comine 1, localizado a entrada da Vila de Icoaraci (Bahia, 1985); 94 m no poço localizado no Museu Emílio Goeldi (Chagas, 1990). Para estabelecerem os contatos Pirabas – Barreiras, os autores acima tomaram como referência o aparecimento de fósseis.

A Tabela 2 esquematiza a coluna estratigráfica para a *RMB*.

Tabela 2 - Coluna estratigráfica da Região Metropolitana de Belém. Pt= profundidade do topo, E=espessura do pacote sedimentar (Costa no prelo).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	PROFUNDIDADE	DESCRIÇÃO RESUMIDA
C E N O Z Ó I C A	Q U A T E R N Á R I O	Holoce- no	Sedimentos Recentes	Pt= 0m E= 0 a 70m	Depósitos de argilas, argilas siltosas e argilas arenosas orgânicas ou não associadas aos principais cursos d'água, as quais são intercaladas em vários locais por níveis arenosos na forma de camadas ou lentes. Esses materiais apresentam profundidades que variam, em geral, de 2 a 70m, a depender do curso d'água vinculado ao depósito. Os materiais finos apresentam altos teores de umidade e elevado índice de vazios. São materiais que tem baixa resistência ao cisalhamento e alta compressibilidade.
		Pleisto- ceno	Sedimentos Pós- Barreiras	Pt= 0 a 70 m E = 80 a 135m	- Horizonte de "Solo"- Cobertura Detrítica. Ocorre capeado por uma zona superficial de até 45 cm de espessura, de cor escura (acumulação de matéria orgânica), areno-argilosa, que suporta a vegetação atual, denominada na região de capa de covão; - Horizonte Ferruginoso é separado do Horizonte de Solo por uma <u>linha de seixos</u> , intermitente; formada por agregados resultantes do dismantelamento do Horizonte Ferruginoso, principalmente das fácies Concrecionário e Arenito Ferruginoso ou mesmo como desagregação dos elementos/manchas ferruginosas, endurecidas do topo do Horizonte Argiloso (fácies Argila Mosqueado); - Horizonte Argiloso ocorre logo abaixo do Horizonte Ferruginoso; é formado por uma espessa camada de argila que pode chegar até a 8m de espessura.
	T E R C I Á R I O	Mioceno	Barreiras		- Intercalações sedimentos siliciclásticos representados por argilitos, arenitos, comumente ferruginizados, com estratificações.
		Miocen/ Oligoceno	Formação Pirabas	Pt=80 a 135m E > 370m	Calcários estratificados ou não, margas e folhelhos.

3 – ESTUDOS GEOTÉCNICOS

3.1 – INTRODUÇÃO

Estudos do meio ambiente e obras de construção civil devem ser precedidos da caracterização geológico-geotécnica da área de interesse que indicarão: distribuição dos diversos materiais que compõem o local; técnicas mais adequadas para a investigação nos terrenos, parâmetros físicos dos materiais; e conseqüentemente, quando for o caso, a indicação do melhor local para o posicionamento das obras de engenharia civil. De início é sempre bom já se ter bem definidas as características geológicas da área, para orientar o projeto segundo as aptidões natural do local, propiciando a elaboração de um empreendimento harmônico com a natureza do terreno, econômico e seguro.

Os processos de investigação mecânica, métodos diretos, utilizados ultimamente nos estudos de Geologia de Engenharia no Brasil são praticamente os mesmos desde a época em que o país apresentou um grande desenvolvimento em sua infra-estrutura, ocorridos nas décadas de 60 e 70. Os métodos diretos estão relacionado com escavações realizadas para prospectar os maciços. Assim, é possível definir as características dos materiais ao longo da linha de perfuração como: descrevem-se testemunhos, variações litológicas, estruturas geológicas e as características geotécnicas dos materiais.

O mapeamento é um método de investigação que procura identificar as condições geológico-geotécnicas do terreno, caracterizando as diferentes unidades presentes na área e o seu comportamento, quando submetida a diferentes solicitações. Após o mapeamento geológico-geotécnico, são confeccionadas cartas geotécnicas, que é uma forma de representar as informações do terreno, tanto para obras civis como para subsidiar a elaboração de planos de uso e ocupação do solo.

3.2 – SONDAGEM A PERCUSSÃO COM ENSAIO *SPT*

A Sondagem a percussão com ensaio *SPT – Standard Penetration Test*, é o processo mais comum empregado na caracterização da cobertura terrosa dos terrenos naturais. No Brasil o ensaio *SPT* é muito usado, haja visto que as condições de intemperismo formam espessa e contínua cobertura de solo. Esse processo de investigação consiste na perfuração do terreno com amostragem da camada do solo atravessado.

Os equipamentos usados na execução da sondagem estão representados na Figura 4 e são:

- Tripé equipado com sarilho, conjunto de roldanas e cabos, servindo para a movimentação do peso, colocação do revestimento e tubo de lavagem;
- Tubo de revestimento em aço preto sem costura com diâmetro interno mínimo de 66.5 mm, embora possa ser necessária a utilização de tubos de 76.5 mm, 101.6 mm, 152.4 mm para manter a abertura do furo;
- Tubo de aço, para perfuração, com diâmetro nominal interno de 25 mm, diâmetro externo de 33.7 mm, para circulação de água e remoção de amostras;
- Mangueira de 1" (uma polegada);
- Peso de 140 libras (65 Kg) para cravação do revestimento e do barrilete amostrador, com forma cilíndrica ou prismática;
- Coxim de madeira dura, encaixando na parte inferior do martelo;
- Trado concha (cunha) com 10 mm de diâmetro e trado helicoidal (espiral) com diâmetro mínimo de 56 mm a máximo de 76 mm (Figura 5);
- Conjunto motor-bomba, com vazão mínima para uma polegada, para a circulação de água no avanço da perfuração;
- Trépano, ou peça de lavagem, fabricado em aço laminado em bisel e dotado de duas saídas laterais para água. A lâmina de trépano deve ser de 62 mm de largura e comprimento mínimo de 200 mm. É uma ferramenta de escavação (Figura 6 (a));
- Amostrador padrão, de diâmetro externo de 50,8 mm e interno de 34,5 mm. O amostrador é bipartido. A cabeça tem dois orifícios laterais para saída de água e ar, e contém interiormente uma válvula constituída por esfera de aço inoxidável (Figura 6 (b)).

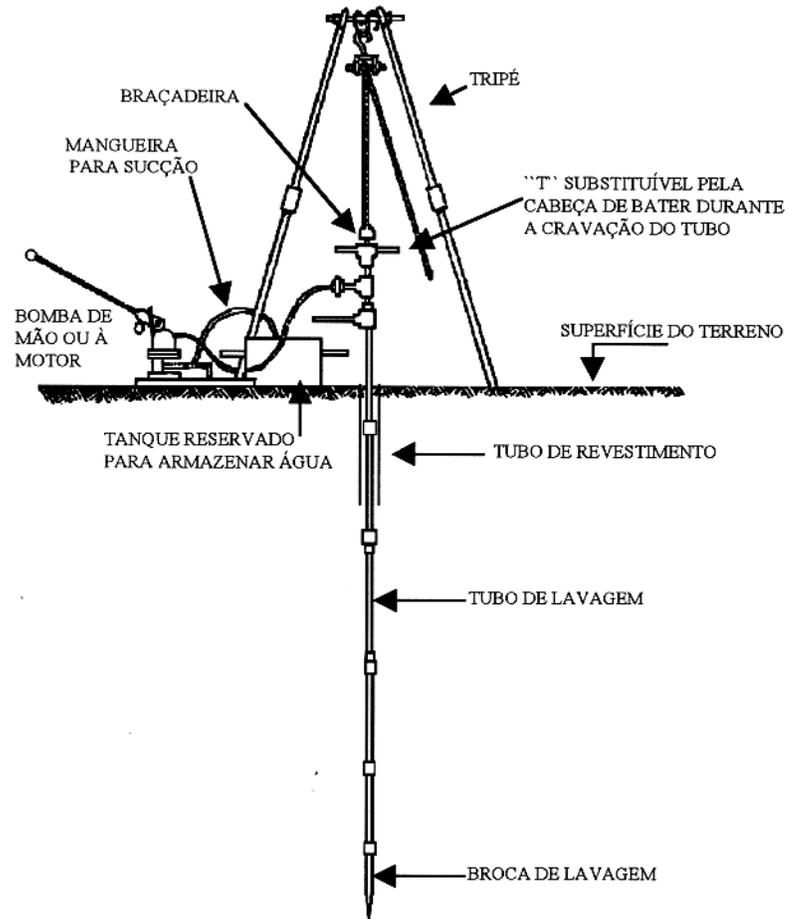


Figura 4 – Diagrama esquemático de Sondagem a percussão com circulação de água.

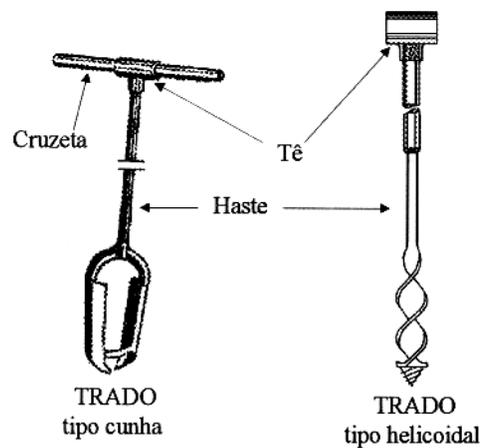


Figura 5 – Tipos de trados frequentemente utilizados na investigação geológico-geotécnica (ABGE, 1980)

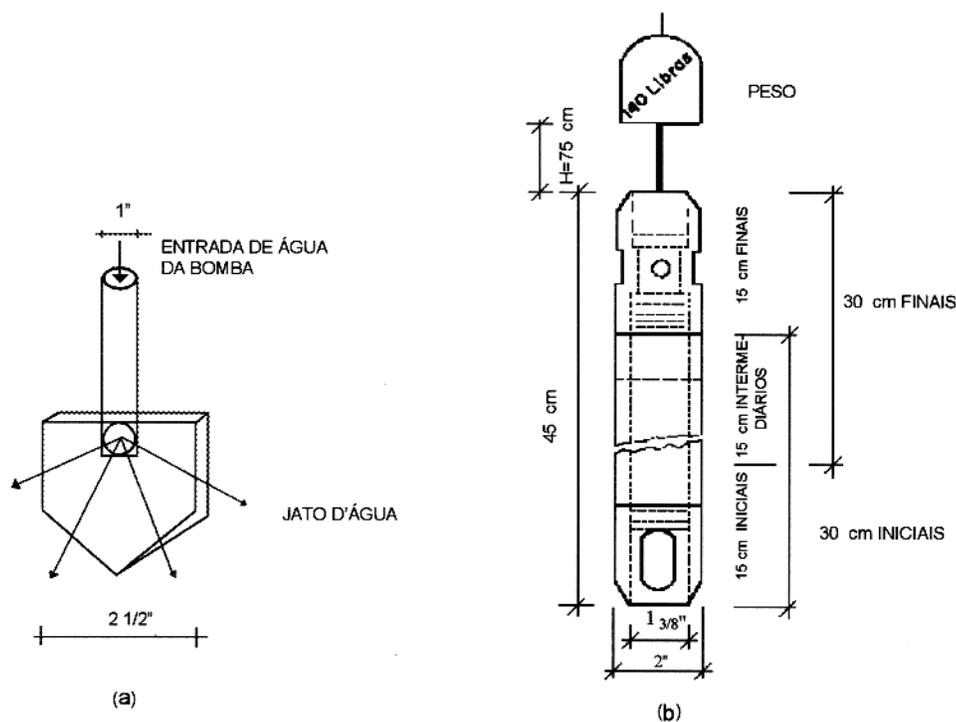


Figura 6 – (a) Trépano de sondagem para a circulação de água e perfuração (b) Barrilete amostrador usado para execução do *SPT*.

3.2.1- Instrumentação e operação de campo

A execução da Sondagem a percussão com circulação de água é regida pela NBR 6484 da ABNT e pode ser dividida em três etapas:

- 1) Perfuração;
- 2) Amostragem;
- 3) Medição da resistência a penetração

A sondagem se inicia com a fixação do tripé no terreno. A primeira etapa é a perfuração do terreno realizada com o trado tipo cunha ou helicoidal no primeiro metro. Instalando-se o primeiro segmento do tubo de revestimento.

Trado helicoidal é usado até atingir o nível freático ou até que se torne inoperante.

Após atingir o nível freático usa-se o processo de perfuração com circulação de água, o trépano de lavagem é atrelado ao tubo de lavagem e é descido no interior do tubo de revestimento. A água do tanque reservatório é sugada pela bomba e injetada no tubo de lavagem. Quando a água circula saindo pelos orifícios do trépano, o tubo de lavagem é levantado e abaixado, com golpes no solo, girando no fundo do furo, e a escavação vai se processando. Com o material que retorna à superfície, o sondador observa o tipo e a cor do solo, que sai em mistura na água.

Quando a sondagem for interrompida, deve-se deixar a água subir no tubo de revestimento até que o nível fique estacionário. Nesta ocasião sua cota é devidamente registrada. Todos os níveis de água subterrânea são anotados, quando atingidos na penetração. É comum a água subir das camadas profundas até às cotas mais elevadas do nível da superfície do terreno. O fenômeno é denominado de artesianismo, devendo ser registrado no Boletim de Campo

Nos solos coesivos, o avanço das perfurações deve se feito com os trados manuais. A perfuração é feita girando-se o trado no terreno. As sondagens com utilização de trados não são executadas nos solos abaixo do nível de água ou em areias soltas, por não aderirem ao trado, impossibilitando o avanço das perfurações.

A segunda etapa é realizada a cada metro de perfuração e consiste na retirada de amostras do solo através do barrilete amostrador; essas amostras são acondicionadas em sacos plásticos e analisadas posteriormente em laboratório.

A medição da resistência a penetração conhecida como ensaio *SPT* é realizada durante a coleta de amostras. Esse ensaio é descrito a seguir: O barrilete, conectado às hastes de perfuração, é descido no interior do furo de sondagem e posicionado na profundidade atingida pela perfuração. O peso de 65 Kg é colocado no topo da haste e é apoiado suavemente sobre a mesma, então deixa-se cair este peso de uma altura de 75 cm, em relação ao nível do topo da haste, em queda livre, anotando-se o número de golpes necessários para cravar os 15 cm iniciais, intermediários e finais do barrilete amostrador. Para cada metro de perfuração este procedimento é realizado, mesmo que o solo permaneça inalterado. O numero de golpes "N" necessários para cravar os 30 cm finais do amostrador é denominado de Índice de Resistência a Penetração, I.R.P.

$$IRP = \frac{N}{30 \text{ cm finais}}, \quad (3.1)$$

As diretrizes para a execução de sondagens (ABGE 1990) recomendam que, em cada ensaio, deve ser feita a penetração total dos 45 cm do barrilete amostrador ou até que a penetração seja inferior a 5 cm para cada 10 golpes sucessivos. É importante observar o motivo da paralisação da sondagem, pela presença de matacão, cascalho ou a própria resistência do material.

Ainda que o ensaio da resistência a penetração não possa ser considerado como um método preciso de investigação, os valores de N dão uma indicação preliminar bastante útil da consistência (solos argilosos) ou estados de compactidade (solos arenosos) das camadas investigadas.

Um exemplo do boletim de campo pode ser visto na Tabela 3 onde são anotadas as ocorrências verificadas na perfuração tais como: a profundidade das mudanças de diferentes camadas de solo encontradas; o número de golpes para cravação dos 15 cm iniciais, intermediários e finais do amostrador; a classificação macroscópica do solo *tátil-visual*; os níveis de água, no início e final de cada sondagem; a dada inicial e final dos serviços; o local da sondagem; o nome do cliente.

4 – MÉTODOS GEOFÍSICOS EMPREGADOS

4.1 – MÉTODO ELETRORRESISTIVO

4.1.1 – Introdução

No método eletrorresistivo as resistividades elétricas do terreno são medidas passando uma corrente elétrica alternada de baixa frequência (inferior a 10Hz) ou contínua no subsolo através do contato galvânico dos eletrodos de corrente, medindo a diferença de potencial (voltagem) entre dois pontos pré-determinados na superfície do terreno, como ilustra a Figura 7.

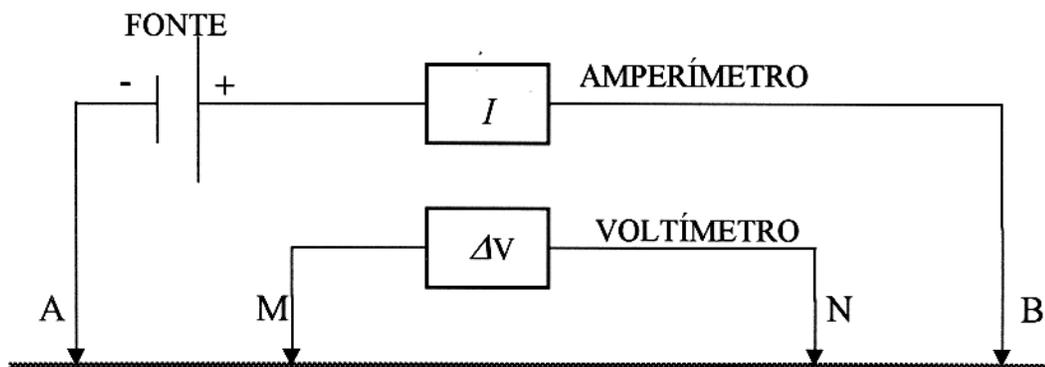


Figura 7 - linha de eletrodos na superfície de terreno homogêneo e isotrópico.

O emprego de baixa frequência, visa minimizar o efeito do acoplamento eletromagnético que ocorre com maior intensidade quando se usa corrente alternada. Este efeito corresponde a uma atenuação da corrente elétrica com a profundidade, cresce com a condutividade do terreno e com o aumento da frequência da corrente elétrica. Por isso, as correntes alternadas são amortecidas mais rapidamente que as contínuas, e este decréscimo da densidade de corrente com a profundidade leva ao decréscimo da profundidade de investigação (Orellana 1972).

A diferença de potencial é medido por um potenciômetro ou voltímetro (ΔV) entre eletrodos não polarizáveis M e N encravados na superfície do solo com o intuito de se evitar

tensões indesejadas, tais como polarização de eletrodos, polarização espontânea e outras.

Conhecidas a corrente aplicada I , a diferença de potencial ΔV e a posição relativa entre os pontos A , B , M e N , é possível estimar-se a resistividade dos materiais do subsolo (ρ). A resistividade elétrica de um material condutor pode ser entendida como a resistência elétrica (R) de uma porção desse material de comprimento (L) unitário e seção transversal (A) unitária. Assim, a resistividade elétrica fica sendo função apenas do parâmetro físico (R) do material condutor possibilitando identificar-se as diferentes camadas geológicas de um subsolo estratificado.

Sabe-se que a resistividade elétrica a partir de dois eletrodos de corrente na superfície do terreno para um meio homogêneo e isotrópico, é dada pela fórmula,

$$\rho = \frac{k\Delta V}{I} \quad (4.1)$$

onde:

$\Delta V \rightarrow$ diferença de potencial elétrico entre M e N ;

$I \rightarrow$ corrente elétrica aplicada entre A e B ;

$k \rightarrow$ função geométrica da disposição dos eletrodos A, B, M e N , denominada por este motivo de fator geométrico, dado por,

$$k = \frac{2\pi}{\frac{I}{AM} - \frac{I}{AN} - \frac{I}{BM} + \frac{I}{BN}} \quad (4.2)$$

sendo AM , AN , BM e BN as distâncias entre os eletrodos

Para um meio homogêneo, a resistividade é a mesma qualquer que seja a posição dos quatro eletrodos A , B , M e N . Entretanto, o ambiente geológico apresenta uma distribuição de resistividades que pode variar tanto verticalmente como lateralmente. Devido a isto, os valores de resistividade obtidos não representam os verdadeiros das resistividades dos materiais de subsuperfície, embora estejam relacionados a eles. O que se obtém são valores de resistividade aparente (ρ_a)

A partir da interpretação das curvas de sondagem ρ_a versus $AB/2$ são obtidas distribuições geométricas das resistividades, ex.: resistividades das camadas e suas espessuras. Manipulando dados de várias sondagens, pode-se gerar seções geoeletricas que serão interpretadas na forma de seções geológicas numa área particular investigada.

4.1.2 – Fundamentos Teóricos

Nas literaturas os fundamentos teóricos do método de sondagem elétrica Schlumberger estão detalhadamente descritos, entre outros (Bhattacharya & Patra 1968, Orellana 1972 e Kòefoed 1979).

Com o arranjo Schlumberger para o cálculo da resistividade aparente (ρ_a), sobre a superfície de um terreno estratificado, admite-se que à separação de eletrodos de potencial (MN) seja pequena em relação a dos eletrodos de corrente (AB), de forma que a diferença de potencial dividida por MN representa o campo elétrico no ponto central entre A e B (Orellana 1972, Keller & Frischnecht 1970)

Quando fortes variações verticais nas resistividades são encontradas, este efeito pode se tornar perfeitamente proeminente, algumas vezes maior até que o usual “ruído” causado por pequenas heterogeneidades laterais. Assim, para incluir efeitos de espaçamento finito do MN , calcula-se a resistividade aparente teórica a partir de dois potenciais em M e N e não do campo elétrico no seu ponto central.

O potencial $V(r, \bar{P})$, na distância r de uma fonte pontual de corrente I , sobre a superfície de um terreno estratificado é dado por,

$$V(r, \bar{P}) = \frac{I}{2\pi} \int_0^{\infty} R(\lambda, \bar{P}) J_0(\lambda r) d\lambda \quad (4.3)$$

onde $J_0(\lambda r)$ é a função de Bessel de primeira espécie e ordem zero, e $R(\lambda, \vec{P})$ a função Kernel do vetor \vec{P} , que é constituído pelos parâmetros que descrevem a resistividade e espessura da subsuperfície estratificada. A resistividade aparente Schlumberger pode ser então expressa como,

$$\rho_a = \frac{k}{I} [V(r_1, \vec{P}) - V(r_2, \vec{P})] \quad (4.4)$$

onde $r_1 = AB/2 - MN/2$, $r_2 = AB/2 + MN/2$.

A equação (4.4), por possuir duas integrais, necessita de maior tempo computacional do que a familiar equação (4.5) de Stefanescu *et al* (1930) para a resistividade Schlumberger, porém não inclui os efeitos do espaçamento finito de MN .

$$\rho_a = \rho_1 \left[1 + 2L^2 \int_0^{\infty} \lambda \theta_n(\lambda) J_1(L\lambda) d\lambda \right] \quad (4.5)$$

Substituindo-se $e^{-y} = \lambda e e^x = r$ a equação (4.3) torna-se,

$$V(r, \vec{P}) = \frac{-I}{2\pi r} \int_{-\infty}^{\infty} R(y, \vec{P}) e^{x-y} J_0(\lambda e^{x-y}) dy \quad (4.6)$$

O termo $R(y, \vec{P})$ pode ser considerado como uma função de entrada e o termo $e^x J_0(e^x)$ como a resposta impulso de um filtro estacionário. Avaliando-se $R(y, \vec{P})$ somente para n pontos discretos, a equação (4.6) pode ser aproximada por,

$$V(r, \vec{P}) = \frac{I}{2\pi r} \sum_{j=1}^n c_j R(\ln r - \eta_j, \vec{P}) \quad (4.7)$$

onde η_j são as abscissas dos coeficientes do filtro estacionário c_j .

4.1.3 – Sondagem elétrica vertical

Quando se opera com o método eletrorresistivo sobre um meio homogêneo, a profundidade de investigação depende, além de outros fatores, da distância entre os eletrodos A e B . Dessa maneira, para uma pequena abertura de AB , a corrente flui em subsuperfície a uma profundidade pequena e a resposta, medida em forma de voltagem, tem forte influência dos materiais superficiais. Quanto maior a separação dos eletrodos de corrente maior será a profundidade teórica alcançada.

Durante a execução de sondagens elétricas verticais com arranjo Schlumberger, as medidas são tomadas com a distância entre os eletrodos de corrente sendo aumentada gradativamente, para se obter a resposta a profundidades cada vez maiores do meio estratificado. Os eletrodos de corrente são, neste caso, deslocados simetricamente em relação a um ponto central fixo, e os valores de resistividade aparente medidos são considerados como a variação da resistividade abaixo deste ponto.

Nas sondagens elétricas verticais algumas configurações geométricas preestabelecidas podem ser utilizadas de acordo com as posições de A , B , M e N e são: arranjo Wenner para $AM = MN = NB$ e arranjo Schlumberger para $AB \gg MN$.

No arranjo Schlumberger os eletrodos A , B , M , e N são dispostos de forma colinear e geralmente os eletrodos de potencial são colocados entre os de corrente (Figura 8).

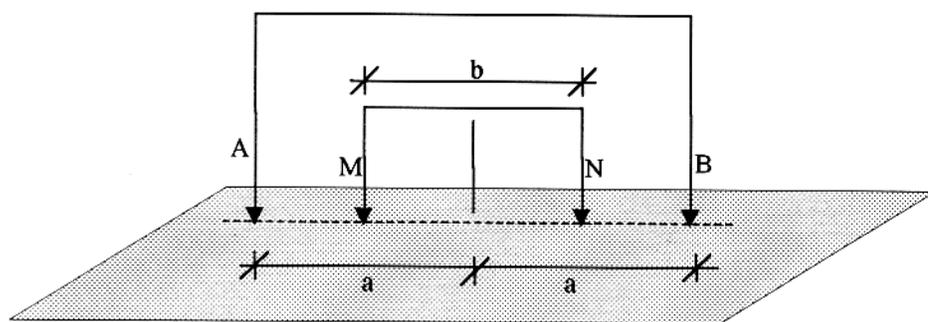


Figura 8 – Arranjo Schlumberger colinear simétrico

O fator geométrico do arranjo para uma disposição colinear e simétrica dos eletrodos, sendo esta a configuração usual na prática do trabalho de campo com sondagem elétrica vertical, é dado por,

$$k_s = \pi \left(\frac{a^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (4.8)$$

onde:

$a \rightarrow$ espaçamento do arranjo $AB/2$;

$b \rightarrow$ separação entre os eletrodos de potencial.

Teoricamente nas SEV's com arranjo Schlumberger apenas os eletrodos de corrente precisam ser deslocados, pois, a condição de $AB \gg MN$ estaria sempre satisfeita. Entretanto na prática, a distância MN é aumentada periodicamente porque a partir de uma determinada distância grande de AB , a diferença de potencial torna-se tão pequena que não se pode mais medir com precisão. Com o aumento de MN , surgem pontos de descontinuidades na curva de resistividade aparente em virtude das variações laterais de resistividades nas proximidades da superfície do terreno. Para se corrigir esta descontinuidade, torna-se necessário repetir-se pelo menos duas medidas com a nova distância MN . Este procedimento é denominado de "embreagem".

Para o levantamento com sondagem elétrica vertical, o arranjo Schlumberger é o preferido por ser operacionalmente mais simples. Para cada medida executada não é necessário se deslocar os quatro eletrodos simultaneamente; é mais econômico e tecnicamente melhor, pois a qualidade das curvas de sondagens são superiores devido à menor sensibilidade do arranjo aos efeitos das variações superficiais do solo nas circunvizinhanças dos eletrodos de potencial, que têm grande influência nas medidas das resistividades aparentes.

4.1.4- Instrumentação e operação de campo

Os trabalhos de campo foram realizados em Dezembro de 1998 e Janeiro de 1999. O levantamento correspondeu à execução de 23 SEVs. A área estudada através da Sondagem Elétrica Vertical está mostrada na Figura 9. O arranjo de eletrodos foi disposto segundo o arranjo Schlumberger, com a distância mínima entre eletrodos de corrente igual a 2 metros ($AB/2 = 1$ metro) e a máxima de 110 metros ($AB/2 = 55$ metros), em função da área não possibilitar uma

abertura maior devido a existência de ruas e avenidas na sua grande maioria asfaltadas, além de obras de engenharia. A abertura das sondagens coincide com a orientação das ruas ou travessas onde foram executadas, pois as vias públicas são os únicos locais com espaço suficiente para a abertura dos eletrodos.

O fator k (constante) usado no cálculo da resistividade aparente (ρ_a), é dado na equação 4.8. Os valores de $AB/2$, MN e k estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tabela usada na coleta de dados de campo

MN AB/2	0.5	2	5	V	I	ρ_a
	Fator geométrico "k"					
1.0	6.28					
1.3	10.62					
1.8	20.36					
2.4	36.19					
3.2	64.34					
4.2	110.84	27.71				
5.5	190.07	47.52				
7.5	353.43	88.36				
10.0	628.32	157.08	62.83			
13.0	1061.86	265.46	106.19			
18.0	2035.75	508.94	203.58			
24.0	3619.11	904.78	361.92			
32.0		1608.50	643.40			
42.0		2770.88	1108.35			
55.0		4751.65	1900.66			

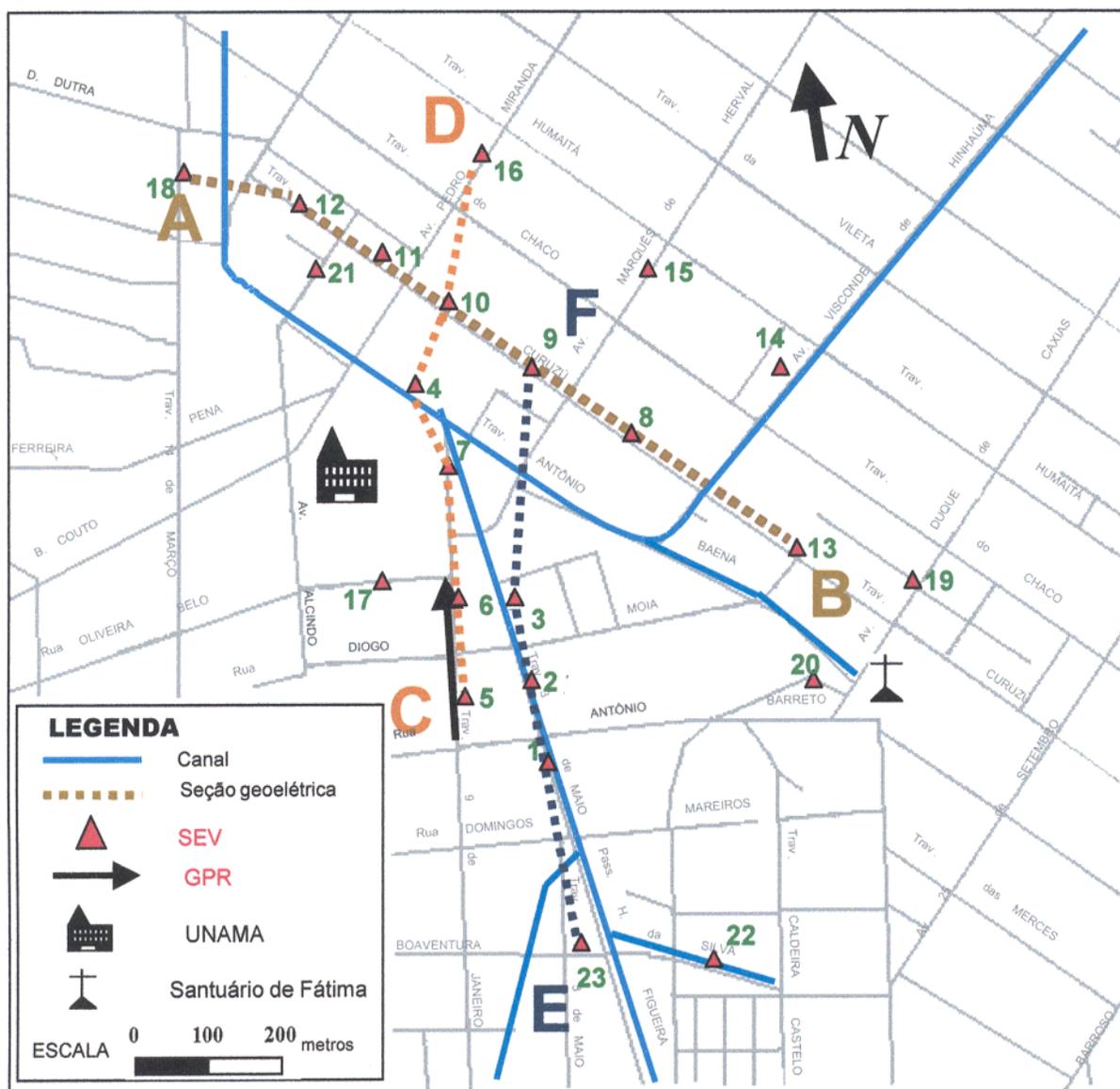


Figura 9 - Localização das Sondagens Elétricas Verticais e do perfil de GPR realizados

O equipamento utilizado nos levantamentos foi o GEOTEST (resistivímetro) pertencente ao DGF/UFPa, projetado e fabricado pela companhia Geotest Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos. A potência nominal de saída do resistivímetro é de 100 W e o valor da corrente fornecida é de 500 mA. A fonte utilizada foi um bateria de automóvel de corrente contínua, com a vantagem de ser portátil e de fácil manuseio e deslocamento durante a operação de campo. O equipamento fornece diretamente os valores de ΔV (variação de potencial) e I

(corrente elétrica). Para as medidas de corrente, o intervalo de leitura varia desde valores inferiores a 1 mA até superiores a 1 A. O voltímetro do aparelho estava calibrado para fornecer leitura de valores desde 0,1 mV até 199,9 mV.

A onda gerada no aparelho transmissor possui uma forma quadrada por ter sua polaridade invertida periodicamente. A inversão da polaridade permite minimizar a instabilidade nas leituras originadas pelo fenômeno de polarização de eletrodos. O aparelho receptor dispõe de filtros eletrônicos que minimizam os efeitos ruidosos gerados por correntes telúricas ou linhas de transmissão.

É necessário tomar alguns cuidados operacionais a fim de minimizar fontes de ruídos que possam contaminar os dados. Para evitar a indução eletromagnética no circuito, manteve-se o mais afastado possível os cabos de corrente e de potencial. Outra fonte de ruído, são as resistências de contato do terreno (comum quando o terreno investigado é capeado por piçarra ou quando se apresenta muito seco) com os eletrodos de correntes, que foram atenuada colocando-se água salgada ao redor do eletrodo e/ou enterrando-o o suficiente de maneira a continuarem válidas as condições de fontes pontuais. Deve-se tomar o cuidado de posicionar os eletrodos de potencial em terrenos com textura o mais homogêneo possível a fim de evitar ambigüidades nas leituras das medidas.

Na separação de eletrodos de corrente foram utilizadas três mudanças de posições dos eletrodos de potencial, procedimento conhecido por “embreagem” (Orellana 1972), com superposição de duas medidas. Isto permite ainda identificar os efeitos da variação lateral de resistividade nas proximidades do eletrodo de potencial, quando por ocasião de mudança de duas posições.

4.2 - RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO - GPR

4.2.1 – Introdução

O Radar de Penetração no Solo (*Ground Penetrating Radar – GPR*) é o método eletromagnético que utiliza altas frequências. O *GPR* tem sido usado numa grande variedade de aplicações incluindo a identificação entre interfaces congeladas e não congeladas, mapeamento estratigráfico do solo, topografia do topo rochoso em subsuperfície, depósitos de turfa, localização de tubos e cabos enterrados, investigação arqueológica e determinação da profundidade do nível freático (Daniels *et al.* 1988, Davis & Annan 1989).

O *GPR* oferece alta resolução nas sondagens, capaz de detectar feições da ordem de dez milímetros de espessura. O primeiro uso de ondas eletromagnéticas para a identificação de objetos enterrados é atribuído a Hülsmeier na Alemanha, patenteado em 1904; mas a primeira publicação sobre a tal investigação é de autoria de Leimbach e Löwy (1910). O sistema usado nessa investigação utilizou a transmissão de ondas contínuas.

Hülsenbeck (1926) desenvolveu o primeiro uso do radar para investigar objetos naturais enterrados. Outro levantamento utilizando o método *GPR* foi realizado na Alemanha em 1929, visando determinar a espessura de uma galeria (Olhoeft 1996). Esta metodologia ficou paralisada até a década de 50, provavelmente devido às limitações instrumentais.

Na década de 60, um dos maiores sucessos na aplicação do *GPR* consistiu na determinação da espessura de placas de gelo no Ártico e Antártica (Scaife & Annan 1991). O trabalho, em ambiente sem gelo, iniciou-se em meados da década de 70. Uma intensificação nas atividades de pesquisa ocorreu associada com a missão à lua com a nave Apollo 11 (Ulriksen 1982). Na década de 80, o *GPR* teve seu reconhecimento como método de investigação geofísica por parte da comunidade geofísica mundial.

No Brasil, os trabalhos pioneiros com o *GPR* foram realizados em um sítio arqueológico na Ilha do Marajó (Alves 1979, Alves & Lourenço 1981, Roosevelt 1991). Atualmente o *GPR* vem sendo empregado por várias instituições de pesquisa e universidades brasileiras. Durante o seu aparecimento no Brasil criou-se muitas expectativas com relação à sua vasta aplicação, principalmente na investigação geológico-geotécnica rasa, em áreas urbanas. Assim, muitos

usuários buscaram no *GPR* a solução para muitos de seus problemas; desse modo, vários trabalhos foram executados com critérios técnicos duvidosos, com relação à viabilidade da aplicação deste método na resolução do problema proposto, levando, não raras vezes, à obtenção de resultados muito aquém das expectativas iniciais (Galli & Pereira 1999).

Uma das aplicações recentes do *GPR* é o estudo de áreas submersas rasas, visando a detecção da espessura de camadas de assoreamento em reservatórios, e da espessura de depósitos arenosos em rios, trabalhos de interesse para a construção civil. A Tabela 6 ilustra algumas das aplicações do *GPR*. (Reynolds 1991).

Tabela 6 – Série de aplicações do *GPR* (Reynolds 1991).

Geológico

Identificação de cavidades e fissuras naturais
 Mapeamento da geometria do corpo arenoso
 Mapeamento de depósitos superficiais
 Mapeamento estratigráfico do solo
 Investigação geológica glacial
 Exploração mineral e avaliação do recurso
 Mapeamento da espessura da turfa e avaliação do recurso
 Mapeamento de fraturas em rochas
 Localização de falhas, diques, leito de carvão
 Mapeamento de geologia estrutural
 Mapeamento de sedimentos em lagos e rios

Meio Ambiente

Mapeamento de pluma de contaminação
 Mapeamento e monitoramento de poluentes no nível freático
 Localização de tanques de combustível enterrados e tambor de óleo
 Localização de vazamento de gás
 Investigação do lençol freático

Engenharia e Construção

Análise de estradas pavimentadas
 Detecção de vazios
 Localização de reforços no concreto
 Localização de oleoduto, cabos, etc...
 Exploração de materiais de construção
 Determinação de fissuras no concreto

Arqueologia

Localização de estruturas enterradas
 Determinação e mapeamento de artefatos antigos
 Localização de vazios (buracos, criptas, sepulturas, etc...)
 Mapeamento para pré-escavação

4.2.2 - Fundamentos teóricos

Davis & Annan (1989) descrevem uma revisão dos princípios do *GPR*.

Na operação com o *GPR*, uma série de pulsos eletromagnéticos (*EM*) de alta frequência, entre 10 – 2500 MHz, é transmitida por intermédio de uma antena transmissora, colocada às proximidades da superfície do terreno. Essa transferência de energia eletromagnética é feita através da propagação de uma onda.

No radar a propagação da onda eletromagnética é descrita pelas equações de Maxwell através das componentes do campo elétrica (*E*) ortogonal ao campo magnético (*H*). Assim, a equação da onda para a componente elétrica é dada por,

$$\nabla^2 \vec{E} = i\omega\mu\sigma \vec{E} - \omega^2 \mu\epsilon \vec{E} \quad (4.9)$$

onde ∇^2 = operador matemático com segunda derivada; $i = \sqrt{-1}$; ω = frequência angular = $2\pi f$ (f é a frequência em Hz); μ = permeabilidade magnética; σ = condutividade elétrica e ϵ = permissividade elétrica.

A solução geral da equação da onda é representada por,

$$E = E_0 e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - \beta z)} \quad (4.10)$$

em que E_0 é a máxima amplitude da onda, z é a profundidade, α e β são parâmetros que contêm as propriedades eletromagnéticas do meio (condutividade elétrica, permeabilidade magnética e permissividade elétrica). A primeira exponencial controla a atenuação, enquanto a segunda a propagação.

A atenuação é dependente da perda de energia para o meio. A Figura 10 ilustra esquematicamente esta perda.

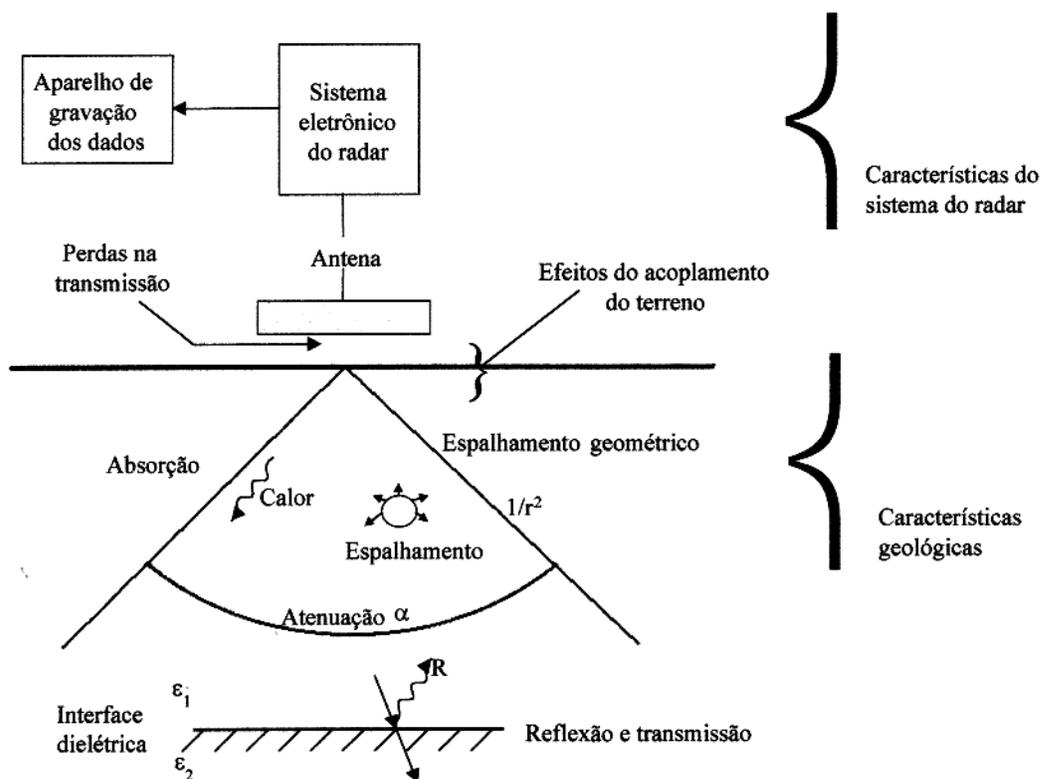


Figura 10 – Esquema da perda do sinal da fonte transmissora (Reynolds 1997).

As perdas da energia são causadas pela absorção nas transmissões/reflexões em cada interface (transformando a energia eletromagnética em calor) ou o espalhamento geométrico da onda em que o sinal é irradiado formando um cone com um ângulo de 90° e se espalha, reduzindo a energia por unidade de área à razão de $1/r^2$, onde r é a distância de propagação da onda. Se existem objetos com dimensões da mesma ordem do comprimento de onda do sinal do radar, esses irão causar o espalhamento da energia de forma aleatória, causando ruídos nas seções de radar.

A atenuação é uma função complexa das propriedades elétricas e dielétricas do meio através da qual o sinal de radar atravessa. O fator α de atenuação é dependente de σ, μ, ϵ , tal como da frequência do sinal.

O decaimento da amplitude das ondas eletromagnéticas com a profundidade é conhecido como *skin depth* ou profundidade pelicular (δ) e é inversamente proporcional ao fator de atenuação.

$$\delta = \frac{1}{\alpha} \quad (4.11)$$

Matematicamente tem-se,

$$E_0/E_x = \exp(-\alpha x) \quad (4.12)$$

onde E_0 é o campo elétrico no transmissor e E_x a redução do campo elétrico. Para x sendo a distância da propagação da onda e α o coeficiente de atenuação,

$$\alpha = \omega \left\{ \left(\frac{\mu \varepsilon}{2} \right) \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \varepsilon^2} \right)^{1/2} - 1 \right] \right\}^{1/2} \quad (4.13)$$

onde $\omega = 2\pi f$, sendo f a frequência em Hz, $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, σ a condutividade aparente em S/m , $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ e ε_r é a constante dielétrica relativa, valores representados na Tabela 7. A fórmula é válida somente para materiais não magnéticos.

O termo $(\sigma/\omega\varepsilon)$ acima é equivalente ao fator de perda (P), assim,

$$P = \sigma/\omega\varepsilon = \tan D \quad (4.14)$$

Quando $D \ll 1$,

$$\delta = \left(\frac{2}{\sigma} \right) \left(\frac{\varepsilon}{\mu} \right)^{1/2} \quad (4.15)$$

Numericamente tem-se,

$$\delta = \left(5.31 \sqrt{\varepsilon_r} \right) / \sigma \quad (4.16)$$

onde σ é em mS/m

Freqüências usadas no Método do *GPR* normalmente variam de 10 a 2500 *MHz*. Sinais de alta freqüência embora produzam alta resolução na saída dos dados, limitam a profundidade de investigação que é dependente também da condutividade elétrica do meio onde ela se propaga. Assim, para freqüências entre 80 e 500 *MHz*, a profundidade pelicular pode chegar a bem menos de 1 metro, em áreas onde a cobertura geológica seja eletricamente condutora (rica em argilas), até profundidades superiores a 25 metros, em áreas de cobertura pouco condutora (areia sem argila e cascalho) (Beres & Haeni 1991). Ensaio realizados em Belém e em Manaus mostraram, por exemplo, profundidades de penetração variando entre 4 e 15 metros, para freqüência de 100 *MHz* (Sauck *et al.* 1995).

As elevadas freqüências, entretanto, contribuem para que haja uma maior discriminação do material investigado, ou seja, permite a visualização de alvos reduzidos. Esta característica se dá devido à velocidade de propagação da onda depender da freqüência (f) e do comprimento de onda (λ). Então, para uma velocidade constante, à medida que a freqüência aumenta, o comprimento de onda diminui, segundo a relação,

$$V = \lambda f \quad (4.17)$$

Nas interfaces de separação entre meios de diferentes materiais geológicos, a onda *EM* é refletida, difratada e refratada, sendo ainda atenuada ou dissipada; as reflexões ocorrem devido ao contraste das propriedades elétricas dessas camadas (Figura 10).

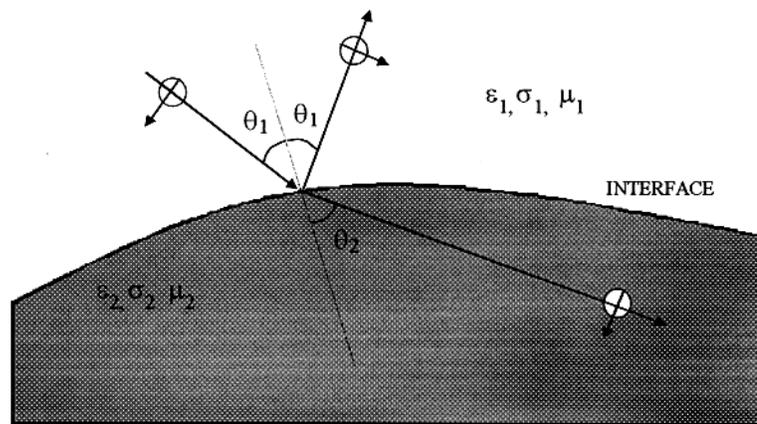


Figura 11 – Reflexão e refração de um sinal de radar ao atingir a interface de separação de dois meios com propriedades elétricas diferentes.

Essas propriedades são normalmente acopladas em um parâmetro denominado de impedância intrínseca (Z), definida por

$$Z = \frac{\sqrt{i\omega\mu}}{\sqrt{\sigma + i\omega\mu}} \quad (4.18)$$

A variação das propriedades elétricas do solo está associada com a quantidade e às propriedades elétricas da água nos poros e da composição mineralógica (metais e semicondutores). Nas rochas, a propagação da onda de radar é sensível as mudanças dos tipos de rochas e à presença de fluidos ou fraturas secas.

A velocidade (V_m) de propagação da onda em qualquer meio é dependente da velocidade de propagação da luz no vácuo ($c=0.3 \text{ m/ns}$), da constante dielétrica relativa (ϵ_r) e da permeabilidade magnética ($\mu_r = 1$ para materiais não magnéticos). V_m é dada por,

$$V_m = \frac{c}{\left\{ (\epsilon_r \times \mu_r / 2) \times [(1 + P^2) + 1] \right\}^{1/2}} \quad (4.19)$$

onde P é o fator de perda, tal que $P = \sigma / \omega\epsilon$, σ é a condutividade, $\omega = 2\pi f$, f é a frequência e $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ é a permissividade para ϵ_0 , sendo a permissividade no vácuo ($8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$).

Nos materiais de baixa perda, $P \approx 0$, então a velocidade fica,

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4.20)$$

O GPR utiliza os seguintes modos de investigação:

- De reflexão – com afastamento constante ou *common offset* (Figura 12) – onde a antena transmissora (Tx) tem uma distância fixa em relação a receptora (Rx) movendo-se sobre a superfície do terreno; uma seção de temporal é registrada (tempo duplo) no eixo vertical, enquanto que no eixo horizontal a posição ao longo do perfil. Este tipo de levantamento é

similar ao que é similar aos levantamentos de sísmica de reflexão e as investigações com sonar;

- O *common midpoint (CMP)* e o *wide-angle reflection and refraction (WARR)*. Na configuração WARR T_x é fixado numa posição enquanto R_x em deslocamentos crescentes, esse tipo de levantamento é usado em áreas onde os principais refletores são planos e horizontais ou apresentam-se apenas com pouca inclinação. Na configuração CMP T_x e R_x são deslocados um em relação ao outro tendo um ponto médio comum. São usados para de obter uma estimativa da velocidade de propagação da onda no meio *versus* a profundidade – Arcone (1984) descreve a técnica de sondagem para a determinação da velocidade em detalhes.
- No *transillumination* ou tomografia por radar T_x e R_x estão um de frente para o outro do meio a ser investigado ou R_x na superfície do terreno e T_x dentro do poço, essa situação ocorre em minas ou poços ou testes em colunas de concreto. A velocidade então pode ser medida se o sinal da amplitude da onda puder ser medido, assim a atenuação da onda pode ser determinada. Annan & Davis (1978) descrevem com detalhes esse modo de investigação.

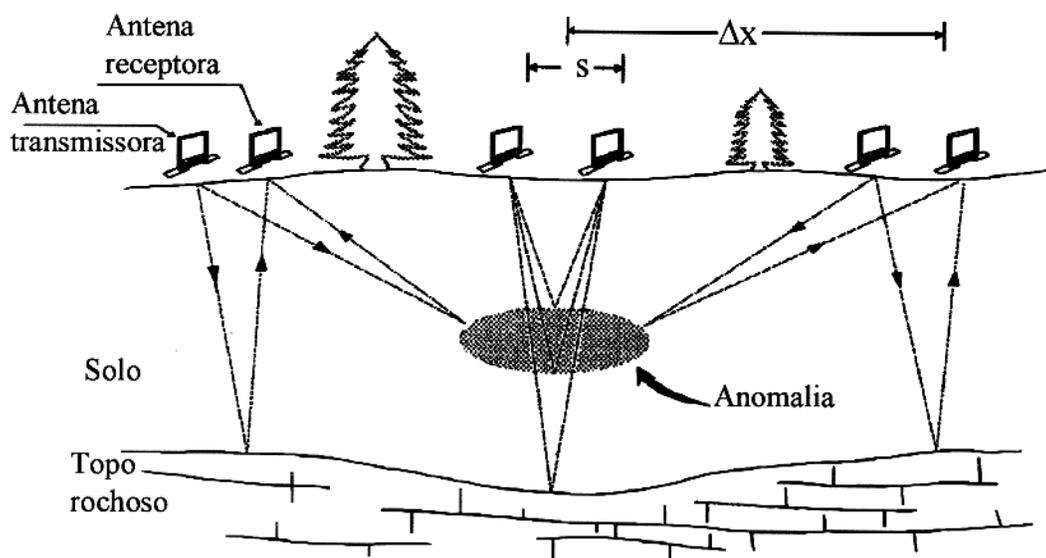


Figura 12 – Esquema de coleta de dados de GPR (s é a separação entre as antenas transmissora e receptora; Δx é o espaçamento entre os pontos de medição).

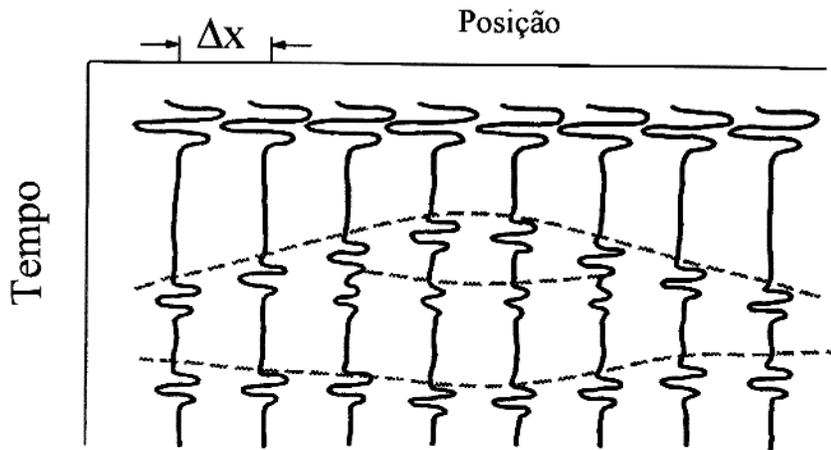


Figura 13 – Representação esquemática de uma seção exibindo os traços oriundos de reflexões detectadas na antena receptora a intervalos Δx .

Uma seção temporal das medidas de radar pode ser convertida em seção de profundidade se for conhecida a velocidade de propagação da onda no meio, dada na equação (4.20).

A permissividade elétrica relativa é uma medida da capacidade do material de armazenar carga elétrica quando um campo elétrico é aplicado, a Tabela 6 lista valores de permissividade elétrica relativa e valores de condutividade para alguns materiais presentes na natureza.

O radargrama é uma seção onde são registrados os tempos de duplos de viagem em *ns* – nanosegundos (10^{-9} s), ou seja, o tempo é registrado no momento que a onda é enviada pela antena transmissora e retorna sendo registrada pela antena receptora, representada no eixo vertical do perfil. O eixo horizontal registra nas figuras o deslocamento em metros. A profundidade do refletor pode então ser estimada por,

$$d = t.v/2 \quad (4.21)$$

em que d = profundidade do refletor; t = tempo duplo de percurso, em nanosegundos;.

Tabela 6 - Valores aproximados da constante dielétrica (k), condutividade elétrica (σ), velocidade (V) e atenuação (α), dados de Ulriksen (1982).

MATERIAL	k	σ (ms/m)	V(m/ns)	α (dB/m)
Ar	1	0	0.3	0
Água destilada	80	0.01	0.033	3×10^{-3}
Água fresca	80	0.5	0.033	0.1
Água do mar	80	3×10^4	0.01	10^3
Areia seca	3-5	0.01	0.15	0.01
Areia saturada	20-30	0.1-1.0	0.6	0.03-0.3
Calcário	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
Folhelho	5-15	1-100	0.09	1-100
Silte	5-30	1-100	0.07	1-100
Argila	5-40	2-1000	0.06	1-300
Granito	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Sal seco	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Gelo	3-4	0.01	0.16	0.01

4.2.3- Instrumentação e operação de campo

O equipamento usado nos trabalhos com o *GPR* consiste de quatro elementos principais: uma unidade transmissora, uma unidade receptora, uma unidade de controle (temporizador) e uma unidade onde os dados são visualizados e armazenados (computador). A Figura 14 ilustra um simples diagrama do sistema *GPR*

A unidade transmissora produz um pulso de alta voltagem num pequeno intervalo de tempo. O pulso é enviado para a antena transmissora que o irradia para dentro do terreno. A antena receptora capta o sinal que foi refletido e transfere para a unidade receptora que amplifica o sinal e envia para o computador para ser armazenado e visualizado. Muitos aparelhos de radar podem operar com um grande número de diferentes frequências.

O equipamento utilizado na coleta de dados foi o radar de penetração *GPR/RAMAC* pertencente ao CEFET – PA, fabricado pela empresa sueca MALA GeoScience, com antenas de 100 MHz.

Antes do início dos trabalhos com o *GPR* necessário se faz a utilização de uma “seção experimental” (mesmo conceito da sísmica) para se determinar certos parâmetros, tais como:

distância entre antenas (*offset*); tipo mais indicado de caminhamento (*CMP*, *WARR* ou *common offset*); tempo de registro; razão de amostragem, etc.

Porém neste trabalho não foi realizada uma “seção experimental”, pois as antenas já apresentavam distância fixa uma em relação a outra de 1 metro, quando foi realizado apenas o levantamento *common offset*, e o intervalo de amostragem utilizado foi de 0.1 metros, ou seja, a cada 10 centímetros existe um traço de radar. As antenas são posicionadas paralelamente, uma em relação à outra, e perpendiculares ao eixo do perfil.

Apesar dessas restrições o trabalho foi efetivado visando apenas fornecer um auxílio após a interpretação das seções geoeletricas, em especial a seção *CD*, para melhorar as informações através da visualização do perfil de *GPR*. Com isso sérias limitações se fazem presente quanto ao processamento dos dados na determinação aproximada da velocidade das camadas e a profundidade real do refletor.

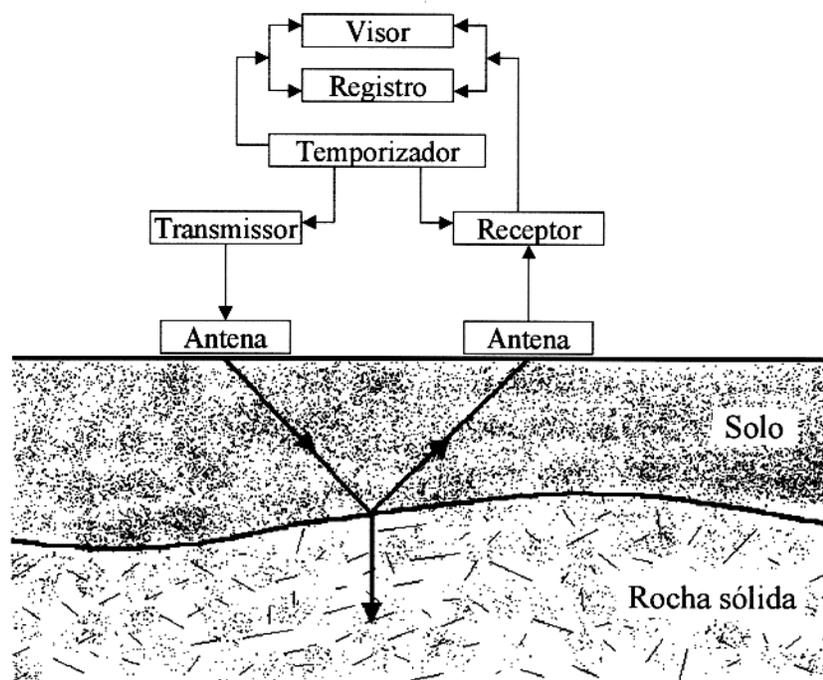


Figura 14 – Diagrama de um sistema típico *GPR*, Davis & Annan (1989).

5- INTERPRETAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

5.1 – METODOLOGIA QUANTITATIVA PARA INTERPRETAÇÃO DAS SEVs

A primeira etapa da interpretação das *SEVs* foi identificar o número de horizontes geoeletricos com o auxílio das sondagens *SPT*, pois estas fornecem dados referentes à espessura das camadas e tipo litológico. De posse do número de camadas e resistividade estimadas, faz-se uma primeira aproximação desses valores com as curvas de campo através de um programa computacional utilizando o método direto. Essas informações são usadas para interpretar os dados de sondagem através de técnicas de inversão realizados numa segunda etapa. Com os valores finais de resistividade e espessura das camadas é possível confeccionar seções 2D e 3D.

5.1.1 – Método Direto

O método direto de interpretação consiste em calcular a resposta para um modelo teórico, escolhido para representar a subsuperfície investigada através de valores de resistividade e espessura; as curvas de campo com as curvas calculadas são comparadas visualmente na tela do computador, até se obter um ajuste satisfatório. O método direto foi obtido através do programa computacional EGSLIB/SEVID de autoria de Rijo (1994a).

A resistividade aparente Schlumberger, na superfície de um semi-espaço estratificado, é dada por (Koefoed 1979),

$$\rho_{as} = \frac{2\pi s^2}{I} \bar{E}(s, \bar{P}) \quad (5.1)$$

onde, $s = AB/2$ é a distância do centro do arranjo até um dos eletrodos de corrente (A ou B), I a intensidade de corrente, e $\vec{E}(s, \vec{p})$, é o campo elétrico dado por,

$$\vec{E}(s, \vec{p}) = \frac{I}{2\pi_0} \int_0^{\infty} R(\lambda, \vec{p}) J_1(\lambda s) \lambda d\lambda \quad (5.2)$$

sendo $J_1(\lambda s)$ a função de Bessel de primeira espécie, de ordem um; \vec{p} é o vetor de parâmetro constituído pela resistividade (ρ) e espessura (h) das camadas; λ é a variável de integração e $R(\lambda, \vec{p}) = R_i$ é o núcleo de integração fornecido pela recorrência,

$$R_i = \rho_i \frac{R_{i+1} + \rho_i \tanh(\lambda h_i)}{\rho_i + R_{i+1} \tanh(\lambda h_i)}; \quad i = 1, 2, \dots, N-1 \quad (5.3)$$

$$R_N = \rho_N \quad (5.4)$$

onde o N é o número de camadas do modelo. Substituindo (5.2) em (5.1), obtém-se,

$$\rho_a = s^2 \int_0^{\infty} R(\lambda, \vec{p}) J_1(\lambda s) \lambda d\lambda \quad (5.5)$$

Por razões computacionais, é conveniente reescrever essas expressões da seguinte maneira:

$$\rho_a = \rho_1 + s^2 \int_0^{\infty} [R(\lambda, \vec{p}) - \rho_1] J_1(\lambda s) \lambda d\lambda \quad (5.6)$$

Usando,

$$\int_0^{\infty} J_1(\lambda s) \lambda d\lambda = \frac{1}{s^2} \quad (5.7)$$

A equação (5.6) pode ser escrita como uma integral de convolução. Fazendo a seguinte substituição,

$$e^{-y} = \lambda \quad e \quad e^x = s \quad (5.8)$$

tem-se:

$$\rho_a = \rho_1 + \int_{-\infty}^{\infty} [R(e^{-y}, \bar{P}) - \rho_1] e^{2(x-y)} J_1(e^{(x-y)}) dy \quad (5.9)$$

onde $[R(e^{-y}, \bar{P}) - \rho_1]$ é a função entrada e $e^{2(x-y)} J_1(e^{(x-y)})$ é a função filtro. Para valores discretos de $[R(e^{-y}, \bar{P}) - \rho_1]$, a integral em questão pode ser aproximada pela soma,

$$\rho_a = \rho_1 + \sum_{j=1}^n c_j [R(e^{-(ln s - n_j)}, \bar{P}) - \rho_1] \quad (5.10)$$

onde os n_j são as abcissas dos coeficientes do filtro e s a posição onde ρ_a é calculada. Os coeficientes c_j do filtro são encontrados em Guptasarma (1982).

A interpretação das curvas de sondagens foi realizada assumindo-se um modelo geoeétrico de camadas homogêneas e isotrópicas separadas entre si por superfícies planas e horizontais. De posse dos dados geológicos em subsuperfície *in situ* da área em estudo, escolheu-se um modelo unidimensional, com a definição do número de horizontes de cada curva.

Durante a interpretação fez-se sucessivos ajustes, atribuindo-se valores de resistividades e espessura para as "n" camadas estimadas para o modelo, para que as curvas de campo se ajustassem às curvas teóricas.

As resistividades aparentes obtidas em campo foram plotadas em papel bi-log; as curvas foram suavizadas para eliminar pequenas perturbações e corrigir as discontinuidades provenientes na mudança de posição dos eletrodos de potencial durante as embreagens.

5.1.2 – Método Inverso

A inversão dos dados de sondagem geoeétrica envolve uma operação direta nos dados de campo para um determinado modelo que irá fornecer uma resposta. Para se obter isto, uma combinação numérica aplica aproximações iterativas modificando os parâmetros do modelo inicial adaptado, tal que, um modelo forneça um melhor ajuste entre os dados de campo e os parâmetros iniciais no sentido da técnica dos mínimos quadrados generalizados.

O programa de inversão usado na quantificação das *SEVs*, foi desenvolvido por Rijo (1994b), e se baseia na técnica dos mínimos quadrados amortecidos (*Ridge Regression*), com uso de critérios estatísticos para a resolução dos parâmetros das camadas do modelo inicial arbitrário.

Vários autores (Inmam 1975; Rijo *et al.* 1977; Petrik *et al.* 1977) justificaram o uso do algoritmo de “*Ridge Regression*” para dados eletrorresistivos unidimensionais pela simplicidade, estabilidade e flexibilidade que o mesmo apresenta. O número de iterações necessárias para o melhor ajuste, bem como sua precisão, dependerão da coerência do modelo inicial usado na interpretação. A influência da técnica está condicionada à coerência entre o modelo inicial usado na investigação e a geologia da área investigada.

Pelton *et al.* (1978) verificaram algumas vantagens do uso do algoritmo de “*Ridge Regression*”:

- Estabilidade na presença de ruídos;
- Controle estatístico dos parâmetros;
- Convergência para modelos iniciais extremamente pobres.

O algoritmo dos mínimos quadrados simples (Inman *et al.* 1973, Pelton *et al.* 1978) é dado por,

$$\Delta\bar{P} = \left(\underline{A}^T \underline{A} \right)^{-1} \underline{A}^T \Delta\rho_a \quad (5.11)$$

onde \underline{A} é a matriz sensibilidade (derivada das resistividades, calculadas com relação aos parâmetros, a qual permanece constante durante o processo de inversão); \underline{A}^T é a matriz transposta; \vec{P} é o vetor de parâmetros (resistividade e espessura do modelo); $\Delta\vec{P}$ é a variação entre os parâmetros verdadeiros e os parâmetros que surgem ao ajustar o mínimo; $\Delta\rho_a^-$ é a variação entre as resistividades observadas e as calculadas pela equação (5.10).

Embora a equação (5.11) convirja rapidamente, é altamente instável, convergindo para um modelo irreal, a menos que o erro nos dados seja muito pequeno e se tenha uma tentativa inicial muito próxima do mínimo.

Para assegurar a convergência a partir de modelos iniciais arbitrários, se utiliza o algoritmo,

$$\Delta\vec{P}_i = (\underline{A}^T \underline{A} + \varepsilon^2 \underline{I})^{-1} \underline{A}^T \Delta\vec{\rho}_a^i \quad (5.12)$$

onde \underline{I} é a matriz identidade, ε é um parâmetro variável, conhecido como fator de amortecimento, e i representa o número de iterações. Se ε for muito grande, o algoritmo se aproxima aos métodos gradientes, o qual é lento mas sempre converge. No outro extremo, se ε for muito pequeno, tem-se o método de Newton-Raphson, o qual é muito rápido mas pode divergir. A técnica de mudar o valor durante o processo de inversão, para assegurar estabilidade e rápida convergência, é conhecida como mínimos quadrados amortecidos (*damped least square* ou *ridge regression*) (Levenberg 1944, Marquart 1963).

O algoritmo original de inversão por regressão múltipla elaborado por Inman (1975), foi modificado por Rijo *et al* (1977), com a finalidade principal de reparametrizar o problema em forma logarítmica, para excluir completamente o aparecimento de soluções negativas.

Alterações foram implantadas com o objetivo de encontrar a derivada das observações em relação aos parâmetros não logarítmicos calculados ao atingir o mínimo (matriz \underline{A}), foi feita a decomposição desta matriz em seus valores singulares e estudada sua condição. Deste modo, pôde-se escolher o número de valores singulares que foram utilizados para a determinação da matriz pseudo-inversa, com isso, um novo estudo estatístico foi realizado por Gonzales & Rijo (1991).

Quando o modelo eventualmente converge, ou seja, $\Delta\bar{P} \rightarrow 0$, pode-se obter estatística do algoritmo utilizado, uma série de parâmetros que nos permitem analisar a qualidade do ajuste e da interpretação (Glenn & Ward 1976). O mais importante entre esses parâmetros é a variância dos dados, obtida através da função *chi-quadrado* reduzida,

$$\aleph_v^2 = \frac{(\Delta\rho_a^{-T} \Delta\rho_a^{-})}{(n-m)} \quad (5.13)$$

onde n é o número de observações, m o número de parâmetros e $(n-m)$ expressa o número de graus de liberdade.

Estimativa dos erros nos dados (ε),

$$\varepsilon = (10^\sigma - 1) \times 100\%, \quad \text{para} \quad \sigma = (\aleph_v^2)^{1/2} \quad (5.14)$$

Da matriz *chi-quadrado* reduzida obtém-se a matriz covariância dos parâmetros que fornece uma idéia da incerteza da determinação de \bar{P} ,

$$\text{cov } \bar{P} = \aleph_v^2 \left(\underline{A}^T \underline{A} \right)^{-1} \quad (5.15)$$

onde, o desvio padrão estimado para cada parâmetro é obtido da raiz quadrada dos elementos da diagonal principal $\left([\text{cov}(\bar{P})]_{ii}^{1/2} \right)$.

Outra quantidade estatística importante é a matriz correlação, cujos elementos são determinados normalizando os elementos da diagonal principal da matriz $\text{cov}(\bar{P})$,

$$[\text{cov}(\bar{P})]_{ij} = \frac{\{[\text{cov}(\bar{P})]_{ij}\}}{\{[\text{cov}(\bar{P})]_{jj}^{1/2} [\text{cov}(\bar{P})]_{ii}^{1/2}\}} \quad (5.16)$$

Parâmetros com altos desvios padrões usualmente têm altos coeficientes de correlação. Assim, as incertezas calculadas podem ser maiores que os próprios parâmetros, por isso, não é

recomendável, nestes casos, apresentá-los com seus respectivos desvios padrões (Glenn *et al* 1976). Os coeficientes de correlação linear entre os parâmetros do modelo, derivados da investigação dos dados geofísicos, serão considerados altos quando apresentarem valores iguais ou maiores que 0.71 (Ward *et al* 1976).

O programa de inversão através de ajuste automático permite que dados eletrorresistivos sejam mais representativos. As resistividades aparentes medidas no campo funcionam como "input" para o processamento; o modelo inicial requerido para o processo de conversão adotado foi obtido pelo método direto que já define um certo número de parâmetros idealizados. O número de iterações, assim como sua precisão, dependem do modelo inicial usado, desde que exista uma certa coerência entre este e a geologia da área investigada. Segundo Gonzalez (1984) a falta de coerência entre o modelo e a geologia pode introduzir erros no ajuste de 12%.

5.2 – INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE GPR

Filtragem dos dados de radar são realizados para melhorar o sinal da onda durante a coleta nos trabalhos de campo.

Como ocorre na aquisição de dados sísmicos há um elemento significativo que determina um filtro apropriado para a qualidade dos sinais. Nos sistemas digitais mais sofisticados há a utilização de filtros verticais e horizontais que promovem ganhos na otimização da qualidade dos dados. Como regra, é aconselhável a utilização de filtros de faixa larga para preservar o potencial do valor dos dados.

É mais econômico usar filtros só após o trabalho de campo ter sido completado para que a qualidade dos dados não se comprometa, assim evitando possíveis repetições dos trabalhos de campo. Em alguns casos, apenas a utilização de filtros para melhorar a imagem é suficiente para identificar certas características do subsolo de interesse.

Os sistemas digitais possuem uma função que realiza o empilhamento de um número limitado de traços adjacentes para que a razão sinal/ruído melhore. Isto funciona muito bem em áreas onde as estruturas são paralelas ou quase paralelas a superfície do terreno. Quando

estruturas inclinadas estão presentes, o empilhamento horizontal pode produzir perdas de detalhes fornecendo uma imagem desfocada.

Quando são usadas duas antenas separadas, onde uma é transmissora e a outra receptora é possível determinar a variação vertical da velocidade da onda (e portanto a constante dielétrica relativa).

Em cada uma das configurações, tais como, Ponto Médio Comum (*CMP*), reflexões e refrações com grandes ângulos (*WARR*), há três tipos de ondas que podem ser identificadas:

- Onda aérea, viajando do transmissor para o receptor pelo ar, com a velocidade da onda no ar (0,3 m/ns);
- Onda direta, indo do transmissor para o receptor próxima da superfície do terreno, com velocidade do meio onde se encontra;
- Onda refletida, indo do transmissor até a interface de contato entre dois meios, com propriedades elétricas diferentes, é refletida na interface de contato e detectada pelo receptor, a velocidade da onda é referente ao meio acima da interface. (Reynolds 1997).

O grau de processamento depende da qualidade dos dados, dos detalhes que se deseja obter. Para uma análise mais detalhada dispõe-se de uma gama de processamentos. Esse processamento é realizado de maneira sistemática. Dependendo do objetivo a que se destina a interpretação, pode-se remover ou realçar certas feições de interesse. A interpretação é baseada na configuração, amplitude e continuidade das reflexões dos dados registrados.

Um aspecto fundamental da interpretação de dados de georadar ou uma seção sísmica, é distinguir o evento primário (causado pelas características da subsuperfície local) do evento secundário (como reverberações, múltiplas, ruído instrumental, interferências, etc...). Na grande maioria dos levantamentos de campo tenta-se reduzir ou remover os eventos secundários.

5.2.1 – Interpretação Gráfica

Radargramas em cópias de papel podem ser analisados na identificação de refletores, difratores e medidas do tempo duplo de viagem na identificação de eventos. Medindo ou atribuindo valores relativamente aproximados para a constante dielétrica – obtém-se um valor

para a velocidade da onda, assim o tempo duplo de viagem pode ser convertido em profundidade. Onde os dados de radar tiverem sido adquiridos, e reflexões identificadas em áreas significativas, é possível produzir posteriormente mapas de tempo duplo de viagem, ou mapas de isópacas, indicando a profundidade, espessura de uma camada em particular, fornecendo uma medida real da velocidade da onda. Esta aproximação é particularmente prevalecente em análise de rodovias pavimentadas, onde o número de camadas discretas é usualmente bem constituída, sendo paralelas à superfície do terreno (camada limite de betume ou concreto, camada granular, parte inferior ou superior da sub-base).

É necessário uma cuidadosa consideração da exatidão na marcação da chegada dos vários refletores do radargrama, bem como, a confiança da velocidade da onda usada para originar a profundidade

Além do mapeamento da interface, é possível usar as variações das características mostradas no radargrama, como a indicação das condições de subsuperfície, por exemplo: áreas com alta atenuação do sinal podem mostrar zonas com elevada condutividade as quais podem ser interpretadas como sendo zonas poluídas ou pacotes argilosos, indicando no radargrama uma série de pulsos de larga amplitude. Zonas de falhas nas camadas podem estar evidentes pela perda da coerência dos primeiros eventos de reflexão.

5.2.2 – Análise Quantitativa

Quando uma análise quantitativa detalhada é atribuída aos dados, tais como, análise da amplitude, determinação do coeficiente de reflexão e variações na constante dielétrica relativa, um entendimento mais compreensivo do meio pode ser obtido. Complementando, uma adequada qualidade dos dados cuidadosamente processada pode fornecer uma valiosa informação sobre a petrofísica para um dado regime da engenharia ou da geologia. Processamento de alto nível e análise estão se tornando cada vez mais importantes onde discriminações detalhadas são exigidas.

O ganho é entendido como um compensador da supressão do sinal que ocorre quando há o decaimento da amplitude devido ao espalhamento geométrico da onda. A utilização de serve filtros para melhorar a relação sinal/ruído.

O ajuste do tempo zero para a posição verdadeira é a primeira etapa a ser realizada antes de qualquer tipo de análise de velocidade, pois o tempo zero que é registrado pelo radar leva em consideração a onda que viaja pelo ar até a superfície do terreno.

A migração é o processo para restaurar a geometria dos eventos registrados nas seções temporais. O mergulho abrupto do refletor aparece numa posição geométrica incorreta. Assim, a migração move um dado evento para a posição verdadeira. O melhor benefício desse processo é o colapso das difrações na forma de hipérbolas para seus pontos de origem. Há um grande número de diferentes processos migração tais como de Kirckkoff (Claerbout 1985)

O perfil de *GPR* foi interpretado através do software comercial *GRADIX v1*, objetivando uma melhora na qualidade visual, através da utilização de ganhos na amplitude do sinal, filtragem dos ruídos, ajuste do tempo zero verdadeiro.

5.3 – APRESENTAÇÃO DOS DADOS INTERPRETADOS

5.3.1 – Dados SPTs

Os dados de *SPT* são apresentados desenhos denominados de perfil geotécnico. Normalmente são executados dois perfis : um para cada sondagem individualmente e outro para várias sondagens do conjunto. No primeiro são mostrados os diferentes tipos de material geológico encontrados ao longo da sondagem; o índice de resistência a penetração inicial e final; um gráfico mostrando este índice até o limite da perfuração; a profundidade de mudança de cada camada; a cota da boca do furo e os níveis de água.

O segundo, denominado de perfil longitudinal de sondagem, ou perfil geotécnico longitudinal (Figura 15), localizado à Rua 9 de Janeiro entre Antônio Barreto e Oliveira Belo, os dados de *SPT* estão no ANEXO A., representa um corte no subsolo na posição de duas ou mais sondagens. Ele retrata as espessuras das diferentes camadas encontradas; a litologia da área; o tipo de perfil, se simples ou errático e a extensão dos diferentes horizontes. Este perfil auxiliou na interpretação dos ensaios geofísicos realizados como o perfil de *GPR* e as *SEVs* 05 e 06.

Quando se deseja realizar um estudo mais abrangente, levando em consideração a confecção de seções bi e tridimensionais com os dados *SPT*, não é uma tarefa trivial, haja vista que ensaios *SPT* realizados não foram todos eles executados pela mesma equipe de sondadores. Dessa forma a técnica utilizada pelo sondador e a anotação no boletim de campo pode ser diferente apesar de eles terem que seguir um determinado padrão. Então, a sondagem elétrica vertical (*SEV*) pode ser empregada como auxiliar na determinação de perfil com valores de resistividade elétrica e conseqüentemente na identificação da camada de maior resistência mecânica, pois se faz uma analogia com os valores de resistividade elétrica e os de resistência mecânica.

O resultado da interpretação das 23 *SEVs* localizadas no mapa da Figura 2 (CAPÍTULO 1) está apresentado na Tabela 7. Essa tabela fornece valores de resistividade e espessura das camadas identificadas; na última coluna está representada o topo da camada de maior resistividade elétrica representada na Figura 21, valores em relação a superfície do terreno.

Tabela 7- Resultado da interpretação quantitativa das *SEVs* realizadas.

SEVs	RESISTIVIDADE DAS CAMADAS ($\Omega.m$)					ESPESSURA DAS CAMADAS (m)				TOPO DA CAMADA RESISTIVA (m)
	P1	P2	P3	P4	P5	h1	h2	h3	h4	
01	150	28	2	280		0.7	3.4	25		29.10
02	207	16	8	143	1	0.9	2.8	8.26	3.2	11.96
03	289	26	4	300		0.8	2.5	24		27.30
04	277	31	3	304		0.6	3.2	30.8		34.60
05	82	37	261	19		0.8	1.2	4.25		—
06	68	15	219	14		1.5	9.3	5.2		10.8
07	1474	118	3	245		0.5	2.3	18		20.80
08	269	75	207	8	469	1.7	5.9	4	4.2	15.8
09	85	25	6	272		1	15.8	1.2		18
10	85	38	6	76	6	1.1	4	8.4	3.8	—
11	143	26	4	77	3	0.4	3.7	13.5	2.7	—
12	93	17	3	278		0.9	3.8	23.9		28.6
13	292	40	2	240	3	0.5	3.5	2.6	6.7	6.60
14	927	310	15	38		0.3	1.6	30		31.9
15	1745	370	73	132		0.3	6	1		—
16	3450	144	351	112		1	4.5	7.6		5.5
17	119	25	5	274		0.8	2.3	18		21.10
18	93	11	4	241		1.3	3.1	14		18.40
19	743	130	270	64		0.4	0.8	8.3		—
20	64	267	98			0.7	5.4			6
21	54	14	3	90		1.5	3.7	16.0		21.20
22	152	33	82			0.2	7			7.2
23	52	43	3.7			0.6	2.6			—

Durante o trabalho tomou-se o cuidado em minimizar os fenômenos não considerados no modelo físico-matemático utilizado na fase interpretativa, que ocorrem devido a elevada resistência do contato entre os eletrodos e o terreno, e indução eletromagnética entre os circuitos de emissão e recepção.

Pela análise dessas *SEVs* observa-se que a maioria das curvas apresenta-se com uma seqüência formada por quatro horizontes geolétricos. A grande maioria das *SEVs* apresentou um ramo ascendente, o que caracterizou a presença de uma camada de elevada resistividade, típica de camadas arenosas.

O primeiro horizonte geolétrico, correspondendo ao solo/aterro nas ruas e avenidas, apresenta resistividade elétrica que varia de 50 Ω .m a 3500 Ω .m e espessura de 0,3 a 1,5 metros; os altos valores de resistividades justificam-se pela presença de capeamentos de piçarras. Esse tipo de aterro é executado sob intensa compactação, no intuito de reduzir o número de vazios e, a condução de carga elétrica nos materiais geológicos superficiais. Os baixos valores de resistividades justificam-se pelo fato do solo estar muito molhado, devido à incidência pluviométrica do dia anterior à execução da coleta de dados por *SEV*, ou por estar coberto por matéria orgânica ou solo de constituição argilosa.

O segundo horizonte geolétrico detectado corresponde à camada abaixo do solo/aterro, que apresenta resistividade elétrica que varia de 19 Ω .m a 45 Ω .m e espessura de 2 a 18 metros. Constituída na sua grande maioria de silte arenoso ou silte argiloso intercalado com lentes arenosas.

O terceiro horizonte geolétrico, apresenta resistividade elétrica que varia de 2,5 Ω .m a 8 Ω .m. Esses baixos valores de resistividade se justificam por corresponder à camada de argila orgânica, presente na maioria das áreas de baixadas de Belém, podendo serem encontradas lentes de material com maior resistividade elétrica correspondendo a areias e siltes.

O quarto horizonte geolétrico identificado corresponde à camada com elevados valores de resistividade elétrica, variando de 240 Ω .m a 350 Ω .m, e espessura que não pode ser determinada devido a limitação na profundidade de investigação. Esses altos valores de resistividade elétrica estão associados à camada rija que pode ser constituída de areia ou argila.

A interpretação das *SEVs* sugere para a área sob estudo a seqüência geolétrica apresentada na Tabela 8, como a mais representativa.

Tabela 8 – Modelo geoeétrico – litológico de subsuperfície rasa proposto para a área estudada.

Camada	Descrição Litológica	Resistividade ($\Omega.m$)	Intervalo de espessura (m)
1	Solo/Aterro	$50 \leq \rho_1 \leq 5000$	$0.3 \leq h_1 \leq 1.5$
2	Silte com lentes arenosas	$9 \leq \rho_2 \leq 45$	$2 \leq h_2 \leq 18$
3	Argila muito mole com lentes siltosas ou argilo – arenosas	$1.5 \leq \rho_3 \leq 8.5$	$2.5 \leq h_3 \leq 36$
4	Areia muito compacto ou argila muito consistente	$140 \leq \rho_4 \leq 590$	$3 \leq h_4 \leq 10$

5.3.3 – Seções Geoeétricas

A interpretação das *SEVs*, quando feita isoladamente, revela os diferentes horizontes geoeétricos presentes no subsolo. Contudo quando a interpretação é feita em conjunto, permite visualizar a continuidade lateral e a distribuição espacial dos diferentes pacotes geoeétricos identificados.

Foi possível preparar três seções que serão a seguir descritos.

5.3.3.1 Seção Geoeétrica AB

A seção geoeétrica ao longo da linha *AB*, mostrada na Figura 16, tem direção NO-SE, e está baseada nas *SEVs* 18, 12, 11, 10, 9, 8 e 13, executadas ao longo da rua Curuzú, com exceção da *SEV*18 que se encontra na trav. 14 de Março.

Nota-se, no perfil, a presença de camada argilosa, com espessura variável, sobreposta a uma camada com altos valores de resistividade elétrica caracterizada por apresentar em sua litologia areia, silte ou argila, constituindo camada de consistência rija a muito rija, identificada nos furos de sondagem *SPT* como o limite da sondagem. Geralmente o material que apresentou baixos valores de resistividades elétrica foi caracterizado como sendo de consistência mole.

A *SEV* 12, para este perfil, apresenta um extenso pacote argiloso, com espessura que pode chegar aproximadamente até 24 metros, atingindo uma profundidade de 28,5 metros. A partir da *SEV* 12, em direção às demais *SEVs* nessa seção, a camada de argila vai se afinando e a subjacente de alto valor de resistividade elétrica, material rijo, vai se elevando e se aproximando da superfície do terreno.

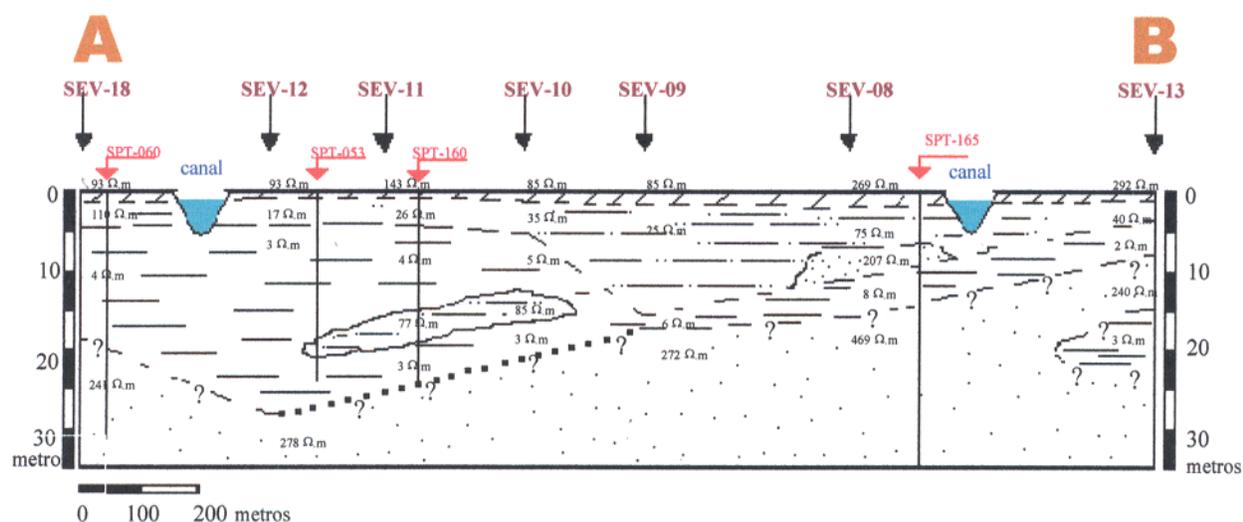
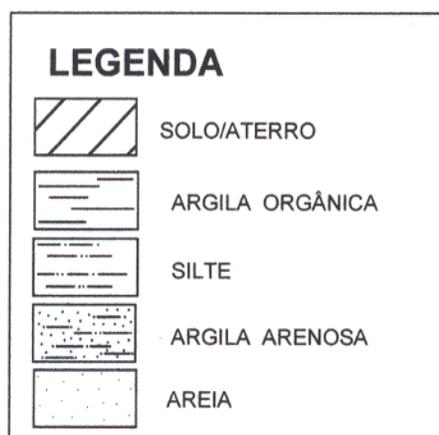


Figura 16- Seção Geolétrica *AB* baseada nas *SEVs* 18, 12, 11, 10, 09, 08 e 13.



5.3.3.2 – Seção Geométrica CD

Constituída pelos dados interpretados das *SEVs* 05, 06, 07, 04 e 16, tem direção S-NE, na Figura 17. A seção *CD* foi escolhida por ser quase transversal à seção *AB* e por cortar o canal da trav. Antônio Baena.

No perfil novamente tem-se espessa camada argilosa, que foi identificada na *SEV* - 04 com espessura aproximada de 33 metros atingindo uma profundidade aproximada de 36 metros, constituindo a *SEV*, nesse perfil, como a que apresentou a maior espessura de camada. Abaixo dessa camada argilosa tem-se outra com altos valores de resistividades elétricas caracterizada por apresentar em sua litologia areia, silte ou argila, constituindo camada de consistência rija a muito rija, identificada nos furos de *SPT* como o limite da sondagem. Assim, nota-se que a partir da *SEV* - 04 em direção às demais nessa seção, a camada de argila vai se afinando e a subjacente, de alto valor de resistividade elétrica, vai se elevando e se aproximando da superfície do terreno.

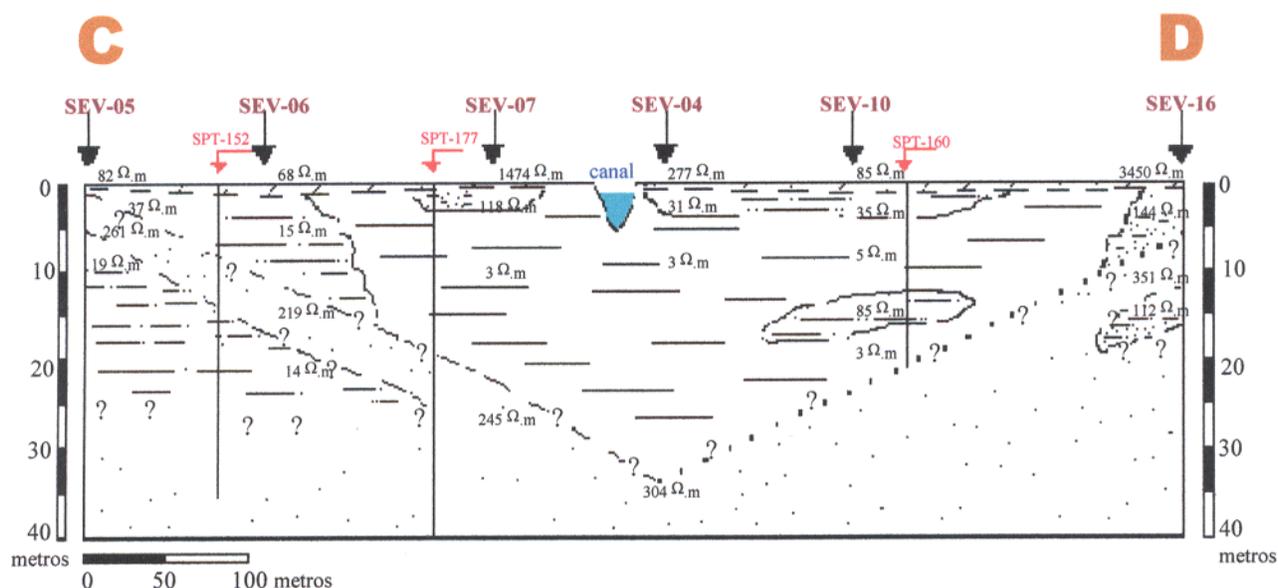


Figura 17 - Seção Geométrica CD baseada nas *SEVs* 05, 06, 07, 04, 10 e 16.

5.3.3.3 - Seção Geométrica EF

Constituída pelos dados interpretados das *SEVs* 23, 01, 02, 03 e 09, tem direção *N-S* (Figura 18).

Na análise do perfil é observada a presença de espessa camada argilosa, nas *SEVs* 01, 02 e 03, onde pode-se encontrar a presença de lentes de material diferente da argila, com valores elevados de resistividade elétrica, na faixa de 150 $\Omega.m$. Abaixo desta camada argilosa, com valores aproximados de 300-600 $\Omega.m$, é detectada a camada de maior resistência mecânica, o que foi observado durante as sondagens com ensaios *SPT*. A camada argilosa apresenta uma redução em sua espessura na direção da *SEV* - 09 onde predomina uma camada de silte mais espessa.

A abertura de eletrodos (*AB*) da *SEV* 23 foi limitada devido à presença de ruas asfaltadas, Por esse motivo não foi possível determinar a espessura da camada argilosa e/ou topo da camada de maior resistividade elétrica.

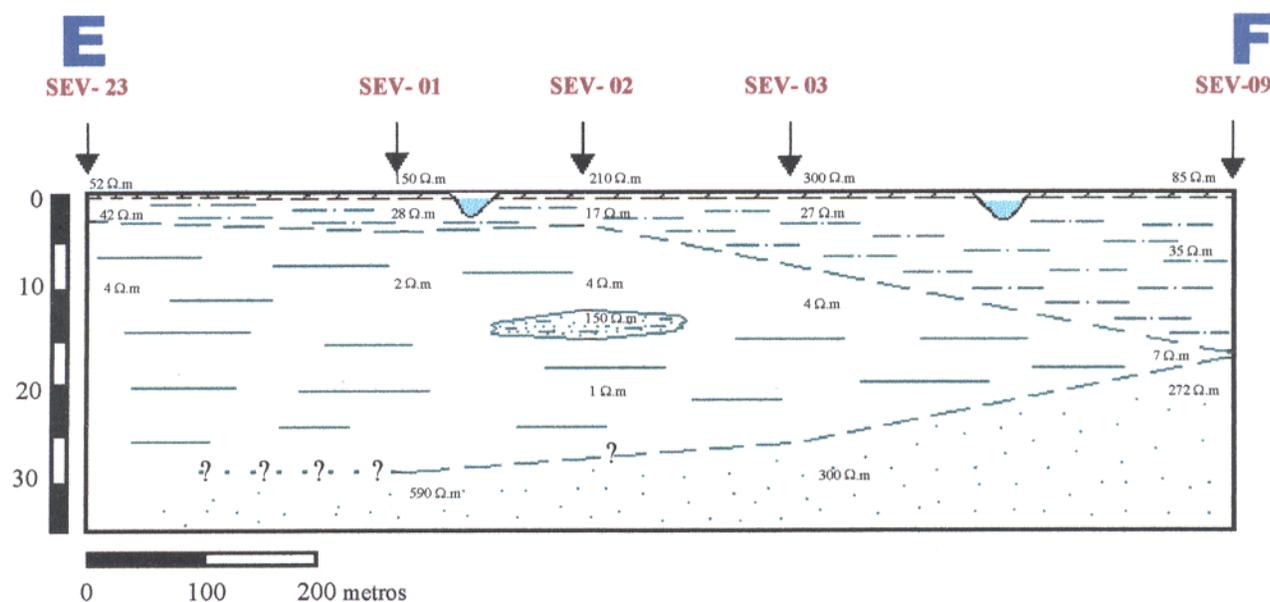


Figura 18 – Seção Geométrica EF, baseada nas *SEVs* 23, 01, 02, 03 e 09.

5.3.4 – Mapa 3D do topo da Camada Rija

Os dados obtidos (1D) podem ser usados no mapeamento do topo da camada de maior eletrorresistividade, conseqüentemente, da camada com maior resistência mecânica. Este dado é importante uma vez que fornece uma visão em três dimensões da área a qual se destinará a construção de obras de engenharia civil (fundações).

A partir da interpretação das *SEVs* obteve-se os valores em profundidade do topo dessa camada. A localização das *SEVs* em mapa foi digitalizada no programa Logplot e convertido para o formato .DAT. O próximo passo foi exportar esses valores digitalizados para o SURFER, software gráfico que plota mapas de contorno e superfícies em três dimensões, e inclusão dos valores de profundidade e da topografia do terreno.

Com o resultado das plotagens no SURFER foram preparados mapas de superfícies e de linhas de contorno. O mapa 3D da topografia do terreno pode ser visto na Figura 18, e as linhas de contorno na Figura 19. O mapa da superfície da camada de material rijo, de maior resistividade elétrica, está representado na Figura 20, e o mapa de contorno na Figura 21.

Da Figura 21, nota-se que *SEVs* que foram executadas próximas ao canal apresentam vales com maiores profundidades, e para áreas mais afastadas dos canais o topo da camada se encontra mais próximo da superfície do terreno. A Tabela 7 fornece valores do topo da camada de maior resistividade elétrica, profundidade em relação ao nível do terreno.

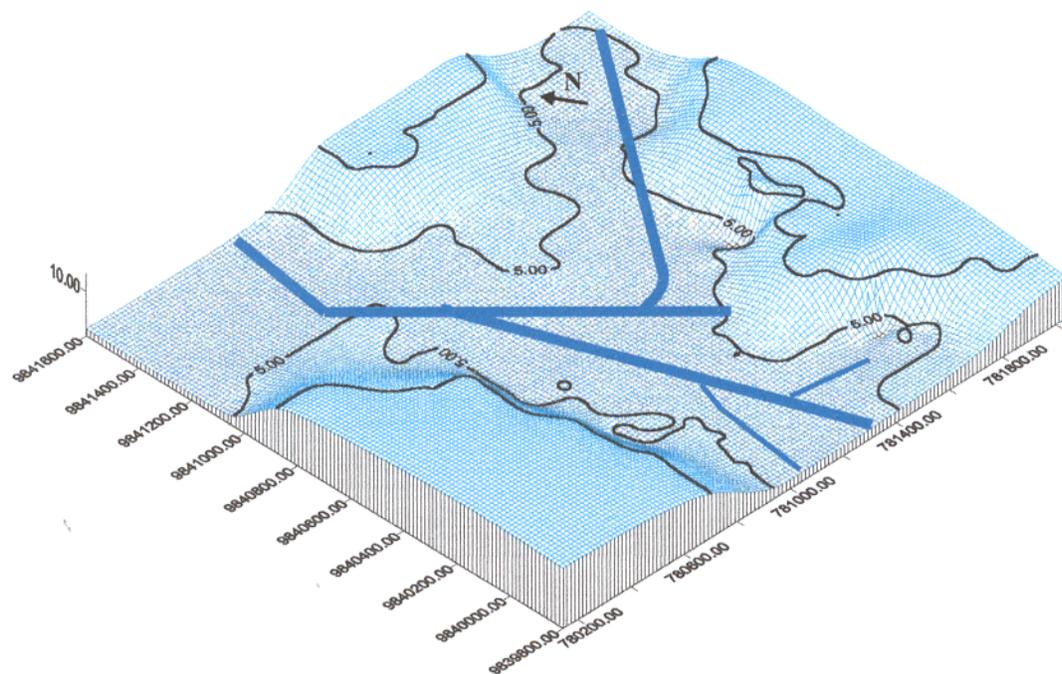


Figura 19 – Mapa 3D da superfície do terreno, mostrando a localização dos canais; valores de elevação em metros

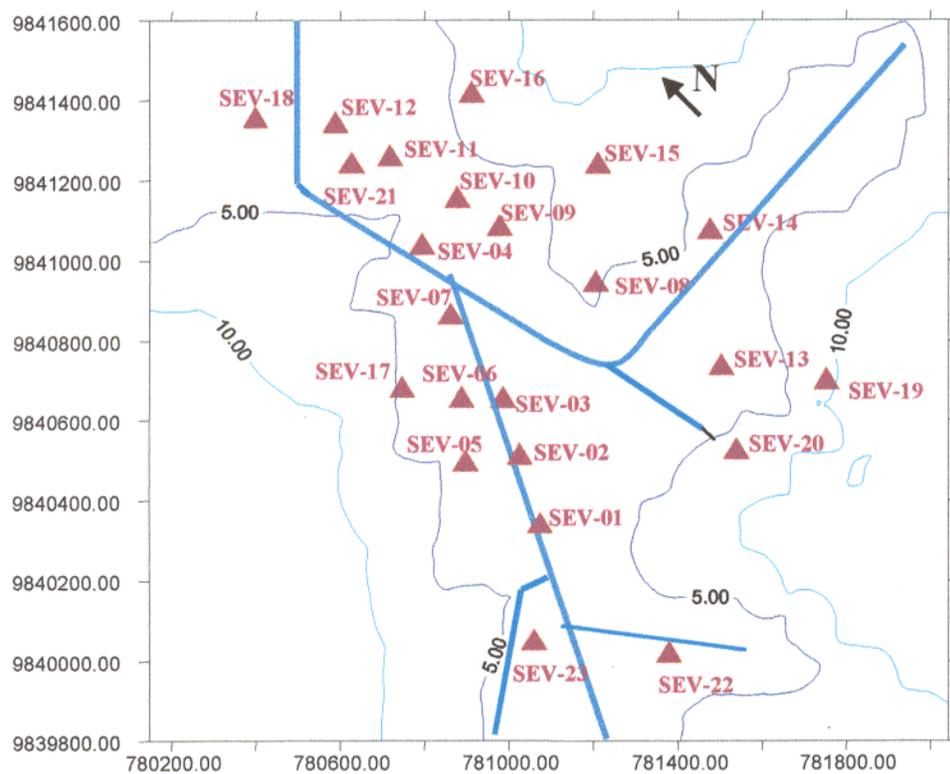


Figura 20 – Mapa de contorno da superfície do terreno, valores de elevação em metros

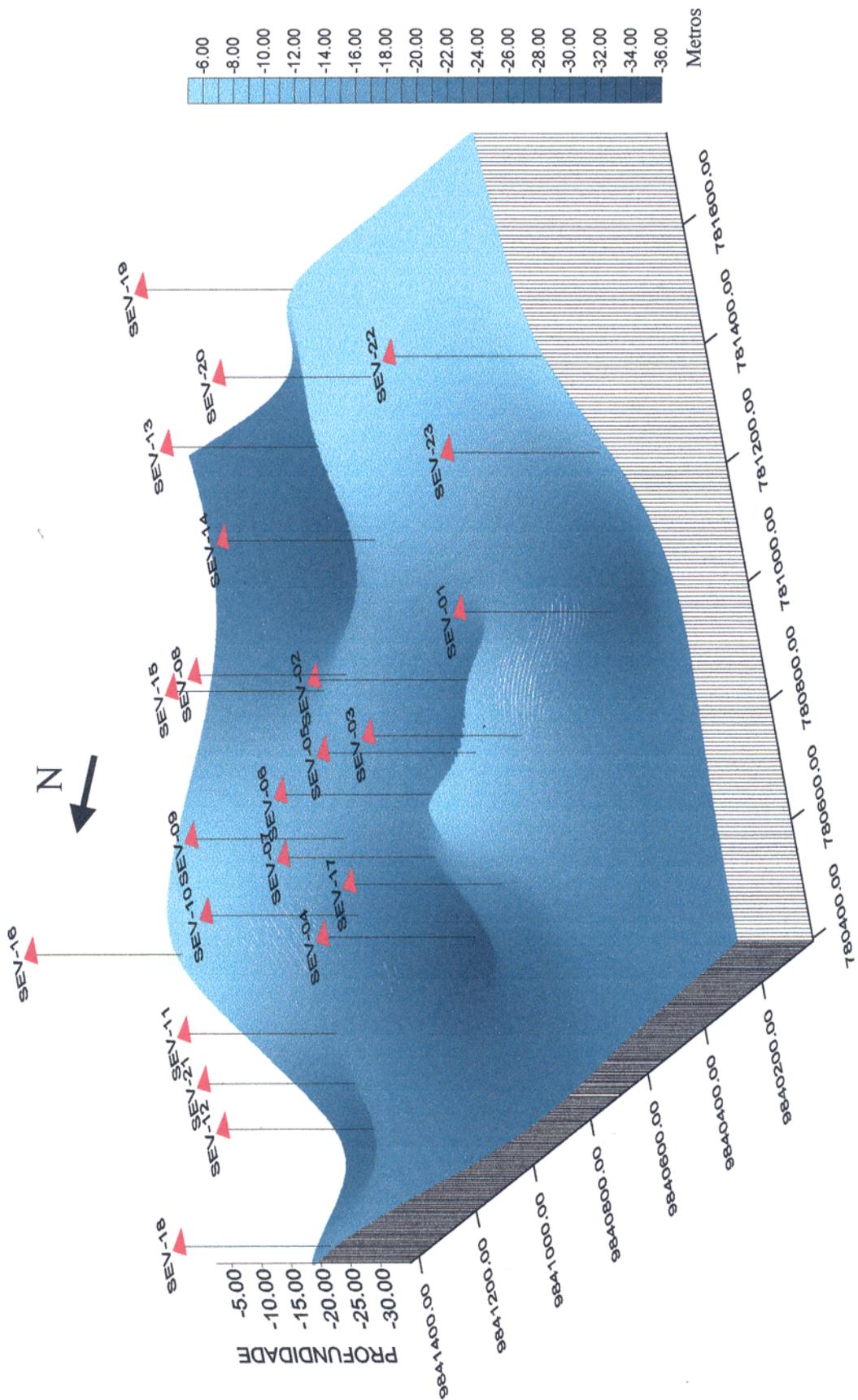


Figura 21 – Mapa 3D do topo da camada rija de maior resistividade elétrica, profundidade em relação a superfície do terreno.

5.3.5- Dados de GPR

O uso do radar de penetração no solo teve como um dos objetivos auxiliar na diminuição da ambigüidade existente na determinação do contato da camada rija com a mole, presente na interpretação das *SEVs* na seção geométrica *CD*, ilustrada na Figura 17; o outro estudar a aplicabilidade nas situações geométricas tipicamente encontradas em áreas de baixadas.

A seção de georadar realizada está ilustrada na Figura 23, a correção do tempo zero verdadeiro na Figura 24, enquanto que a Figura 25 mostra os dados do radar após a aplicação de filtros para melhorar o sinal. Pode-se observar um evento na forma de hipérbole (Figura 23) confirmando a presença de tubulação de esgoto e drenagem, localizado à Trav. Diogo Mória; essa feição foi removida pela operação de migração dos dados, veja Figura 26.

Podemos localizar o nível do lençol freático no tempo duplo de 40 *ns* identificados no perfil de radar temporal (Figura 23)

Nota-se a 60 metros do início do perfil a presença de uma camada superficial bem definida atingindo o tempo duplo de 80 *ns*. Essa camada foi identificada também na seção geométrica *CD* pela *SEV* 05. De acordo com o *SPT* – 145 essa camada é composta de areia apresentando baixos valores de condutividade elétrica. Esta interface entre areia e argila é bem identificada neste radargrama.

Outro evento também identificado, compreendido entre os trechos de 158 metros a 190 metros, representa um provável canal aterrado, fazendo deslocamentos laterais nas linhas do radargrama.

Infelizmente a profundidade de investigação não foi determinada por não ter sido realizado os ensaios sugeridos na seção 4.2.3. Porém não invalidou o perfil coletado. A perda de sinal no perfil ilustra que a presença de matéria orgânica e argila condutivas impossibilita a identificação de interfaces mais profundas entre camadas mole e rijas.

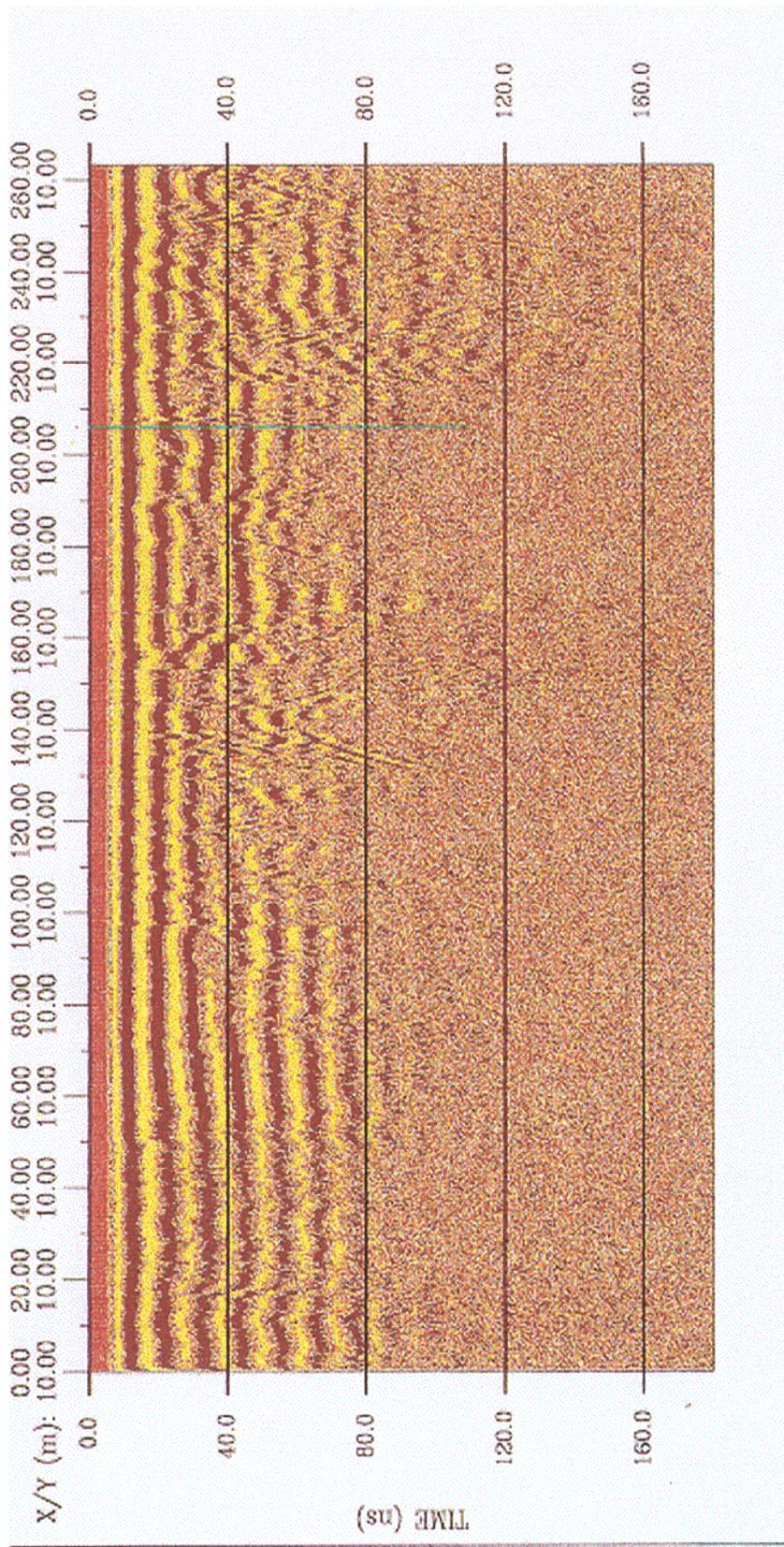


Figura 23 – Seção de radar obtida à Trav. 9 de janeiro. ESC. HORIZONTAL: 1:3005.8

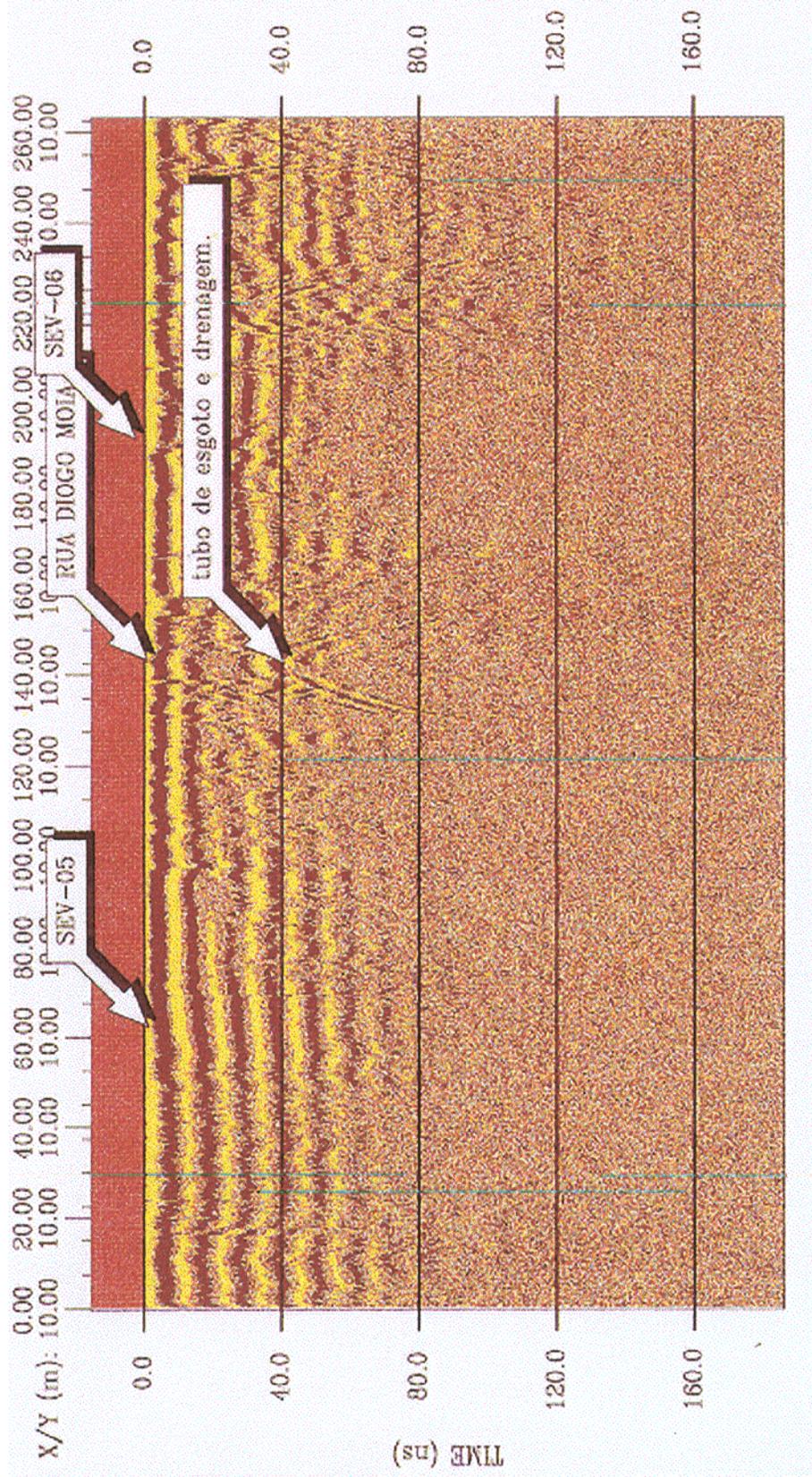


Figura 24 – Seção de radar após a correção do tempo zero. ESC. HORIZONTAL: 1:3005.8

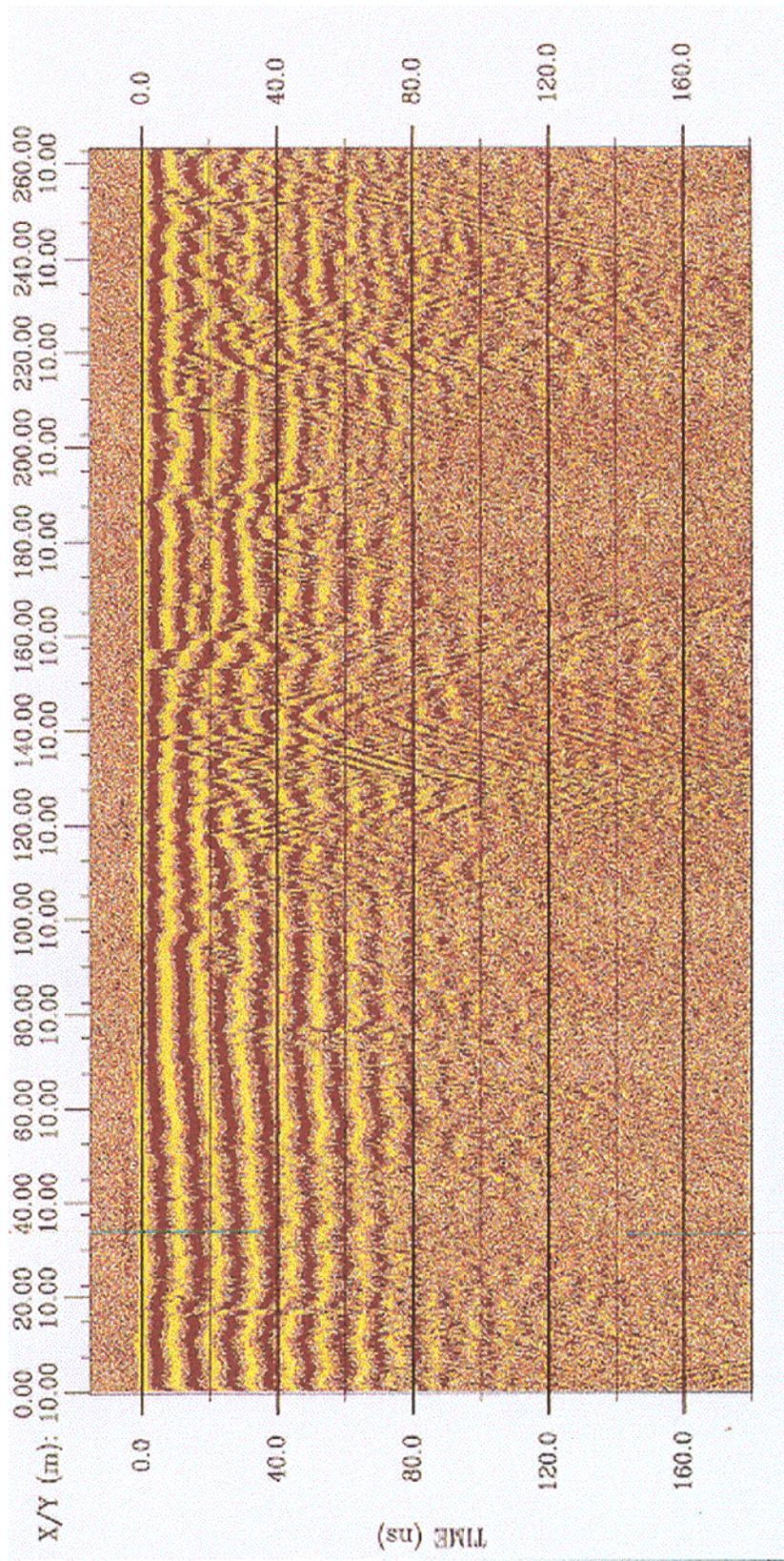


Figura 25 – Seção de radar após filtragem dos dados. ESC. HORIZONTAL: 1:3005.8

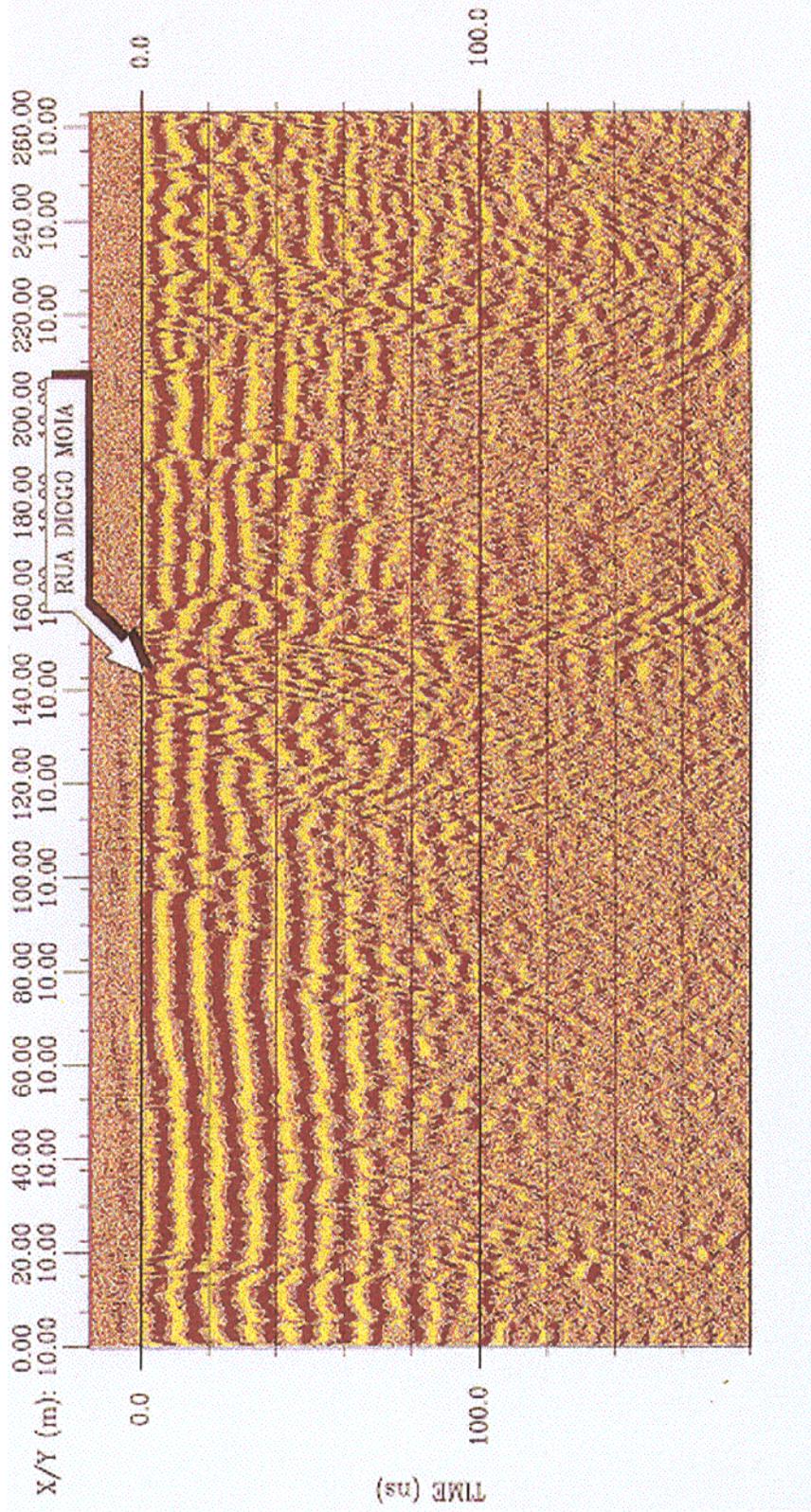


Figura 26 – Seção de radar após eliminação da hiperbole.. ESC. HORIZONTAL: 1:3005.8

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O resultado que se esperava da aplicação do método geofísico de eletrorresistividade como auxiliar no mapeamento geotécnico, visando a identificação da camada rija onde estão e estarão assentes a maioria das fundações das edificações, teve uma resposta satisfatória, embora tivesse como objetivo atingir uma profundidade maior de investigação. Uma maior profundidade de investigação poderia fornecer informações a respeito do topo e base da camada rija, bem como o estrato argiloso que se encontra abaixo desta sugerido por Sampaio Júnior (1995).

A não determinação da base da camada rija para algumas das *SEVs* ficou limitada devido a restrições na abertura de eletrodos *AB* no máximo de 110 metros, em função da existência de ruas e avenidas, na sua grande maioria asfaltadas, além de obras de engenharia. Orientação e abertura das sondagens coincide com a orientação das ruas ou travessas onde foram executadas, pois as vias públicas são os únicos locais com espaço suficiente para a abertura dos eletrodos. O auxílio de informações obtidas através das sondagens *SPT* foi importante na interpretação das *SEVs* no sentido de diminuir ambigüidades.

A análise das *SEVs* permitiu definir três horizontes geoeletricos, (Figuras 16, 17 e 18):

- O primeiro, corresponde ao solo superficial que mostra heterogeneidade lateral, com espessuras que podem atingir até 1,5 metros aproximadamente;
- O segundo, constituído na sua grande maioria de silte-arenoso ou silte-argiloso, apresenta espessura que varia de 2 a 18 metros, com valores de resistividade menores que o primeiro horizonte devido ao nível do lençol freático;
- O terceiro, com valores de resistividade elétrica muito baixos, identificados na maioria das curvas das *SEVs* pelo ramo descendente. O material geológico para este horizonte é uma argila de consistência muito mole, estando presente também matéria orgânica. A espessura desta camada varia de 2,5 a 32 metros;
- O quarto, representa o estrato com elevada resistividade elétrica, caracterizando a camada rija, podendo ser constituída de areia muito compacta ou argila muito consistente. O topo

desta camada varia aproximadamente de 9 a 36 metros ou mais, menor profundidade encontrada nas áreas mais afastadas dos canais, e com maior profundidade nas áreas mais próximas aos canais (Figura 21 e 22). É esta camada o objeto de investigação para o engenheiro de fundações.

A geologia da área em estudo, por ser de formação aluvionar, é bastante complexa. Essa descrição geológica (tátil - visual) obtida durante o ensaio *SPT* mostra uma grande variação de material, apesar de serem realizadas muito próximas umas das outras.

A profundidade de investigação do ensaio *SPT* é limitada quando não é mais possível continuar com a sondagem, devido à presença de material mais resistente a penetração do equipamento. Assim, fica limitado o conhecimento abaixo do estrato mais rijo. Por esses motivos ensaios geofísicos podem ser de grande ajuda no mapeamento geotécnico, pois podem definir grandes feições, como contatos litológicos, zonas de fraturas e profundidades do topo rochoso, utilizando ensaios não destrutivos no solo, pois a investigação é indireta.

O perfil de GPR apresentou excelentes resultados referentes a identificação do contatos litológicos, mas com sérias limitações quanto a profundidade de investigação, não ultrapassando 6 metros de profundidade aproximadamente, devido à presença de argila com matéria orgânica de baixa resistividade elétrica. Outra limitação se dá ao fato de que o registro de GPR não é uma tarefa trivial de interpretação devido à sua complexidade, por isso, sugere-se que seja realizado um estudo voltado apenas para determinação das propriedades físicas do solo, tais como: velocidade, constante dielétrica relativa (ϵ_r) e permeabilidade magnética (μ_r).

Recomenda-se que trabalhos futuros sejam realizados para melhorar a qualidade das informações, utilizando para isto outros ensaios geofísicos, tais como:

- Sísmica de refração, aumentando a profundidade de investigação e identificação do topo e base da camada rija;
- Ensaio com o GPR usando o arranjo, ponto médio comum (*CMP*) para a determinação mais detalhada das velocidades de propagação da onda em diferentes litologias;
 - Caminhamento elétrico, para a determinação da variação lateral da resistividade aparente a uma determinada profundidade;

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABGE. 1980. *Glosário de termos técnicos de Geologia de Engenharia: equipamentos de sondagens*. 62p.
- ABGE. 1990. *Diretrizes para a execução de sondagens*. 3ed. São Paulo. 45p. (Boletim Especial).
- ALENCAR JÚNIOR, J.A.A. & SANTOS FILHO, W.M. 1993. *Mapa Geotécnico da cidade de Belém – Proposta Inicial*. Belém, UFPa. Trabalho de Conclusão de Curso (Eng. Civil).
- ALVES, J.J.A. 1979. *Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará*. Belém, UFPa. CG. 55p Dissertação (Mestrado em Geofísica).
- ALVES, J.J.A. & LOURENÇO, J.S. 1981. Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia no Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Geologia* [N.S.], 26: 1-52.
- ANNAN, A.P. and DAVIS, J.L. 1978. Methodology for radar transillumination experiments. *Report of Activities, Geological Survey of Canada, Paper 78 – 1B*, 107 – 110.
- ARANTES, J.L.G., DAMASCENO, B.C., KREBS, A.S.J. 1972. *Projeto argila Belém: Relatório Final*. Convênio DNPM/CPRM. V02. 40p.
- ARCONE, S. A. 1984. Field observations of electromagnetic pulse propagation in dielectric slabs, *Geophysics* 49, 1763 – 1773.

- BAHIA, M.P. 1985. *Condições de exploração das águas subterrâneas da região metropolitana de Belém e adjacências*. Belém, UFPa. 30p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia).
- BERES JR, M. & HAENI, F.P. 1991. Application of Ground-Penetrating-Radar in Hydrogeologic studies. *Ground Water*, 29 (3): 375-386.
- BHATTACHARYA, P.K. & PATRA, H.P. 1968. *Direct Current Geoelectric Sounding: Principles and interpretation*. Amsterdam, Elsevier. 135p.
- CHAGAS, M. A.A. 1990. *Estudo Sedimentológicos e paeontológicos dos sedimentos Cenozóicos de subsuperfície do poço Furo do Museu*. Belém, UFPa. 70p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia).
- COSTA, A.F.M.V., & VEIGA, J. 1997. *Contribuição à Proposta de Mapeamento Geotécnico da área urbana de Belém*. Belém, UFPa. 3 apêndices Trabalho de Conclusão de Curso de Eng. Civil.
- COSTA, T.C.D. (no prelo). *Análise Crítica Das Metodologias Gerais De Mapeamento Geotécnico Visando Aplicação E Formulação De Diretrizes Para A Cartografia Da Área Metropolitana De Belém, Escala 1:50.000*. Belém. UF Pa. Tese (Doutorado).
- DANIELS, D.J., GUNTON, D.J., SCOTT. H.F. 1988. *Introduction to subsurface radar*. IEE Proceedings, 135 (F,4): 278-320.
- DAVIS, J.L. & ANNAN, A.P. 1989. Ground-Penetrating radar for high-resolution of soil and rock stratigraph. *Geophysical Prospecting*, 37 (5): 531-551.
- FARIAS, E. dos S, NASCIMENTO, F.S. do, FERREIRA, M. A.A. 1992. *Estágio de Campo III – Área Belém/Outeiro*. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 247 p. il. Inclui 4 anexos.

- FERREIRA C.S. 1982. Notas estratigráficas sobre o Cenozóico Marinho do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA. 1. Belém, *Anais*. SBG. V.1, p 84-88.
- GALLI, V.L. & PEREIRA, L.A. de S. 1999. GPR – Exemplos de Aplicação. In: SIXTH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRASILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY. Rio de Janeiro – RJ. *Anais*. SBGF.
- GLAERBOUT, J.F. 1985. *Imaging the Earth's Interior*. Oxford: Blackwell Scientific.
- GLENN, W. . A., & RYU, J., WARD, S. H., PEEPLES, J. J. & PHILLIPS, R. J. 1973. The inversion of vertical magnetic dipole sounding data. *Geophysics*, 38: 1109- 1129.
- GLENN, W.E. & WARD, S.H. 1976. Statistical evaluation of electrical sounding methods. Part I: Experimental design. *Geophysics*. 41: 1207-1222.
- GONZALEZ, C. A.A. 1984. *Estudo geofísico regional sobre águas subterrâneas na Ilha do Marajó, Pará, Brasil*. Belém. Universidade Federal do Pará. Núcleo de Geofísicas e Geológicas. 143p. Dissertação (Mestrado em geofísica).
- GONZALEZ, C. A. A. & RIJO, L. 1991. Análise da utilização da teoria os meios estratificados na interpretação de SEVs da Ilha do Marajó, Pará. *Revista Brasileira de Geofísica*. 9 (2): 187-197.
- GUPTASERMA, D. 1982. Otimization on short digital linear filter for increased accuracy. *Geophysical Prospecting*, 30: 501-514.
- HÜSENBECK & Co. 1926. German patent no 489434.
- INMAN, J.R., RYU, T., WARD, S.H. 1973. Resistivity Inversion. *Geophysics*, 38: 1088-1108.

- INMAN, J.R. 1975. Resistivity Inversion with ridge regression. *Geophysics*, 40:789-817.
- KELLER, G.V. & FRISCHNECHT, F.C. 1970. *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Oxford, Pergamon Press. 517p.
- KOEFOED, O., 1979. *Geosounding Principles 1, Resistivity Sounding Measurements*. Amsterdam, Elsevier. 276p.
- LEIMBACH, G. & LÖWY, H. 1910. German patent no. 237944.
- LEVENBERG, K. 1944. A method for the solution of certain non-linear problems in least square. *Quart. Appl. Math.* 2: 164-168.
- LIMA FILHO, M.F. 1985. *Estudo Sedimentológico e paleontológico de subsuperfície, Poço AMASA -1, Icoaraci - Belém*. Belém, UFPA. 30p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia).
- LYOMASA, W. S., MATSUDA, K. & BRITO, F.A. 1996. Sistema de gerenciamento de dados: perfil autorizado de sondagens (1ª etapa). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996, Rio de Janeiro. *Anais ...* São Paulo: ABGE. v.2, p. 767-776.
- MARQUART, D.W. 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *J. Soc. Indust. Appl. Math.* 11:431-441.
- MAZZEO, T.E. 1991. *Avaliação Ambiental das Vias de Drenagem da Região Metropolitana de Belém (PA), quanto a distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 141p. Tese (Mestrado em Geologia e Geoquímica)..

- OLHOEFT, G.R. 1996. Application of Ground Radar, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUND PENETRATING RADAR, 6. Proceeding. P 1-3.
- OLIVEIRA FILHO, U.M. de. 1985. *Fundações Profundas*. 2. Ed. Porto Alegre... 267p.
- ORELLANA, E. 1972. *Prospección Geométrica en Corriente Continua*. Madrid, Paraninfo. 523p.
- PONTES, G.L.L.A. 1998. *Estudos geofísicos sedimentológicos nos poços SAEEB 1 e SAEEB 2/SESAN/PMB. Belém – PA*. Belém. UFPA. 89 p. Centro de Geociências. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia).
- PETRICK, W.R., PELTRON, W.H., WARD, S.H. 1977. Ridge Regression Inversion Applied to Crustal Resistivity and Sounding Data from South Africa. *Geophysics*. 42: 995-1006.
- PELTON, W.H., RIJO, L., SWIFT, JR., C.M. 1978. Inversion of two-dimensional resistivity and induced-polarization data. *Geophysics*, 43: 788-803.
- REYNOLDS, J. M. 1990. High-resolution seismic reflection surveying of shallow marine and estuarine environments. *Marine Geophysical Researches*, 12: 41-48.
- REYNOLDS, J. M. 1991. *The determination of the degree of 'Alkali Silica reaction' (Concrete Cancer) using dielectric analysis: preliminary results*. *Geophysical Journal International*, 104(3): 674 [abstract].
- REYNOLDS, J.M. 1997. An Introduction to Applied and Environmental *Geophysics*. Chichester, New York. p 682-749.
- RIJO, L. 1977. *Modelling of Electric and Electromagnetic Data*. Salt lake City, university of Utah. 242p. Thesis (Phd).

- RIJO, L., PELTRON, W. H., FEITOSA, E. C. & WARD, S. H. 1977. Interpretation of apparent resistivity data from apodi Valley, Rio Grande do Norte, Brasil. *Geophysics*, 42: 811-822.
- RIJO, L. 1994a. SEVID. *Programa para modelagem de sondagem elétrica vertical unidimensional*. EGGSLIB (Electrical Geophysics Software Library). Belém, DGF/UFPa.
- RIJO, L. 1994b. SEVIDINV. *Programa para inversão de sondagem elétrica vertical unidimensional*. EGGSLIB (Electrical Geophysics Software Library). Belém, DGF/UFPa.
- ROOSEVELT, A.C. 1991. *Moundbuilders of the Amazon: Geophysical Archaeology on Marajo Island, Brazil*. San Diego: Academic Press. 495 p.
- ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. 1989. Estudo Paleambiental e Estratigráfico dos Sedimentos Barreiros e Pós-Barreiras na Região Bragantina, NE do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, Belém, 1: 25-74.
- SAMPAIO JÚNIOR J.L.C. 1995. *Estudo da Compressibilidade de um Solo Argiloso da região metropolitana de Belém – Pa*. Rio de Janeiro, PUC. 178p.
- SAUCK, W. A., OLIVEIRA, J.A.D., CARVALHO, J.S. 1995. GPR in the middle amazon basin, amazonas state, Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF GEOPHYSICAL BRAZILIAN SOCIETY, 4., Belém (PA). *Expanded Resumes...* SBGf. p.972-973.
- SCAIFE, J.E. & ANNAN, A.P. 1991. Ground Penetrating Radar. A powerful High Resolution Tool for Mining Engineering and Environmental Problems, Sensors & Software, Inc., 24p. (Internal Report).
- SILVA, R.F. 1993. Intervenção In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7, 1993, Poços de Caldas. *Anais...* São Paulo: ABGE. v3, p. 181-186.

SOARES, A.D.V. 1984. *Novo registro em subsuperfície de sedimentos Terciários (Formação Pirabas) dentro da área da grande Belém*. Belém, UFPa. 21p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia).

SOUZA, L.A.P. 1988. *As técnicas geofísicas de sísmica de reflexão de alta resolução e sonografia aplicadas ao estudo de aspectos geológicos e geotécnicos em áreas submersas da Região Metropolitana de Belém*. Pt = profundidade do topo, E =espessura do pacote sedimentar (Costa no prelo).

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. Anais...Belém: SBG. v.4, p. 1551-1564.

STEFANESCO, S. S. y SCHLUMBERGER, C. y M. 1930. Sur la distribution électrique potentielle autor d'une prise de terre ponctuelle dans un terrain à couches horizontales, homogènes et isotropes, *jour. Physique et le Radium*, vol. 1, pp. 132-140.

ULRIKSEN, C.P.F. 1982. *Application of Impulse Radar to Civil Engineering*. North Salem, NH: Geophysical Survey Systems Inc.

WARD, S.H., SMITH, B.D., GLENN, W.E., RIJO, L., INMAN, J.R. 1976. Statistical Evaluation of Electrical Sounding Methods. Part II: Applied Electricomagnetic Depth Sounding. *Geophysics*, 41 (6a): 1222-1235.

**ANEXO A – SONDAGENS À PERCUSSÃO COM
ENSAIO SPT**

TCC

SONDAGEM Nº 015		FOLHA Nº 01/02		Boletim de Sondagem				TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem. antes do N.A.		Datas		T - Trado			
Local: Trav.Vileta c/ Pedro Miranda		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem			
SONDADOR :		3,70	0,80	A Partir da profundidade de 4,45 (m)		02/06/89	05/06/89	P - Percussão			
DATA	Prof. do vest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de Camada	Nº de Golpes				Classificação do Material	
		T	De (m)	A (m)		1º 15 cm	2º 15 cm	3º 15 cm	30 cm Finais		
JUN/89	8,00	T	0,00	1,00	0,80					Ateno	
		P	1,00	1,55		p/55			p/55	Silte arenoso cor amarela	
		T	1,55	2,00							
		P	2,00	2,45		p/07	1/38		1/45	Idem	
		T	2,45	3,00							
		P	3,00	3,45		1/20	1/25		2/45	Idem	
		T	3,45	4,00	3,70						
		P	4,00	4,45		2	3	5	8/30	Areia Grossa Siltosa cor amarela	
		L	4,45	5,00	4,83						
		P	5,00	5,38		3	4	11	15/30	Areia grossa cor variegada	
		L	5,38	6,00							
		P	6,00	6,45	6,30	7	9	12	21/30	Argila silto-arenosa cor variegada	
		L	6,45	7,00							
		P	7,00	7,30		10	22		32/30	Idem	
		L	7,30	8,00							
		P	8,00	8,45		8	6	6	12/30	Idem	
		L	8,45	9,00	8,57						
		P	9,00	9,45		5	7	6	13/30	Argila silto-arenosa cor cinza clara	
		L	9,45	10,00							
		P	10,00	10,45	10,17	7	11	26	37/30	Areia fina siltosa cor variegada	

TCC

SONDAGEM Nº 015		FOLHA Nº 02/02		Boletim de Sondagem				TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem. antes do N.A.		Datas		T - Trado			
Local: Trav.Vileta c/ Pedro Miranda		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem			
SONDADOR :		3,70	0,80	A Partir da profundidade de 4,45 (m)		02/06/89	05/06/89	P - Percussão			
DATA	Prof. do vest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de Camada	Nº de Golpes				Classificação do Material	
		T	De (m)	A (m)		1º 15 cm	2º 15 cm	3º 15 cm	30 cm Finais		
JUN/89	8,00	L	10,45	11,00							
		P	11,00	11,45		9	11	18	27/30	Idem	
		L	11,45	12,00							
		P	12,00	12,45	12,20	12	14	21	35/30	Areia média siltosa de cor branca	
		L	12,45	13,00	12,53	argila					
		P	13,00	13,30	12,78	12	22		34/30	Areia média siltosa de cor rosia	
		L	13,30	14,00	13,85						
		P	14,00	14,45		7	10	15	25/30	Areia média silto argilada cor variegada	
		L	14,45	15,00	14,73						
		P	15,00	15,30		12	21		33/30	Areia fina siltosa de cor rosia	

TCC

SONDAGEM Nº 049		FOLHA Nº 01/01		Boletim de Sondagem				TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem. antes do N.A.				Datas		T - Trado	
Local: Pedro Miranda c/ Canal da 3ª mão		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Início		Término		L - Lavagem	
SONDADOR :		0,68	NFO	A Partir da profundidade		28/09/94		28/09/94		P - Percussão	
DATA	Prof. do vest. (m)	PERFURAÇÃO		Mudança de Camada	Nº de Golpes				Classificação do Material		
		T	De	A	1º	2º	3º	30 cm			
SET/94		L	(m)	(m)	15 cm	15 cm	15 cm	Finals			
		P									
		T	0,00	1,00					3/30		
		P	1,00	2,00					1/30	Materia orgânica cinza escura mole	
		T	2,00	3,00					0/200		
		P	3,00	4,00					xxx		
		T	4,00	5,00					xxx		
		P	5,00	6,00					0/210		
		T	6,00	7,00					xxx		
		P	7,00	8,00					xxx		
		T	8,00	9,00					0/95		
		P	9,00	10,00					xxx		
		T	10,00	11,00					0/90		
		P	11,00	12,00					xxx		
		L	12,00	13,00					0/88		
		P	13,00	14,00	13,88				21/30	Argila orgânica cinza escura muito mole	
		L	14,00	15,00	15,45				33/30	Areia fina branca median. Comp a comp	
										Limite de Sondagem	

NFO - Nível d'água não foi observado

TCC

SONDAGEM Nº 053		FOLHA Nº 01/01		Boletim de Sondagem				TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem. antes do N.A.				Datas		T - Trado	
Local: Av. Pedro Miranda		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Início		Término		L - Lavagem	
SONDADOR :		1,86	NFO	A Partir da profundidade		29/09/94		29/09/94		P - Percussão	
DATA	Prof. do vest. (m)	PERFURAÇÃO		Mudança de Camada	Nº de Golpes				Classificação do Material		
		T	De	A	1º	2º	3º	30 cm			
SET/94		L	(m)	(m)	15 cm	15 cm	15 cm	Finals			
		P									
		T	0,00	1,00					26/30		
		P	1,00	2,00					11/30	Argila silto arenosa c/pedreg. Varig. M. rja	
		T	2,00	3,00	2,15				3/30	Camada asfáltica	
		P	3,00	4,00	3,45				2/30	Argila silto arenosa cinza clara mole	
		T	4,00	5,00					1/117		
		P	5,00	6,00					xxx		
		T	6,00	7,00					1/113		
		P	7,00	8,00					xxx		
		T	8,00	9,00					1/80		
		P	9,00	10,00					1/63		
		T	10,00	11,00					1/138		
		P	11,00	12,00					xxx		
		L	12,00	13,00					1/110		
		P	13,00	14,00					xxx		
		L	14,00	15,00					1/50		
		P	15,00	16,00					1/80		
		L	16,00	17,00					xxx		
		P	17,00	18,00					0/94		
		L	18,00	19,00					xxx		
		P	19,00	20,00					0/74		
		L	20,00	21,00					xxx		
		P	21,00	22,00					0/68		
		L	22,00	23,00					10/30	Argila orgânica cinza escura muito mole	
		P	23,00	24,00					18/30		
		L	24,00	25,00					21/30	Areia fina branca median. Compact/ compact	

TCC

SONDAGEM N° 000		FOLHA N° 01/02		Boletim de Sondagem			TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.			Data		T - Trado	
Local: Trav. Djalma Dutra-Canal de Gato		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>		Início	Término	L - Lavagem	
SONDADOR :		3,45	NFO	A Partir da profundidade			23/05/94	24/05/94	P - Percussão	
DATA	Prof. do Revest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de Camada	N° de Golpes				Classificação do Material
		T	De (m)	A (m)		1°	2°	3°	30 cm	
		L	(m)	(m)		15 cm	15 cm	15 cm	Final	
		P								
		T	0,00	1,00						12/30
		P	1,00	2,00	2,00					5/30 Silte arenoso c/ pedreg. varieg. Median. Compacto
		T	2,00	3,00	2,70					2/30 Areia média silteosa c/pedreg. Cinza pouco comp.
		P	3,00	4,00	4,00					0/520 Argila orgânica arenosa mat. Orgânica cinza esc. muito mole
		T	4,00	5,00						xxx
		P	5,00	6,00						xxx
		T	6,00	7,00						xxx
		P	7,00	8,00						xxx
		T	8,00	9,00						xxx
		P	9,00	10,00						0/400
		T	10,00	11,00						xxx
		P	11,00	12,00						xxx
		L	12,00	13,00						xxx
		P	13,00	14,00						xxx
		L	14,00	15,00						0/200
		P	15,00	16,00						xxx
		L	16,00	17,00						xxx
		P	17,00	18,00						0/120
		L	18,00	19,00						xxx
		P	19,00	20,00						2/80
		L	20,00	21,00						2/30
		P	21,00	22,00						2/30
		L	22,00	23,00						2/30
		P	23,00	24,00						2/30
		L	24,00	25,00						2/30

TCC

SONDAGEM N° 000		FOLHA N° 02/02		Boletim de Sondagem			TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.			Data		T - Trado	
Local: Trav. Djalma Dutra-Canal de Gato		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>		Início	Término	L - Lavagem	
SONDADOR :		3,45	NFO	A Partir da profundidade			23/05/94	24/05/94	P - Percussão	
DATA	Prof. do Revest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de Camada	N° de Golpes				Classificação do Material
		T	De (m)	A (m)		1°	2°	3°	30 cm	
		L	(m)	(m)		15 cm	15 cm	15 cm	Final	
		P								
		P	25,00	26,00	26,00					4/30
		T	26,00	27,00						12/30
		P	27,00	28,00	28,00					35/30 Amostra não recup. (Areia fina fofa a pouq comp)
		T	3,00	28,00						41/30
		P	4,00	30,00	30,00					34/30 Areia fina variegada compacta
		T	30,00	31,00	31,00					41/30 Amostra não recup. (Areia fina-compacta)
					31,45					Areia fina variegada compacta

OBS: NFO - Nível d'água não foi observado

TCC

SONDAGEM Nº145		FOLHA Nº 01/03		Boletim de Sondagem			TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.			DATAS		T - Trado	
LOCAL: RUA ANTONIO BARRETO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>		Início	Término	L - Lavagem	
SONDADOR:		3.59		A Partir da profundidade de (m)			06.01.94	13.01.94	P - Percussão	
DATA	Prof. do Revest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de	Nº de Golpes			Classificação do Material	
JAN/94		T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm	
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	Finais	
		P								
		T	0.00	1.00						Areia fina-cinza/amarela-pouco compacta
		P	1.00	1.45					10/30.	
		L	1.45	2.00						
		P	2.00	2.45					7/30.	
		L	2.45	3.00	3.00					
		P	3.00	3.45					6/30.	Amostra não recuperada (Areia fina pouco compacto)
		L	3.45	4.00						
		P	4.00	4.25	4.00				1/25.	
		L	4.25	5.00						Materia organica-cinza escura-muito mole
		P	5.00	5.45	5.00				2/30.	
		L	5.45	6.00						
		P	6.00	8.00					P/200	
		L	8.00	9.00						
		P	9.00	10.07					P/107	
		L	10.07	11.00						
		P	11.00	12.70					P/170	Argila organica-cinza escuro-muito mole
		L	12.70	13.00						
		P	13.00	13.58					P/58	
		L	13.58	14.00						
		P	14.00	14.95					P/95	
		L	14.95	18.00						
		P	18.00	18.45	18.00				8/30.	
		L	18.45	19.00						
		P	19.00	19.45					4/30.	

TCC

SONDAGEM Nº145		FOLHA Nº 02/03		Boletim de Sondagem			TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.			DATAS		T - Trado	
LOCAL: RUA ANTONIO BARRETO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>		Início	Término	L - Lavagem	
SONDADOR:		3.59		A Partir da profundidade de (m)			06.01.94	13.01.94	P - Percussão	
DATA	Prof. do Revest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de	Nº de Golpes			Classificação do Material	
JAN/94		T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm	
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	Finais	
		P								
		L	19.45	20.00						
		P	20.00	20.45					6/30.	
		T	20.45	21.00						
		P	21.00	21.45					4/30.	
		L	21.45	22.00						
		P	22.00	22.45					5/30.	
		L	22.45	23.00						
		P	23.00	23.45					5/30.	
		L	23.45	24.00						
		P	24.00	24.45					8/30.	
		L	24.45	25.00						
		P	25.00	25.45					7/30.	
		L	25.45	26.00						
		P	26.00	26.45					23/30.	
		L	26.45	27.00						
		P	27.00	27.45					18/30.	
		L	27.45	28.00						
		P	28.00	28.45					12/30.	Argila organica-cinza escuro-muito mole
		L	28.45	29.00						
		P	29.00	29.45					13/30.	
		L	29.45	30.00						
		P	30.00	30.45					12/30.	
		L	30.45	31.00						
		P	31.00	31.45					13/30.	

TCC

SONDAGEM Nº145		FOLHA Nº 03/03		Boletim de Sondagem				TCC		UFPA	
CLIENTE : TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.		DATAS		T - Trado			
LOCAL : RUA ANTONIO BARRETO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem			
SONDADOR :		3.59		A Partir da profundidade de (m)		06.01.94	13.01.94	P - Percussão			
DATA	Prof. do	PERFURAÇÃO			Mudança	Nº de Golpes					
JAN/94	Revest. (m)	T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm	Classificação do Material	
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	Finais		
		P									
		L	31.45	32.00							
		P	32.00	32.45					14/30.		
		L	32.45	33.00							
		T	33.00	33.45					12/30.		
		P	33.45	34.00							
		L	34.00	34.45					15/30.	Argila siltó arenosa-cinza-mole a muito rija	
		P	34.45	35.00							
		L	35.00	35.45					22/30.		
		P	35.45	36.00							
		L	36.00	36.45	36.45				28/30.		

TCC

SONDAGEM Nº146		FOLHA Nº 01/02		Boletim de Sondagem				TCC		UFPA	
CLIENTE : TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.		DATAS		T - Trado			
LOCAL : RUA ANTONIO BARRETO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem			
SONDADOR :		1.40	0.70	A Partir da profundidade de (m)		21.10.94	24.10.94	P - Percussão			
DATA	Prof. do	PERFURAÇÃO			Mudança	Nº de Golpes					
JAN/94	Revest. (m)	T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm	Classificação do Material	
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	Finais		
		P									
		T	0.00	1.00							
		P	1.00	1.45					4/30.		
		L	1.45	2.00							
		P	2.00	2.33					2/33.	Siltó argilo arenoso c/ mat. Orgânica-cinza escura-muito mole/mole	
		L	2.33	3.00							
		P	3.00	3.85	3.00				1/85.		
		L	3.85	5.00							
		P	5.00	5.90					P/90		
		L	5.90	7.00							
		P	7.00	7.95					P/95		
		L	7.95	9.00							
		P	9.00	9.85					P/85		
		L	9.85	11.00							
		P	11.00	11.90					P/90	Argila orgânica-cinza escura-muito mole	
		L	11.90	13.00							
		P	13.00	13.95					P/95		
		L	13.95	15.00							
		P	15.00	15.80					P/80		
			15.80	17.00	16.00						
			17.00	17.50							
			17.50	18.00					P/50	Amostra não recuperada(Argila org.-cinza escura-muito mole)	
			18.00	18.45	18.00						
			18.45	19.00					10/30.		

TCC

SONDAGEM Nº152		FOLHA Nº 01/03		Boletim de Sondagem				TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.		DATAS		T - Trado			
LOCAL: DIOGO MOIA C/ 3 DE MAIO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem			
SONDADOR:		2.45		A Partir da profundidade		14.06.94	14.06.94	P - Percussão			
				de _____ (m)							
DATA	Prof. do Revest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de	Nº de Golpes			Classificação do Material		
JAN/94		T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm		
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	Finais		
		P									
		T	0,00	1,00						Argila silto arenosa-variegada-rija	
		P	1,00	1,45					10/30.		
		L	1,45	2,00	1,86						
		P	2,00	2,47					4/27.	Silte argilo arenoso-cinza clara-mole	
		L	2,47	3,00	2,47						
		P	3,00	3,25					1/25.	Materia organica-cinza escura-muito mole	
		L	3,25	4,00							
		P	4,00	7,80	4,00				P/380		
		L	7,80	8,00						Argila organ-cinza escura-muito mole	
		P	8,00	8,45	8,05				19/30.		
		L	8,45	9,00						Amostra não recuperada(Areia media-pouco a medianamente compacta)	
		P	9,00	9,45					9/30.		
		L	9,45	10,00	10,00						
		P	10,00	10,45					8/30.	Areia fina-branca-pouco compacta	
		L	10,45	11,00	10,80						
		P	11,00	11,45					3/30.		
		L	11,45	12,00							
		P	12,00	12,45					4/30.	Amostra não recuperada(Argila silto arenosa-mole)	
		L	12,45	13,00							
		P	13,00	13,45					5/30.		
		L	13,45	14,00	13,56						
		P	14,00	14,45					14/30.		
		L	14,45	15,00							

TCC

SONDAGEM Nº152		FOLHA Nº 02/03		Boletim de Sondagem				TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.		DATAS		T - Trado			
LOCAL: DIOGO MOIA C/ 3 DE MAIO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem			
SONDADOR:		2.45		A Partir da profundidade		14.06.94	14.06.94	P - Percussão			
				de _____ (m)							
DATA	Prof. do Revest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de	Nº de Golpes			Classificação do Material		
JAN/94		T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm		
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	Finais		
		P									
		P	15,00	15,45					11/30.		
		L	15,45	16,00							
		P	16,00	16,45					12/30.		
		L	16,45	17,00							
		P	17,00	17,45					16/30.	Argila silto arenosa-variegada-media a muito rija	
		L	17,45	18,00							
		P	18,00	18,45					18/30.		
		L	18,45	19,00							
		P	19,00	19,45					29/30.		
		L	19,45	20,00							
		P	20,00	20,45					20/30.		
		L	20,45	21,00							
		P	21,00	21,45					18/30.		
		L	21,45	22,00							
		P	22,00	22,45					13/30.		
		L	22,45	23,00							
		P	23,00	23,45					12/30.		
		L	23,45	24,00							
		P	24,00	24,45					18/30.		
		L	24,45	25,00	24,80						
		P	25,00	25,45					35/30.		
		L	25,45	26,00						Silte argilo arenoso-cinza escuro-muito rija a duro	
		P	26,00	26,45					29/30.		

TCC

SONDAGEM Nº152		FOLHA Nº 03/03		Boletim de Sondagem			TCC	UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.		DATAS		T - Trado	
LOCAL: DIOGO MOIA C/ 3 DE MAIO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem	
SONDADOR:		2.45		A Partir da profundidade de (m)		14.06.94	14.06.94	P - Percussão	
DATA	Prof. do	PERFURAÇÃO			Mudança	Nº de Golpes			Classificação do Material
JAN/94	Revest. (m)	T	De	A	de	1º	2º	3º	
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	30 cm
		P							Finalis
		L	26.45	27.00	27.00				
		P	27.00	27.45					26/30.
		L	27.45	28.00					
		P	28.00	28.45					22/30.
		L	28.45	29.00					
		P	29.00	29.45					26/30.
		L	29.45	30.00					Argila siltó arenosa-cinza-rija e muito rija
		P	30.00	30.45					31/30.
		L	30.45	31.00					
		P	31.00	31.45					14/30.
		L	31.45	32.00					
		P	32.00	32.45					12/30.
		L	32.45	33.00					
		P	33.00	33.45					10/30.
		L	33.45	34.00					
		P	34.00	34.45					25/30.
		L	34.45	35.00					
		P	35.00	35.45	35.45				14/30.

TCC

SONDAGEM Nº154		FOLHA Nº 01/01		Boletim de Sondagem			TCC	UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.		DATAS		T - Trado	
LOCAL: CANAL DA RUA 3 DE MAIO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem	
SONDADOR:		1.28		A Partir da profundidade de (m)		05.09.94	05.09.94	P - Percussão	
DATA	Prof. do	PERFURAÇÃO			Mudança	Nº de Golpes			Classificação do Material
JUN/94	Revest. (m)	T	De	A	de	1º	2º	3º	
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	30 cm
		P							Finalis
		T	0,00	1,00					
		P	1,00	1,45					6/30.
		L	1,45	2,00	1,59				
		P	2,00	2,45					4/30.
		L	2,45	3,00					Argila organica-cinza escura-muito mole a mole
		P	3,00	6,00					P/300
		L	6,00	7,00	6,83				
		P	7,00	7,45					P/45
		L	7,45	8,00	7,98				Siltó areno argiloso-branca-fofa
		P	8,00	8,45					12/30.
		L	8,45	9,00					Argila arenosa-cinza escura-rija
		P	9,00	9,45	9,45				10/30.

TCC

SONDAGEM Nº156		FOLHA Nº 01/01		Boletim de Sondagem			TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.			DATAS		T - Trado	
LOCAL: CANAL DA RUA 3 DE MAIO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem		
SONDADOR:		1.63		A Partir da profundidade de (m)			06.09.94	06.09.94	P - Percussão	
DATA	Prof. do Revest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de	Nº de Golpes			Classificação do Material	
SET/94		T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm	
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	Finais	
		P								
		T	0.00	1.00						
		P	1.00	1.45					5/30.	Materia organica-cinza escura-media
		T	1.45	2.00	1.89					
		P	2.00	2.45					3/30.	
		L	2.45	3.00						
		P	3.00	4.10					P/110	Argila organica-cinza escura-muito mole a mole
		L	4.10	5.00						
		P	5.00	5.45					2/30.	
		L	5.45	6.00						
		P	6.00	9.00					P/300	
		L	9.00	10.00						
		P	10.00	13.80					P/380	
		L	13.80	14.00	14.00					
		P	14.00	14.45					7/30.	Areia fina a media siltosa-cinza escura-pouco compacta
		L	14.45	15.00						
		P	15.00	15.45	15.00				3/30.	
		L	15.45	16.00						
		P	16.00	16.45					6/30.	Amostra n/ recuperada(Areia fina-fofa a pouco compacta)
		L	16.45	17.00						
		P	17.00	17.45					7/30.	
		L	17.45	18.00	18.00					
		P	18.00	18.45					5/30.	Silte argilo arenoso-varieg-medio
		L	18.45	19.00	19.00					
		P	19.00	19.45	19.86				5/30.	Areia siltosa-c. clara-pouco compacta
		L	19.45	20.00						Amostra não recuperada(Areia-pouco compacta)
		P	20.00	20.45	20.45				8/30.	

TCC

TCC

SONDAGEM Nº160		FOLHA Nº 01/01		Boletim de Sondagem			TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.			DATAS		T - Trado	
LOCAL: CANAL DA RUA 3 DE MAIO		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Início	Término	L - Lavagem		
SONDADOR:		3.45		A Partir da profundidade de (m)			06.09.94	06.09.94	P - Percussão	
DATA	Prof. do Revest. (m)	PERFURAÇÃO			Mudança de	Nº de Golpes			Classificação do Material	
JAN/94		T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm	
		L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	Finais	
		P								
		T	0.00	1.00						
		P	1.00	1.45					4/30.	Silte argilo arenoso-vermelho-muito mole a mole
		L	1.45	2.00						
		P	2.00	2.45					2/30.	
		L	2.45	3.00						
		P	3.00	3.60	3.00				1/60.	
		L	3.60	4.00						
		P	4.00	7.76					P/376	
		L	7.76	9.00						
		P	9.00	12.30					P/330	
		L	12.30	13.00						
		P	13.00	16.00					P/300	Argila organica-cinza escura-muito mole
		L	16.00	17.00						
		P	17.00	19.53					P/253	
		L	19.53	20.00						
		P	20.00	20.45					P/45	
		L	20.45	22.00						
		P	22.00	22.45					P/45	
		L	22.45	23.00						
		P	23.00	23.45					2/30.	
		L	23.45	24.00	23.55					
		P	24.00	24.45					4/30.	
		L	24.45	25.00						
		P	25.00	25.45	25.45				42/30.	Areia media-variegada-compacta

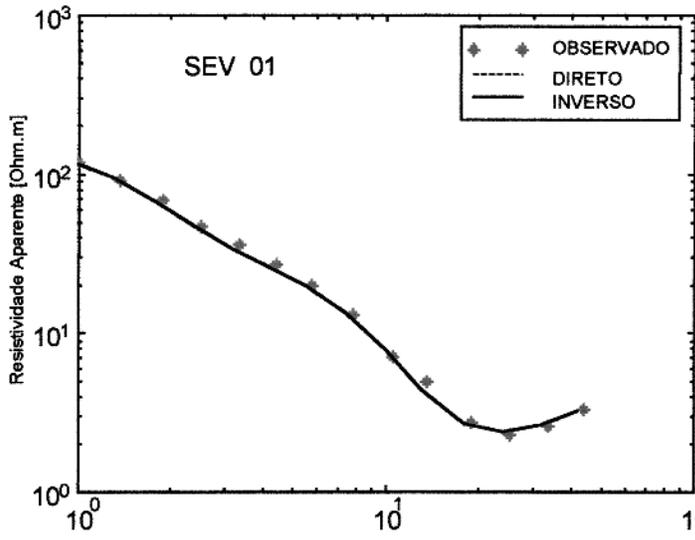
TCC

SONDAGEM Nº177		FOLHA Nº 01/03		Boletim de Sondagem			TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.			DATAS		T - Trado	
LOCAL: Marques de Herval c/ 3 de maio		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>		Início	Término	L - Lavagem	
SONDADOR:				A Partir de profundidade de _____ (m)			14,06,94	14,06,94	P - Percussão	
DATA	Prof. do	PERFURAÇÃO			Mudança	Nº de Golpes				
JAN/94	Revest.	T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm	Classificação do Material
	(m)	L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	30 cm	
		P							30 cm	
		T	0,00	1,00						
		P	1,00	1,45						
		T	1,45	2,00	2,00				4/30,	Slite areno argiloso-variegado-pouco compacto
		P	2,00	2,45						
		L	2,45	3,00					3/30,	
		P	3,00	3,65						
		L	3,65	4,00						
		P	4,00	8,13						
		L	8,13	9,00					P/413	
		P	9,00	11,33						
		L	11,33	12,00					P/233	Argila organica arenosa-cinza escuro-muito mole
		P	12,00	15,20						
		L	15,20	18,00					P/320	
		P	18,00	20,45						
		L	20,45	21,00	20,7				P/445	
		P	21,00	21,45						
		L	21,45	22,00					2/30,	
		P	22,00	22,45						
		L	22,45	23,00					6/30,	
		P	23,00	23,45						
		L	23,45	24,00					16/30,	Amostra não recuperada(Areia fina-fofa a medianamente compacta)
		P	24,00	24,45						
		L	24,45	25,00	25,00				20/30,	

TCC

SONDAGEM Nº177		FOLHA Nº 02/03		Boletim de Sondagem			TCC		UFPA	
CLIENTE: TCC		Nível d'água (m)		Lavagem antes do N.A.			DATAS		T - Trado	
LOCAL: Marques de Herval c/ 3 de maio		Inicial	Final	Sim <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>		Início	Término	L - Lavagem	
SONDADOR:				A Partir de profundidade de _____ (m)			14,06,94	14,06,94	P - Percussão	
DATA	Prof. do	PERFURAÇÃO			Mudança	Nº de Golpes				
JUN/94	Revest.	T	De	A	de	1º	2º	3º	30 cm	Classificação do Material
	(m)	L	(m)	(m)	Camada	15 cm	15 cm	15 cm	30 cm	
		P								
		P	25,00	25,45						
		L	25,45	26,00	25,72				23/30,	Areia fina c/ pedregulhos-variegada-medianamente compacta
		P	26,00	26,45						
		P	26,45	27,00					6/30,	
		L	27,00	27,45						
		P	27,45	28,00					4/30,	
		L	28,00	28,45						
		P	28,45	29,00					4/30,	Amostra não recuperada(Argila siltosa-media a rija)
		L	29,00	29,45						
		P	29,45	30,00					5/30,	
		L	30,00	30,45						
		P	30,45	31,00					14/30,	
		L	31,00	31,45						
		P	31,45	32,00					10/30,	
		L	32,00	32,45						
		P	32,45	33,00	33,00				10/30,	
		L	33,00	33,45						
		P	33,45	34,00					12/30,	
		L	34,00	34,45						
		P	34,45	35,00					12/30,	
		L	35,00	35,45						
		P	35,45	36,00					11/30,	Argila siltosa arenosa-cinza claro-rija a muito rija
		L	36,00	36,45						
		P	36,45						13/30,	

ANEXO B – SEVs INTERPRETADAS

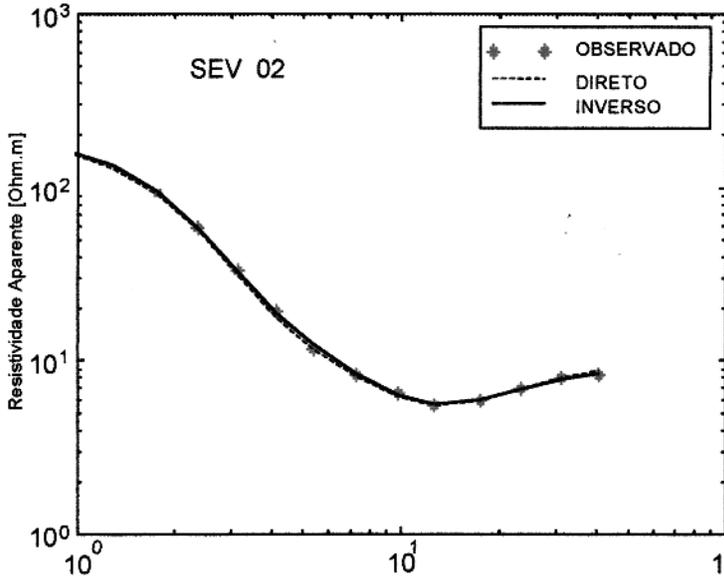


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
149.71	0.72
27.94	3.36
1.84	24.54
284.25	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
150.02	0.72
27.98	3.36
1.84	24.63
587.01	

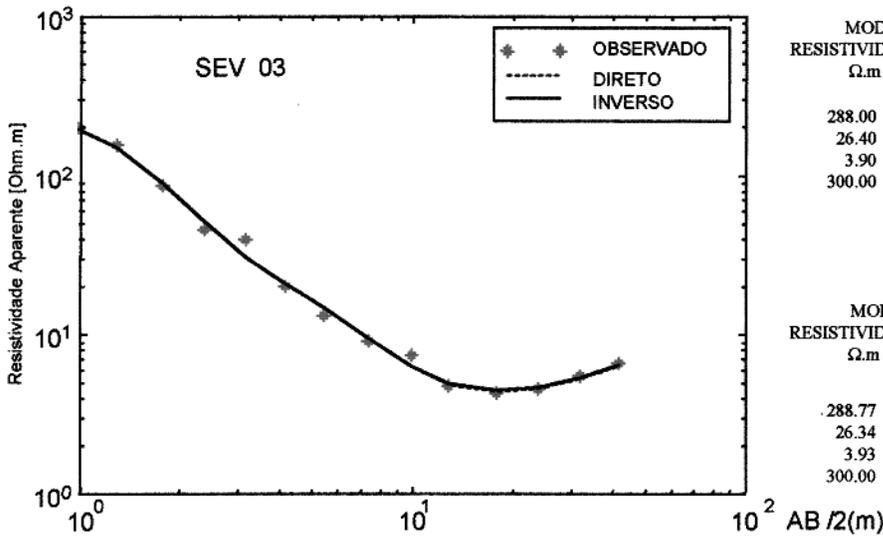


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
202.00	0.90
15.00	2.90
3.50	8.30
145.50	3.30
3.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
207.28	0.90
16.23	2.79
3.60	8.26
142.32	3.19
1.00	

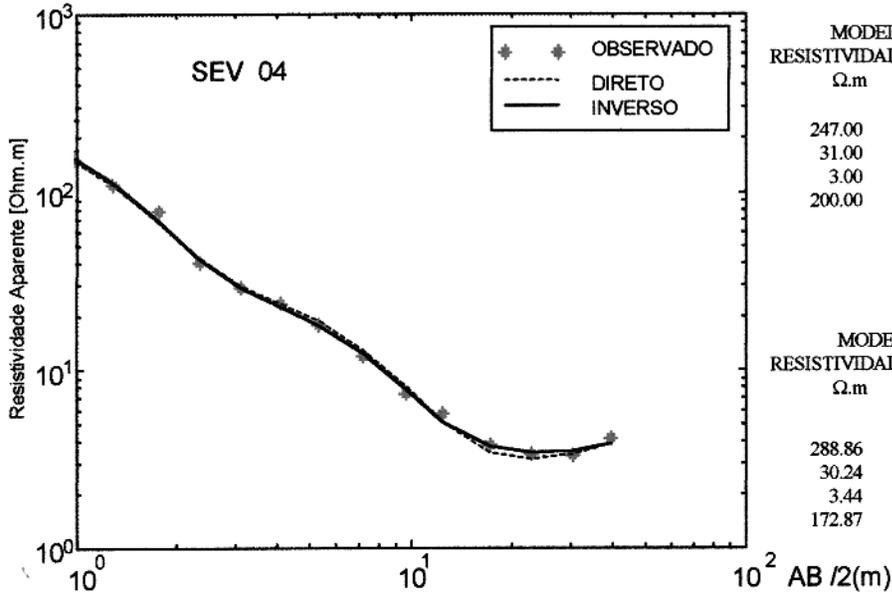


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
288.00	0.67
26.40	2.52
3.90	23.81
300.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
288.77	0.67
26.34	2.52
3.93	23.81
300.00	

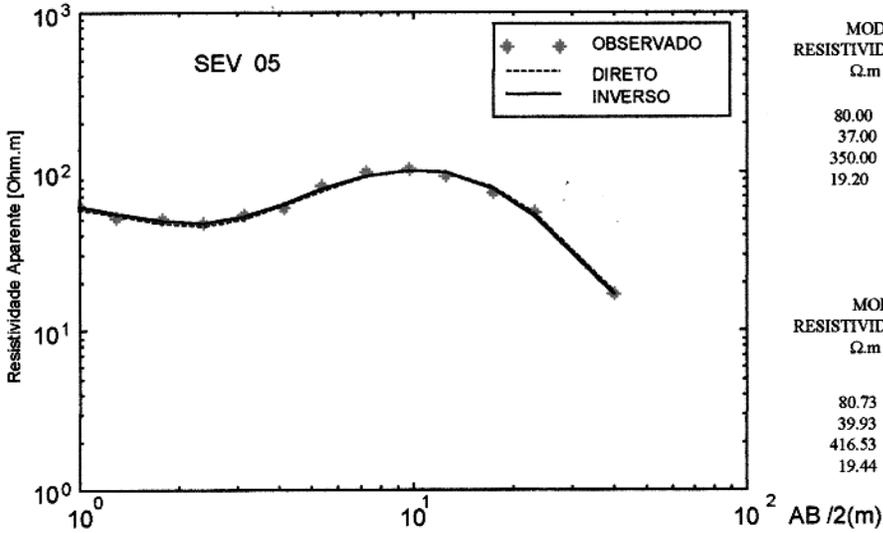


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
247.00	0.60
31.00	3.40
3.00	30.00
200.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
288.86	0.60
30.24	3.26
3.44	32.25
172.87	

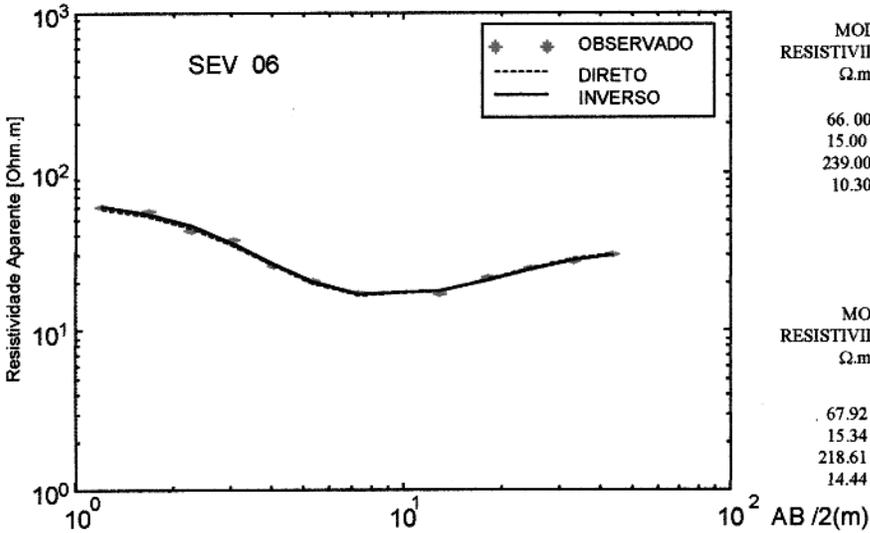


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
80.00	0.76
37.00	1.30
350.00	3.20
19.20	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
80.73	0.76
39.93	1.39
416.53	2.60
19.44	

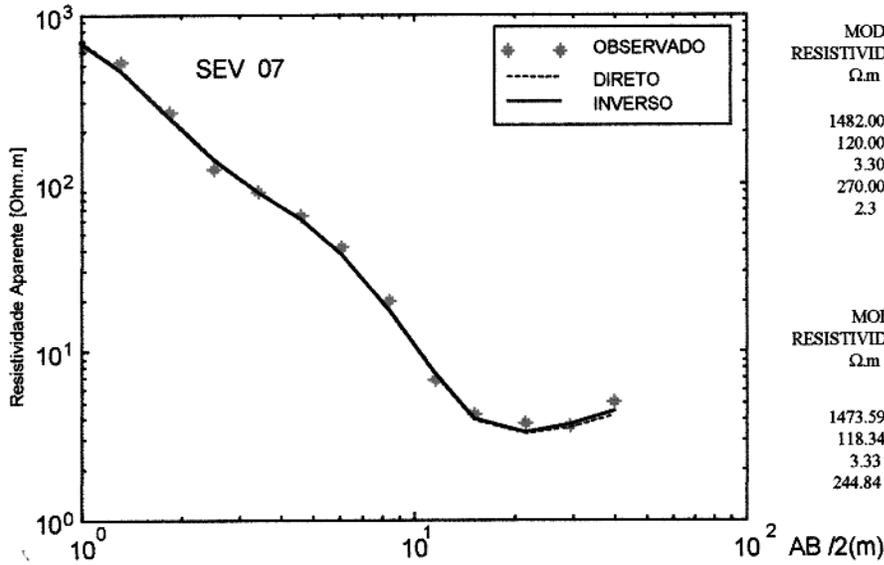


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
66.00	1.44
15.00	9.40
239.00	5.54
10.30	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
67.92	1.44
15.34	9.78
218.61	5.18
14.44	

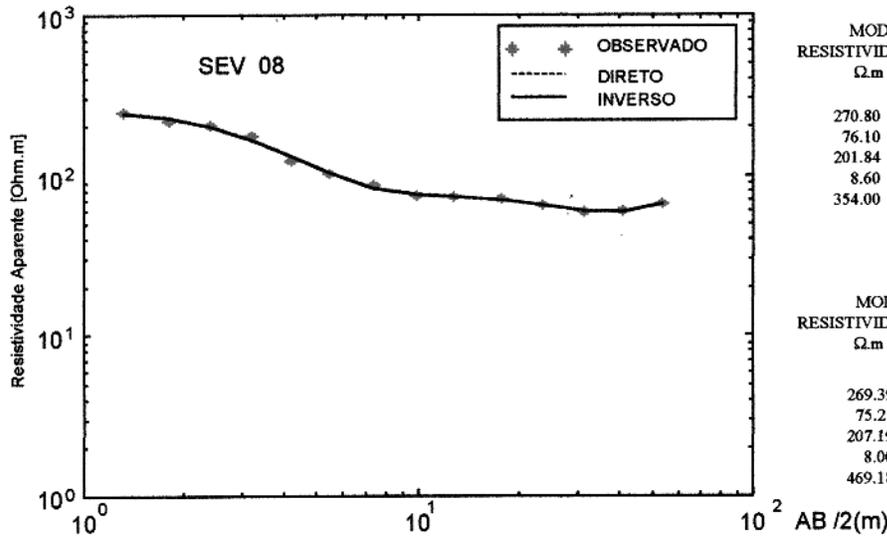


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
1482.00	0.53
120.00	2.30
3.30	18.00
270.00	3.00
2.3	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
1473.59	0.53
118.34	2.32
3.33	18.00
244.84	3.00

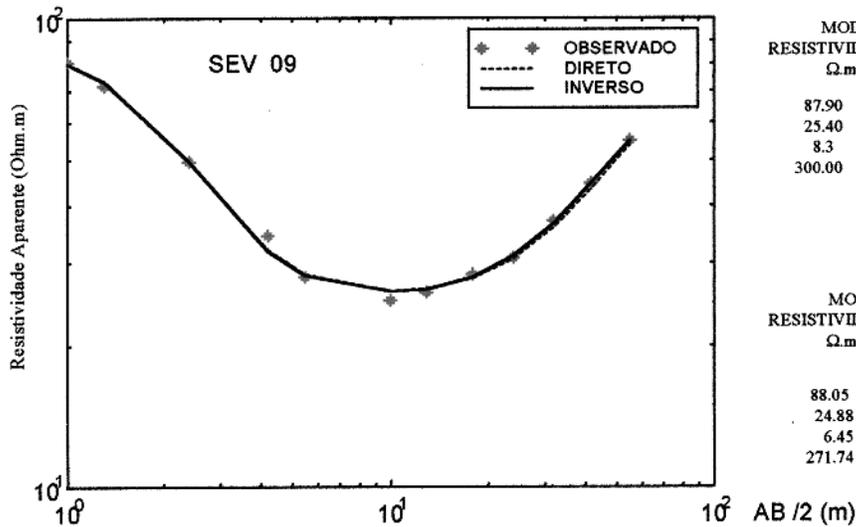


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
270.80	1.70
76.10	5.90
201.84	4.00
8.60	4.20
354.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
269.39	1.69
75.21	5.90
207.19	4.01
8.00	4.24
469.18	

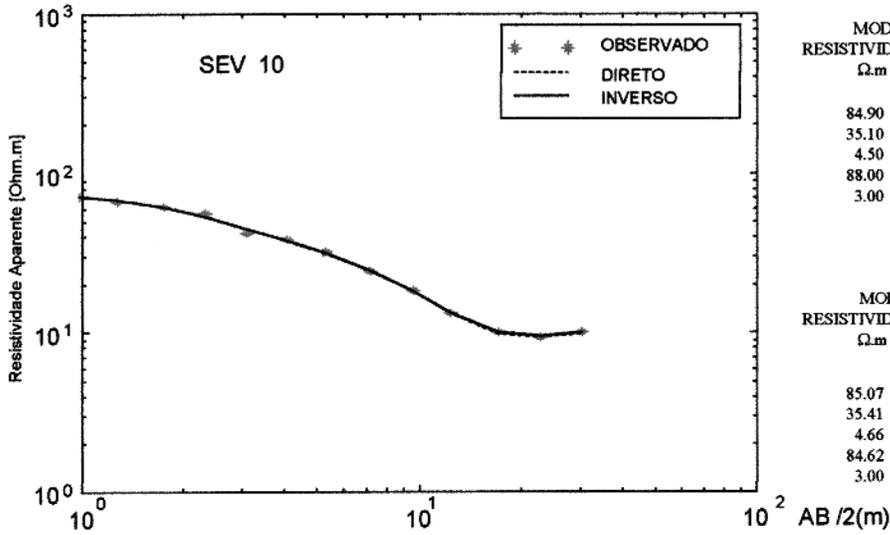


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
87.90	1.00
25.40	18.00
8.3	1.20
300.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
88.05	1.00
24.88	15.84
6.45	1.20
271.74	

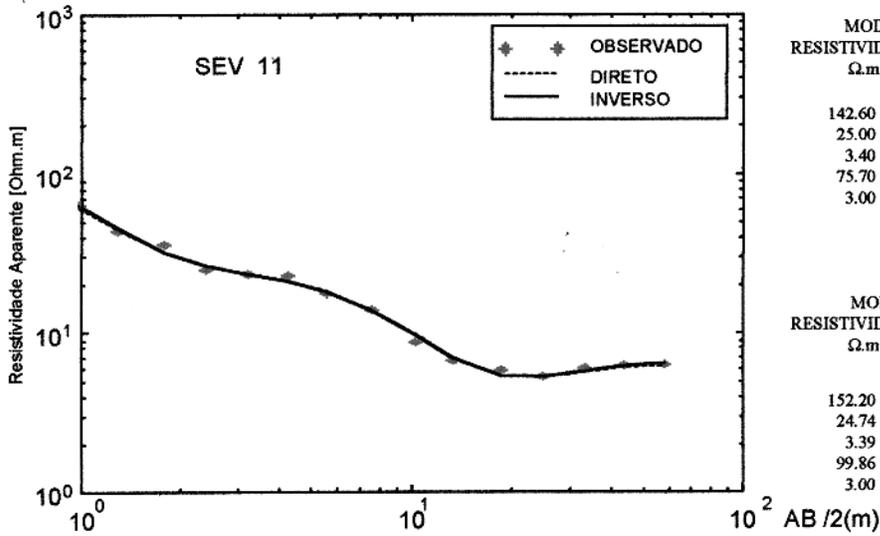


MODELO INICIAL
RESISTIVIDADE ESPESSURA
 $\Omega.m$ metros

84.90	1.10
35.10	4.00
4.50	8.40
88.00	4.10
3.00	

MODELO FINAL
RESISTIVIDADE ESPESSURA
 $\Omega.m$ metros

85.07	1.08
35.41	4.00
4.66	8.40
84.62	4.10
3.00	

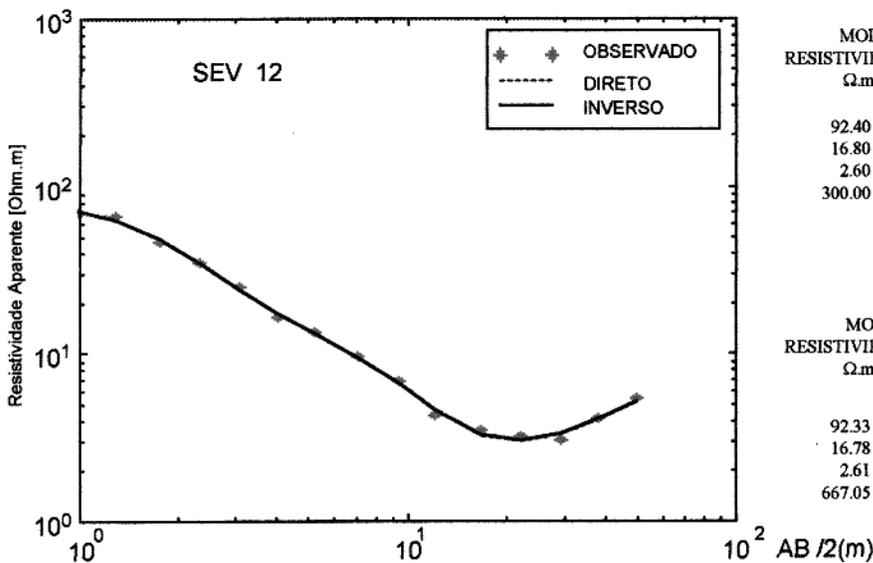


MODELO INICIAL
RESISTIVIDADE ESPESSURA
 $\Omega.m$ metros

142.60	0.41
25.00	3.70
3.40	13.00
75.70	2.70
3.00	

MODELO FINAL
RESISTIVIDADE ESPESSURA
 $\Omega.m$ metros

152.20	0.41
24.74	3.70
3.39	13.20
99.86	2.25
3.00	

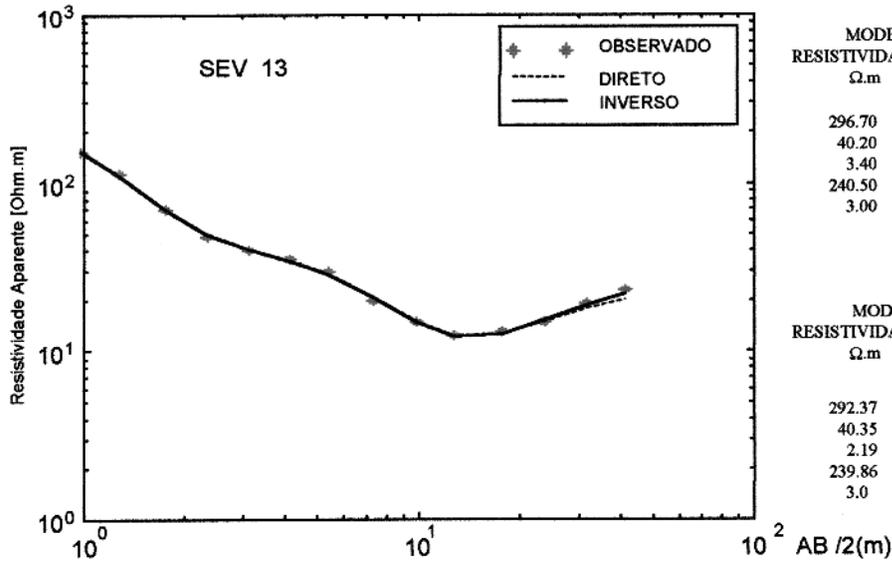


MODELO INICIAL
RESISTIVIDADE ESPESSURA
 $\Omega.m$ metros

92.40	0.92
16.80	3.75
2.60	23.60
300.00	

MODELO FINAL
RESISTIVIDADE ESPESSURA
 $\Omega.m$ metros

92.33	0.92
16.78	3.75
2.61	23.87
667.05	

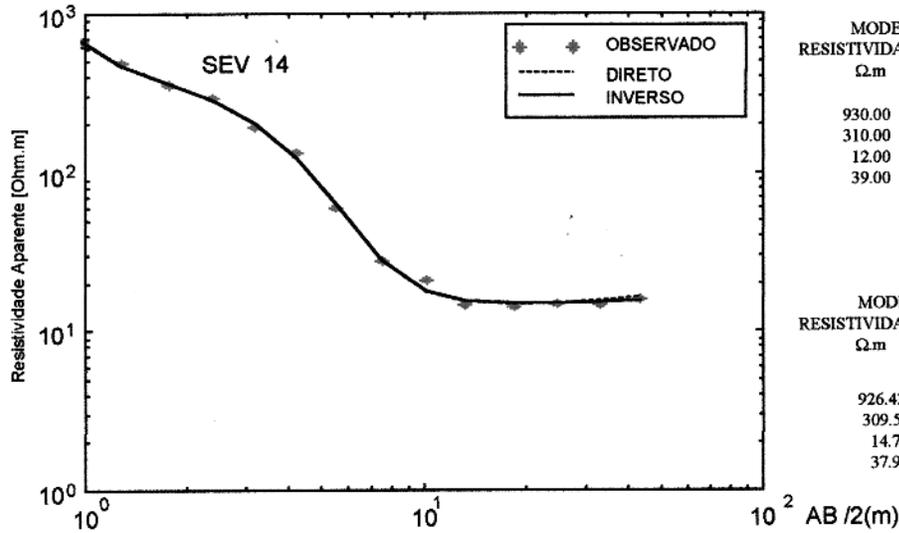


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
296.70	0.50
40.20	3.50
3.40	4.20
240.50	6.10
3.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
292.37	0.50
40.35	3.47
2.19	2.61
239.86	6.73
3.0	

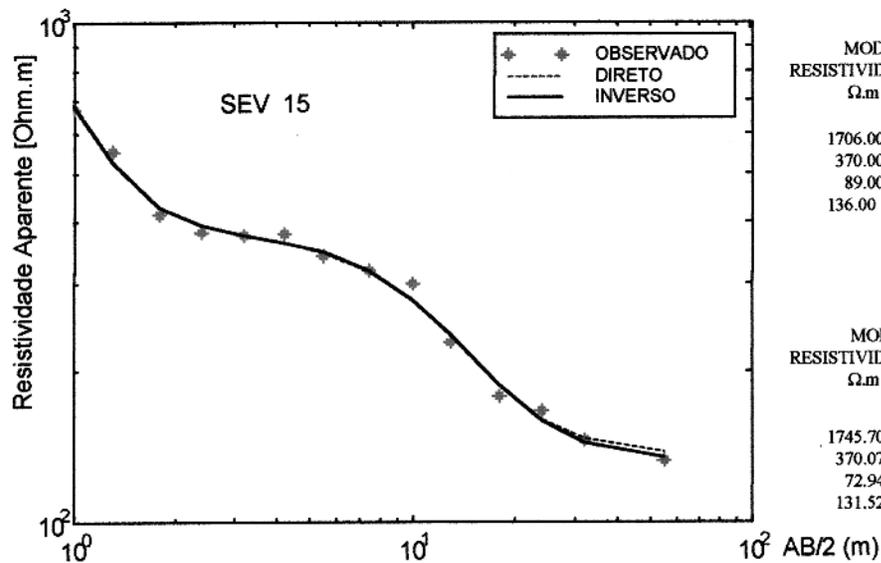


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
930.00	0.60
310.00	1.50
12.00	31.00
39.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
926.43	0.60
309.51	1.53
14.78	30.00
37.96	

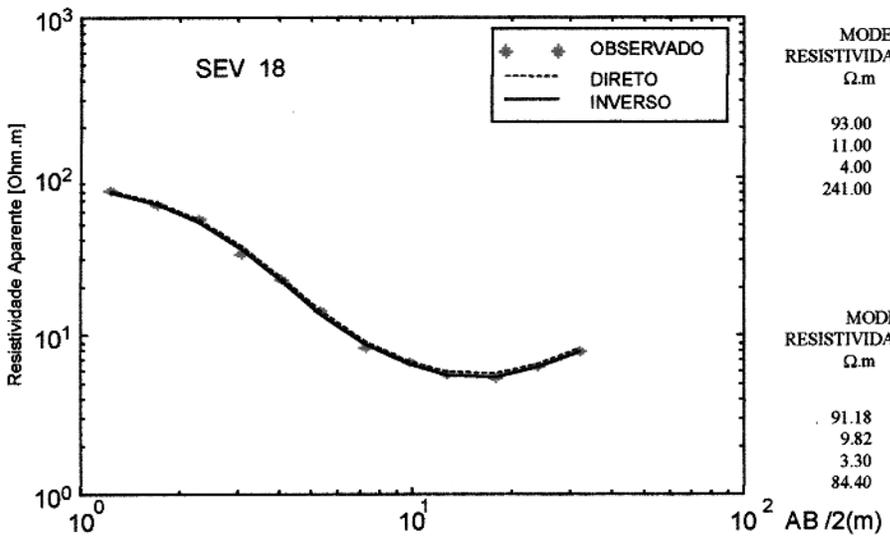
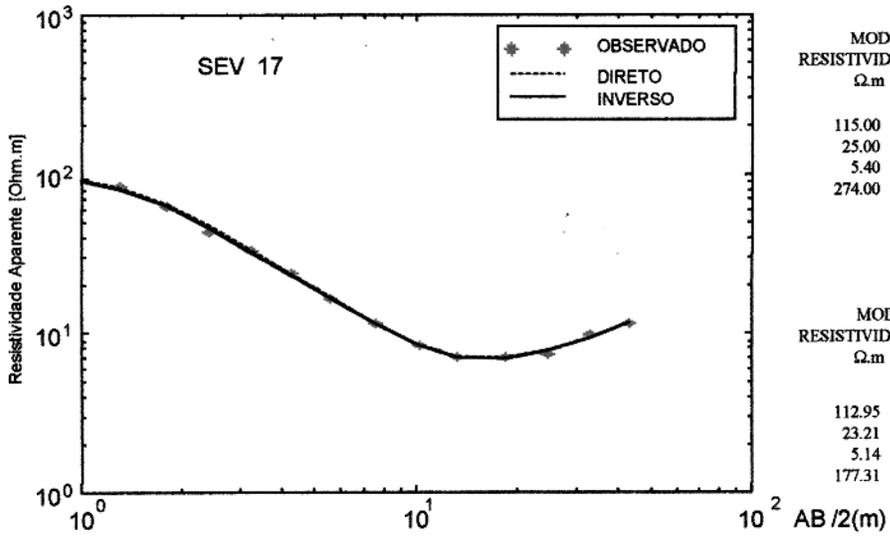
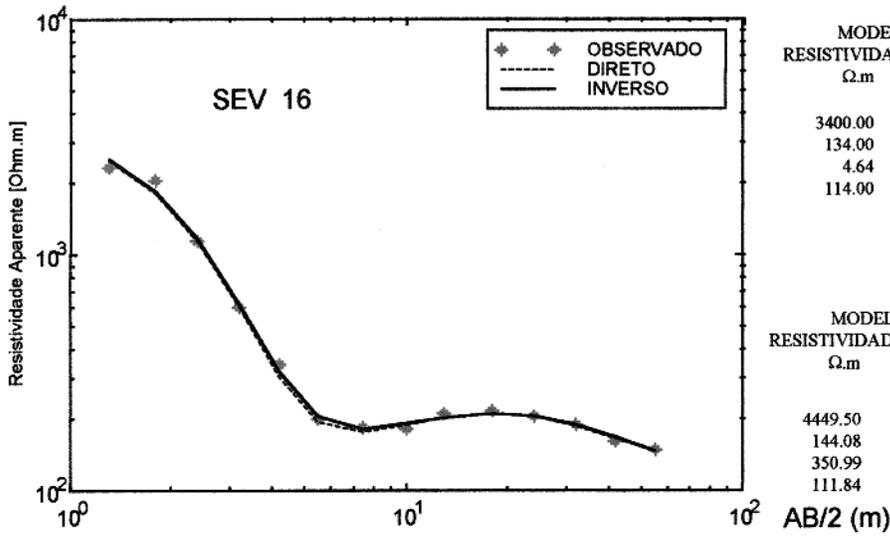


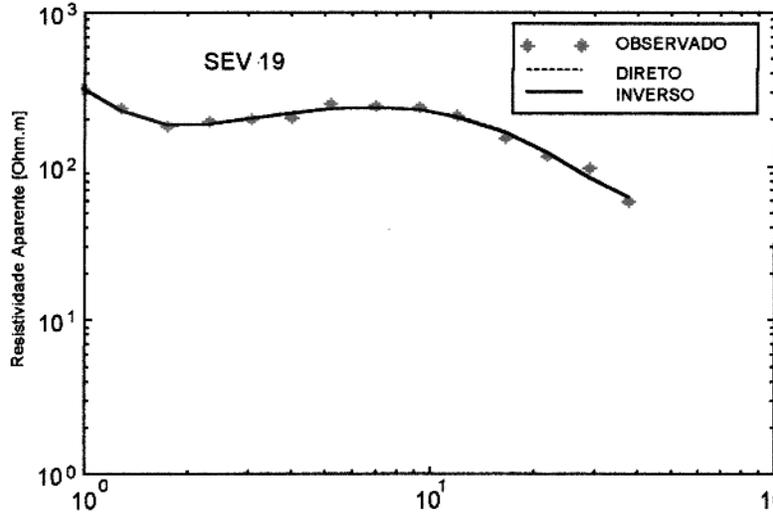
MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
1706.00	0.33
370.00	6.00
89.00	2.23
136.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
1745.70	0.72
370.07	3.36
72.94	24.63
131.52	



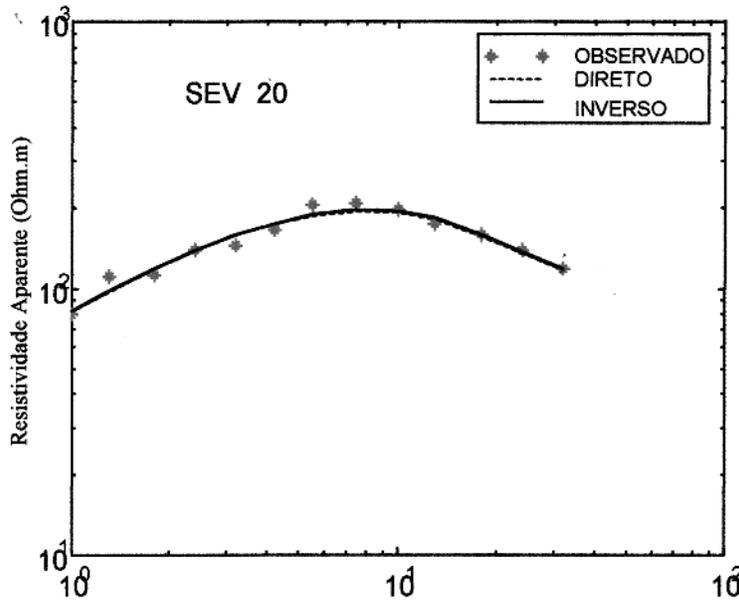


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
750.00	0.35
130.00	0.80
270.00	8.35
63.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
734.18	0.35
129.54	0.80
269.19	8.29
63.44	

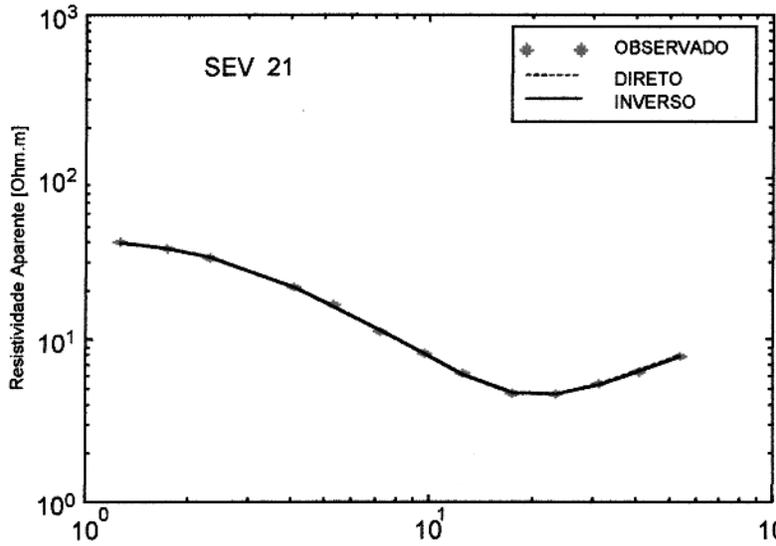


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
48.40	0.45
250.00	6.00
95.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
48.40	0.45
251.04	6.14
95.16	

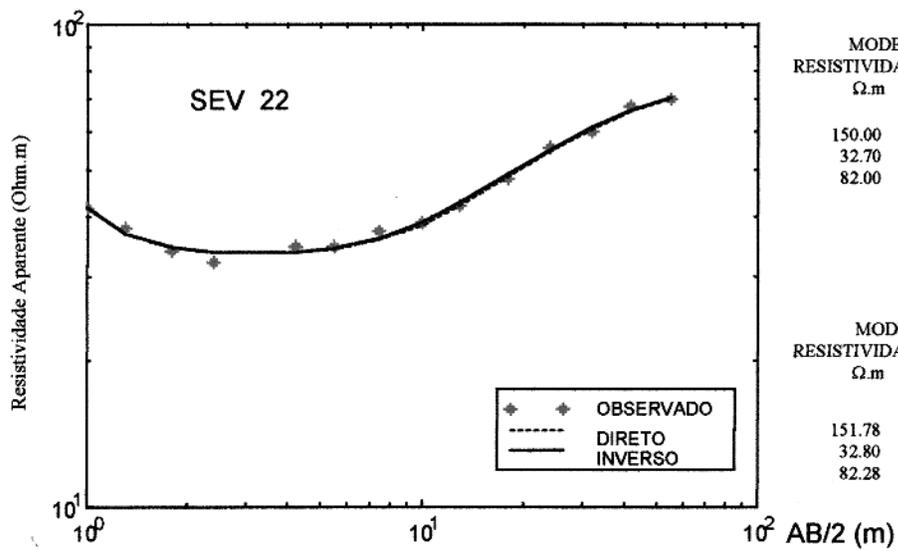


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
54.00	1.50
15.00	3.60
2.75	16.00
90.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
54.31	1.53
13.90	3.71
2.82	16.81
90.00	

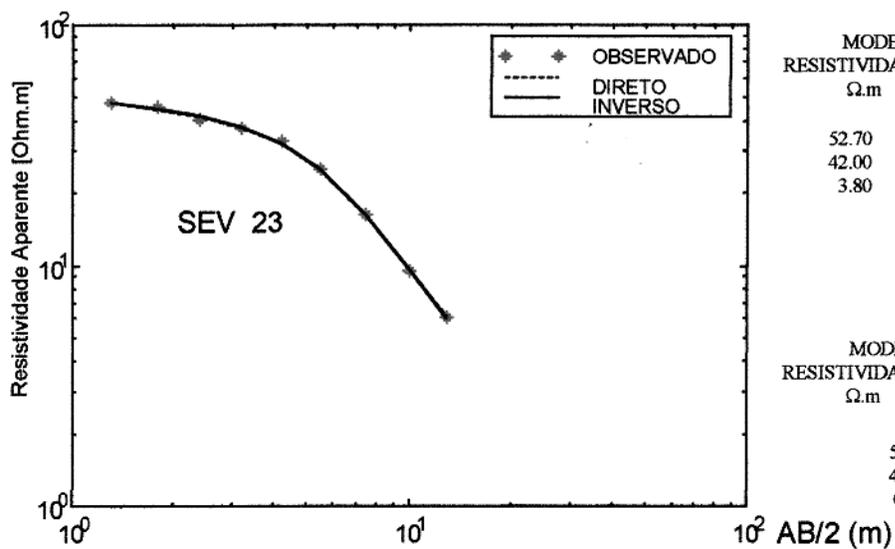


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
150.00	0.22
32.70	7.16
82.00	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
151.78	0.22
32.80	7.00
82.28	

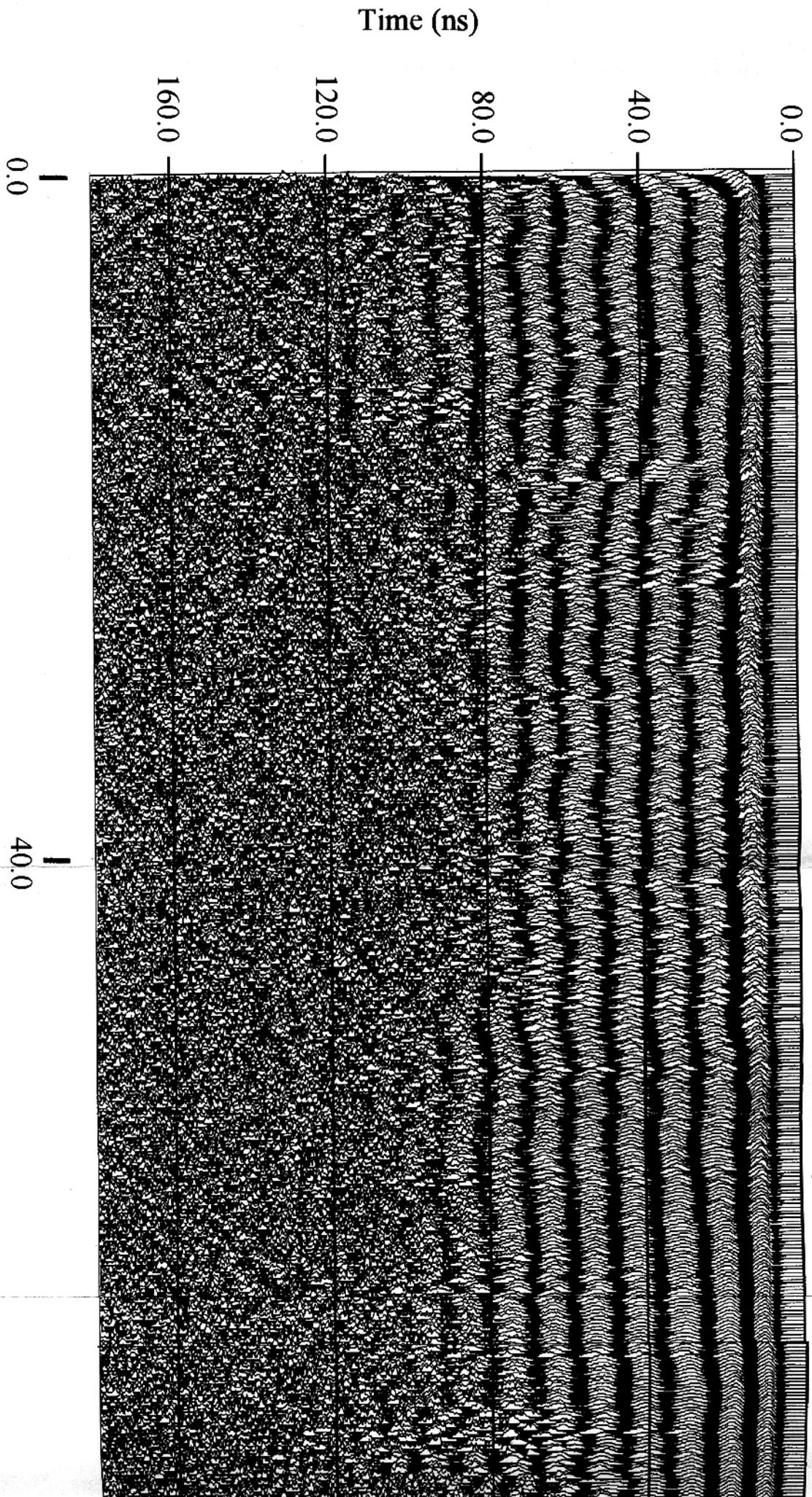


MODELO INICIAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
52.70	0.58
42.00	2.60
3.80	

MODELO FINAL

RESISTIVIDADE Ω.m	ESPESSURA metros
53.02	0.58
42.55	2.60
6.67	

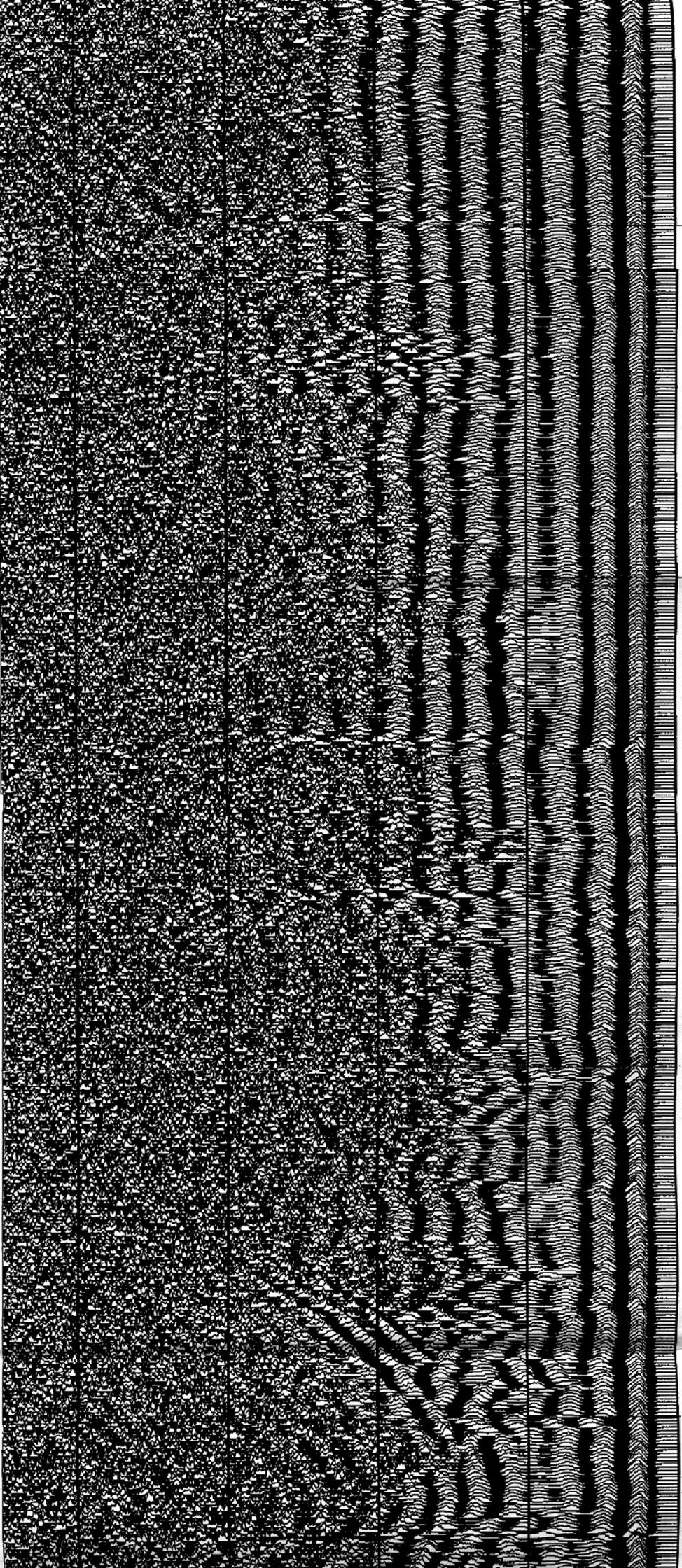


SEV 05
↑

SEV 05



Rua Diogo Moi



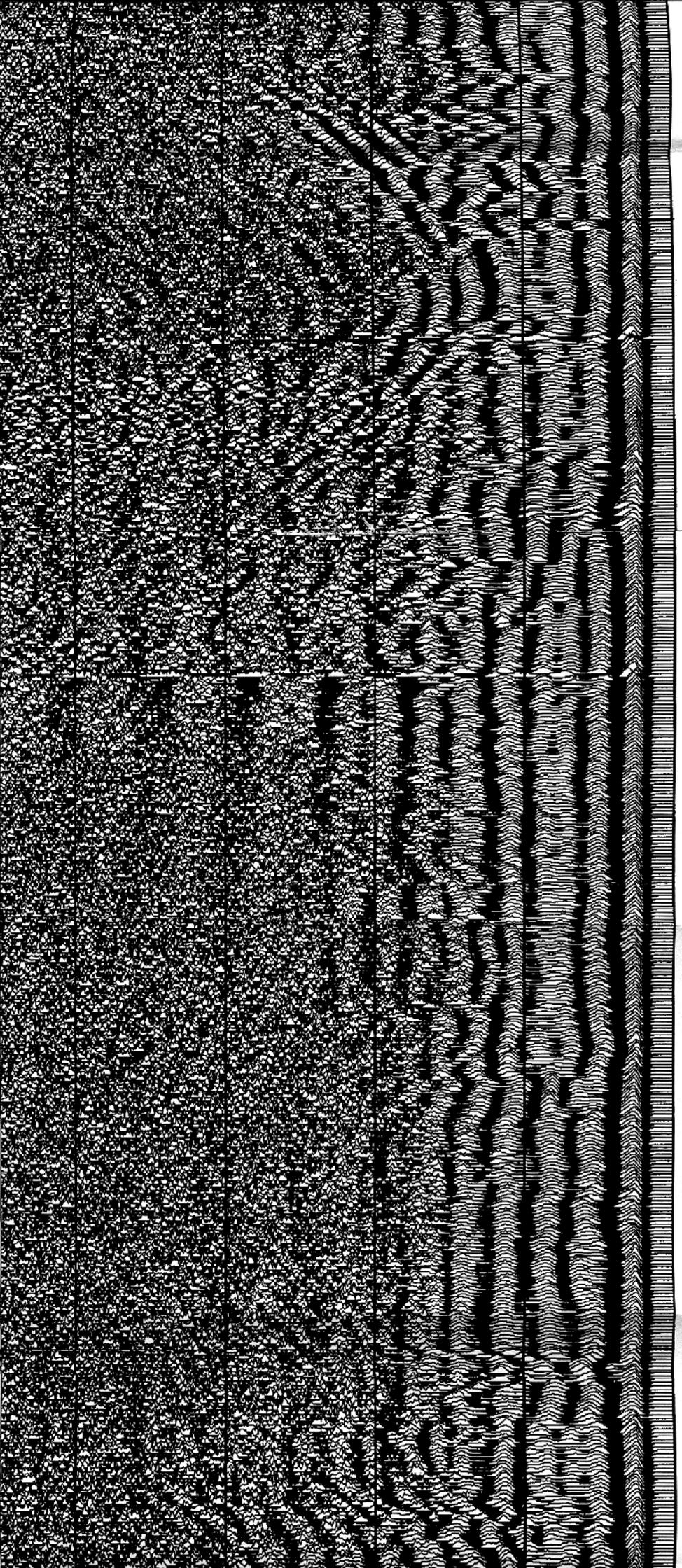
80.0

120.0

Rua Diogo Moia

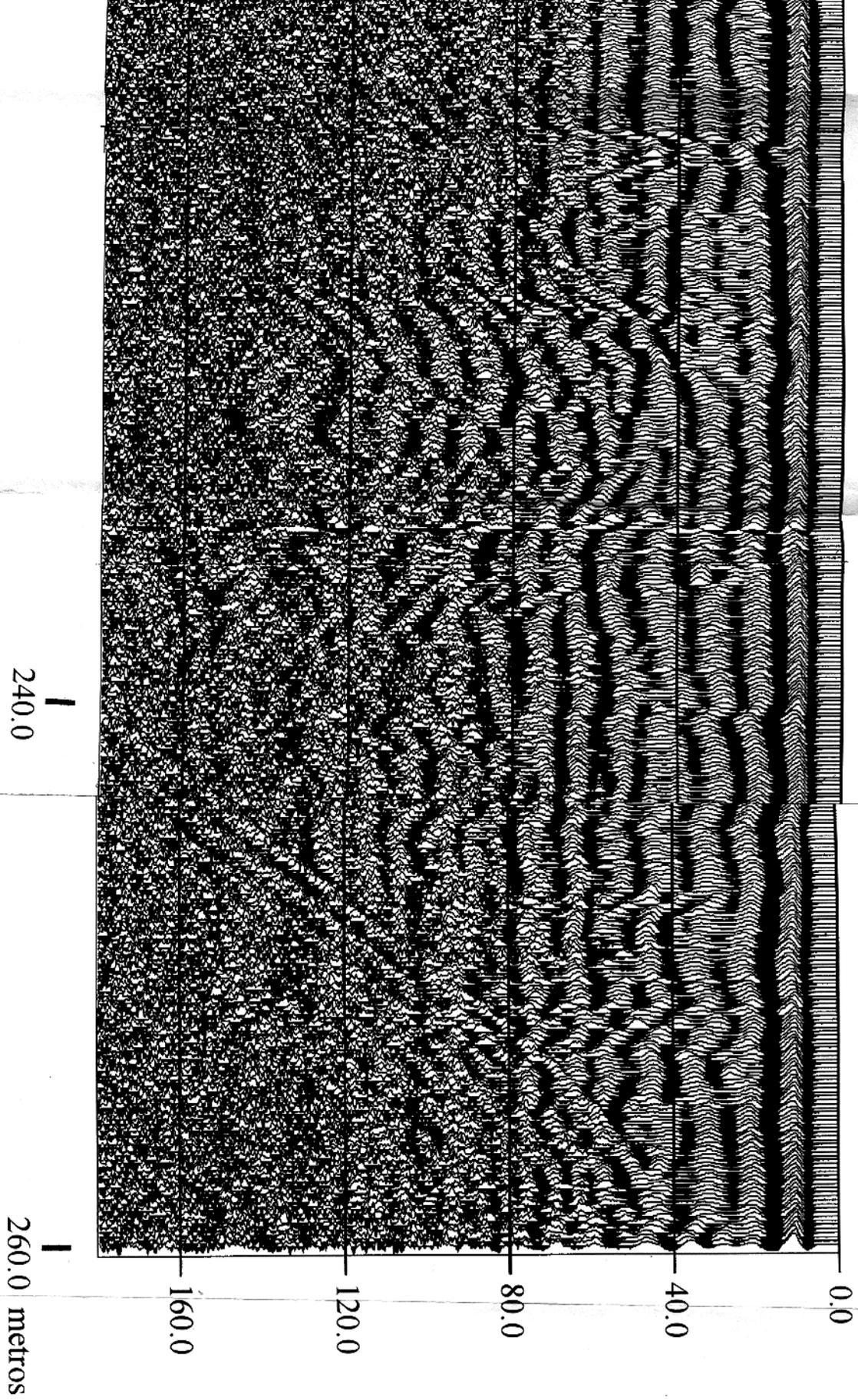


SEV 06



1
160.0

1
200.0



GAIN:AGC - WINDOW 30 ns HORIZONTAL ECALE: 1:632.8