

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Análise Multi-temporal de uma Pluma de Contaminação
Provocada por Necrochorume**

Ana Letícia Marin Voltarelli

Orientador: Prof. Dr. Fábio Taioli

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-10/03)

SÃO PAULO
2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Análise Multi-temporal de uma Pluma de Contaminação
Provocada por Necrochorume**



Ana Letícia Marin Voltarelli

Orientador: Prof. Dr. Fábio Taioli

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-10/03)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900028428

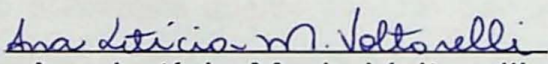
SÃO PAULO
2010

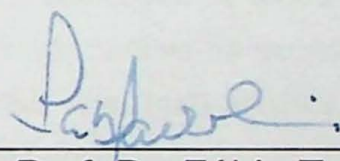
TF
V935
ALM a



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Análise Multi-temporal de uma Pluma de Contaminação
Provocada por Necrochorume**


Ana Letícia Marin Voltarelli
Aluna


Prof. Dr. Fábio Taioli
Orientador

SÃO PAULO
2010

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, ao professor Dr. Fábio Taioli e ao Doutorando Fernando Augusto Saraiva que me orientaram e deram todo o suporte para que o proposto trabalho fosse cumprido. Foram inúmeras horas de companheirismo, *happy hours* no final de cada dia de campo e discussões sobre o trabalho e seus resultados.

Agradeço também ao técnico Paulinho, do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS) pela ajuda e companheirismo em todas as etapas de campo, às quais sempre nos acompanhou.

Meus agradecimentos, também aos meus professores, colegas e amigos que fizeram parte da minha vida nesses cinco anos de geologia, com os quais passei os melhores momentos da minha vida! Muitas pessoas inesquecíveis e insubstituíveis. E a uma pessoa em especial, que fez questão de entrar na minha vida e espero que nunca mais saia, meu namorado Stephano (Gargalo), obrigada pelo carinho, amor e companheirismo!

A todos eles agradeço pelas horas bem vividas, histórias construídas, campos infinitos, bebedeiras intermináveis, e por todos os momentos que passei ao lado de cada um, bons ou ruins. São sempre histórias pra contar, eternizando laços e amizades, mesmo à distância, porém presente em lembranças.

Por fim, agradeço à minha família, pelo apoio, carinho e dedicação de todos por mim e, principalmente aos meus pais, Sirley e Vanderlei, peças fundamentais na minha formação, tanto acadêmica quanto pessoal. Sempre serão, em minha vida, meu alicerce, fontes de inspiração e bons exemplos a serem seguidos, sempre. Amo vocês!

"A felicidade aparece para aqueles que choram.

Para aqueles que se machucam.

Para aqueles que buscam e tentam sempre.

E para aqueles que reconhecem a importância das pessoas que passam por suas vidas. [...]"

Clarice Lispector

Sumário

Resumo.....	1
Abstract.....	2
1. Introdução	3
2. Metas e Objetivos.....	3
3. Localização da Área de Estudo	3
4. Revisão Bibliográfica	5
4.1. Aspectos Geológicos	5
4.2. Climatologia da Área	6
4.3. Geofísica e Cemitérios	6
4.4. Métodos geofísicos aplicados na pesquisa.....	7
4.4.1. GPR	7
4.4.2. EM.....	9
4.4.3. Eletrorresistividade	10
4.4.3.1 Caminhamento elétrico (CE).....	10
4.5. Hidrogeoquímica	11
5. Materiais e Métodos	12
5.1. Aquisição dos dados.....	13
5.1.1. Métodos geofísicos.....	13
5.1.2. Amostras de água	15
5.2. Equipamentos.....	16
5.3. Processamento dos dados	17
6. Desenvolvimento do Trabalho	17
7. Resultados Obtidos	19
7.1. Mapa Potenciométrico	19
7.2. Dados Eletromagnéticos – EM-31	19
7.3. Dados de Resistividade – CE	22
7.4. Dados de Permissividade Dielétrica – GPR.....	26
7.5. Dados de Amostragem de Água	26
7.5.1. Campo C1 – dezembro 2009.....	30
7.5.2. Campo C2 – maio 2010.....	30
7.5.3. Campo C3 – julho 2010	30
8. Interpretação e Discussão	30
8.1. Dados Eletromagnéticos – EM-31	30
8.2. Dados de Resistividade – CE	31
8.3. Dados de Permissividade Dielétrica – GPR.....	32
8.4. Amostragem de Água	33
9. Conclusões.....	34
10. Referências Bibliográficas	35

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização regional e local da área de estudo (em vermelho), cidades mais próximas e principais vias de acesso.....	4
Figura 2 - Imagem de satélite mostrando a localização da área, em destaque, e sua vizinhança, ano 2010.....	4
Figura 3 - Variações da precipitação e temperaturas máxima e mínima de Pirassununga, entre os anos de 1969 a 1991.....	6
Figura 4 - Esquema de emissão e reflexão do sinal GPR em subsuperfície.....	8
Figura 5 - Croqui mostrando as dimensões e modos de utilização do aparelho EM-31. O primeiro com bobinas na posição horizontal, medindo o campo vertical; o segundo, rotacionando o aparelho em 90 graus, com as bobinas na posição vertical, medindo o campo horizontal.....	9
Figura 6 - Modelo arranjo dipolo-dipolo utilizado na aula de campo para a técnica de caminhamento elétrico.....	11
Figura 7 - Croqui de localização dos poços de monitoramento (montante e jusante da vala) e suas respectivas numerações, geometria e dimensões da área de estudo e linhas de execução e identificação dos pontos dos levantamentos geofísicos (no detalhe).....	13
Figura 8 - Esquema para cálculo do volume do poço. Exemplo poço 13.....	15
Figura 9 - Mapa potenciométrico e direções do fluxo subterrâneo.....	19
Figura 10 - Mostra, respectivamente, os mapas dos campos horizontais gerados nas três campanhas, C1, C2 e C3 (escala em MS/m).....	20
Figura 11 - Mostra, respectivamente, os mapas dos campos verticais gerados nas três campanhas, C1, C2 e C3 (escala em MS/m).....	20
Figura 12 - Imagem referente linha L21, mostrando a quebra estratigráfica das altas resistividades do perfil não saturado e a localização da cava.....	22
Figura 13 - Corte em planta da área de estudo a 2,5m de profundidade e a localização da cava (escala em ohm.m).....	22
Figura 14 - Prancha de imagens dos perfis verticais referentes ao C2. Mostra a evolução da anomalia de baixos valores detectada, das linhas L20 a L14, respectivamente de cima para baixo.....	23
Figura 15 - Prancha de imagens dos cortes em planta do terreno, nas profundidades de 3,2m, 3,9m e 4,9m, respectivamente, de cima para baixo. Mostra a localização da anomalia de baixa intensidade detectada, possivelmente relacionada à pluma de contaminação (escala em ohm.m).....	24

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estratigrafia simplificada da Bc. do Paraná, na região de Pirassununga.....	5
Tabela 2 - Cronograma estipulado no início do projeto, com algumas modificações, porém cumprido a contento.....	18
Tabela 3 - Tabela consolidada, com concentrações dos ânions analisados em cada poço, nas três campanhas de aquisição de dados.....	26
Tabela 4 - Tabela consolidada, com concentrações dos cátions analisados em cada poço, nas três campanhas de aquisição de dados.....	27 e 28

Lista de Anexos

Anexo 1 - Tabela com localização em UTM dos poços de monitoramento, cotas topográficas e cotas do NA de todas as etapas de campo.

Anexo 2 - Dados de campo eletromagnéticos (escala mS/m)

2A) Etapa de campo C1 – dezembro 2009.

2B) Etapa de campo C2 – maio 2010.

2C) Etapa de campo C3 – julho 2010.

Anexo 3 - Perfis verticais gerados no processamento dos dados de resistividade, sendo apresentadas, respectivamente, as imagens referentes às etapas de campo C1, C2 e C3 de cada linha (escala ohm.m).

Anexo 4 - Cortes em planta gerados no processamento dos dados de resistividade, sendo apresentadas, respectivamente, as imagens referentes às etapas de campo C1, C2 e C3 de cada corte, a 3,2m, 3,9m e 4,9m de profundidade (escala ohm.m).

Anexo 5 - Perfis verticais gerados no processamento dos dados de GPR, sendo apresentadas, respectivamente, as imagens referentes às etapas de campo C1, C2 e C3 de cada linha.

Anexo 6 - Laudos laboratoriais das análises de água subterrânea coletadas no campo C1 - dezembro 2009.

6A) Ânions

6B) Cátions

Anexo 7 - Laudos laboratoriais das análises de água subterrânea coletadas no campo C2 – maio 2010.

7A) Ânions

7B) Cátions

Anexo 8 - Laudos laboratoriais das análises de água subterrânea coletadas no campo C3 – julho 2010.

8A) Ânions

8B) Cátions

Resumo

O trabalho proposto envolveu a análise multi-temporal de uma pluma de contaminação provocada por necrochorume através da investigação por três métodos geofísicos: GPR (Ground Penetrating Radar), Resistividade (caminhamento elétrico) e EM (Eletromagnético), amplamente usados na avaliação ambiental de áreas contaminadas.

Para tanto, uma área no campus USP de Pirassununga foi selecionada previamente, após estudos iniciais, devido suas características geológicas e hidrogeológicas serem favoráveis ao estudo (solo permeável, baixo nível d'água e isenta de contaminação anterior). Nesta foi instalada uma vala onde foram depositados restos de animais abatidos na própria Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA).

A pluma gerada pelo necrochorume advindo da decomposição foi monitorada pelos métodos geofísicos supracitados e por análises hidroquímicas em três campanhas, em diferentes épocas do ano.

Concomitante às campanhas de aquisição dos dados geofísicos foi realizada amostragem de água de poços de monitoramento instalados no local, tanto a montante quanto a jusante da origem da pluma de contaminação, para possível confirmação e correlação da existência da pluma.

O estudo multi-temporal comparativo teve por objetivo buscar, entre os três métodos pesquisados, o que mostra a melhor imagem em resposta do meio quando afetado por líquidos advindos dos corpos em decomposição, a delimitação da pluma de contaminação e seu comportamento no solo e no aquífero freático.

Os resultados das análises multi-temporais apontaram para o método mais confiável e eficiente, sendo este o da resistividade - CE. Este foi eficaz na delimitação do contaminante mesmo em baixas concentrações, quando comparado às concentrações de grandes cemitérios.

O caminhamento elétrico gerou a melhor imagem correspondente ao ocorrido em subsuperfície, sendo este, portanto, o mais eficaz dos métodos analisados para este fim, uma vez que os outros métodos analisados, eletromagnético e o radar, não se mostraram sensíveis às alterações sofridas pelo solo e água subterrânea, quando afetados pelo necrochorume.

Abstract

The proposed work involved the multi-temporal analysis of a contamination plume caused by necroleachate by means of three geophysical methods: GPR (Ground Penetrating Radar), Resistivity (electrical profiling) and EM (Electromagnetic), widely used in environmental assessment of contaminated areas.

To this end, an area located in the Universidade de São Paulo – Pirassununga was selected previously, after initial studies, because of its favorable geological and hydrogeological characteristics (permeable soil, low water level and free from previous contamination). In that site a trench was excavated and the remains of slaughtered animals by the Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) were deposited.

The necroleachate plume produced by the animals decomposition was monitored by geophysics and hydrochemistry in three campaigns in different seasons, during the year.

Concomitant to the campaigns of geophysical data acquisition were carried out water sampling from the monitoring wells, both upstream and downstream of the contamination plume origin, for possible correlation and confirmation about the plume existence.

The multi-temporal study aimed to compare the behaviour of the three methods in order to define which one would give the best image of the contamination generated by fluids coming from the decomposing bodies, the delineation of the plume and its behavior in soil and groundwater.

The multi-temporal analysis results pointed out that the most reliable and efficient method, the resistivity – electrical profiling, was effective in defining the contamination, even at low concentrations compared to major concentrations of cemeteries.

The electrical profiling has generated the best picture of what occurred in the subsurface, and this is, therefore, the most effective method of analysis for this purpose. The others methods, electromagnetics and GPR, were not sensible to the changes undergone by the soil and groundwater when affected by necroleachate.

1. Introdução

Nos últimos anos, impactos ambientais relacionados à implantação e funcionamento de cemitérios têm sido objeto de discussões públicas e deram origem a alguns trabalhos acadêmicos, revelando contaminações de solo e água subterrânea. Para estes estudos, tanto acadêmicos quanto de caráter técnico, os profissionais utilizam diversas metodologias para investigação do subsolo, sejam elas diretas ou indiretas. Os métodos indiretos utilizados na avaliação e controle das contaminações por cemitérios têm sido a eletrorresistividade e os eletromagnéticos, além do potencial espontâneo (SP) para definir o sentido do fluxo da água subterrânea. Mais recentemente o radar (GPR - Ground Penetrating Radar) tem sido mencionado em literatura e utilizado devido à alta resolução obtida com este método.

O trabalho proposto envolveu a análise multi-temporal de uma pluma de contaminação provocada por necrochorume através da investigação pelos três métodos geofísicos supracitados, GPR (Ground Penetrating Radar), Resistividade (caminhamento elétrico) e EM (Eletromagnético) e possui caráter comparativo dentre as técnicas e métodos geofísicos utilizados, no acompanhamento da formação e movimentação da pluma de contaminação induzida, originada a partir da liberação de necrochorume.

Concomitante às campanhas de aquisição dos dados geofísicos, em três campanhas e em diferentes épocas do ano, foi realizada amostragem de água de dezessete poços de monitoramento instalados na área, tanto a montante quanto a jusante da origem da pluma de contaminação, para possível correlação e confirmação da existência da pluma através da comparação dos resultados das análises dos poços a jusante com o de montante, o qual indicaria os valores de *background* da área.

2. Metas e Objetivos

O objetivo principal do estudo multi-temporal comparativo destes métodos geofísicos foi identificar o método mais eficiente e coerente com as respostas do meio natural quando afetado por fluidos advindos de corpos em decomposição e o comportamento da pluma de contaminação no solo e no aquífero freático.

3. Localização da Área de Estudo

Uma área no campus USP de Pirassununga foi selecionada previamente, após estudos iniciais, devido suas características geológicas e hidrogeológicas favoráveis ao estudo (solo permeável, baixo nível d'água e isenta de contaminação anterior) (Figura 1).



Figura 1: Localização regional e local da área de estudo (em vermelho), cidades mais próximas e principais vias de acesso (Fontes: Wikipédia e Googlemaps).

Nesta área foi instalada uma vala de dimensões 3mX6mX2,5m (larguraXcomprimentoXprofundidade) onde foram depositados aproximadamente oito toneladas de restos de animais abatidos na própria Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), para tentativa de fazer correspondência à situação real de cemitérios, no Brasil e no mundo, que não possuem impermeabilização nos túmulos. Esta serviu de área fonte para a pluma de contaminação por necrochorume.

A área localiza-se ao lado de uma lagoa, conhecida localmente como Lagoa Seca, por se manter seca nas épocas do ano de menor pluviosidade (Figura 2).

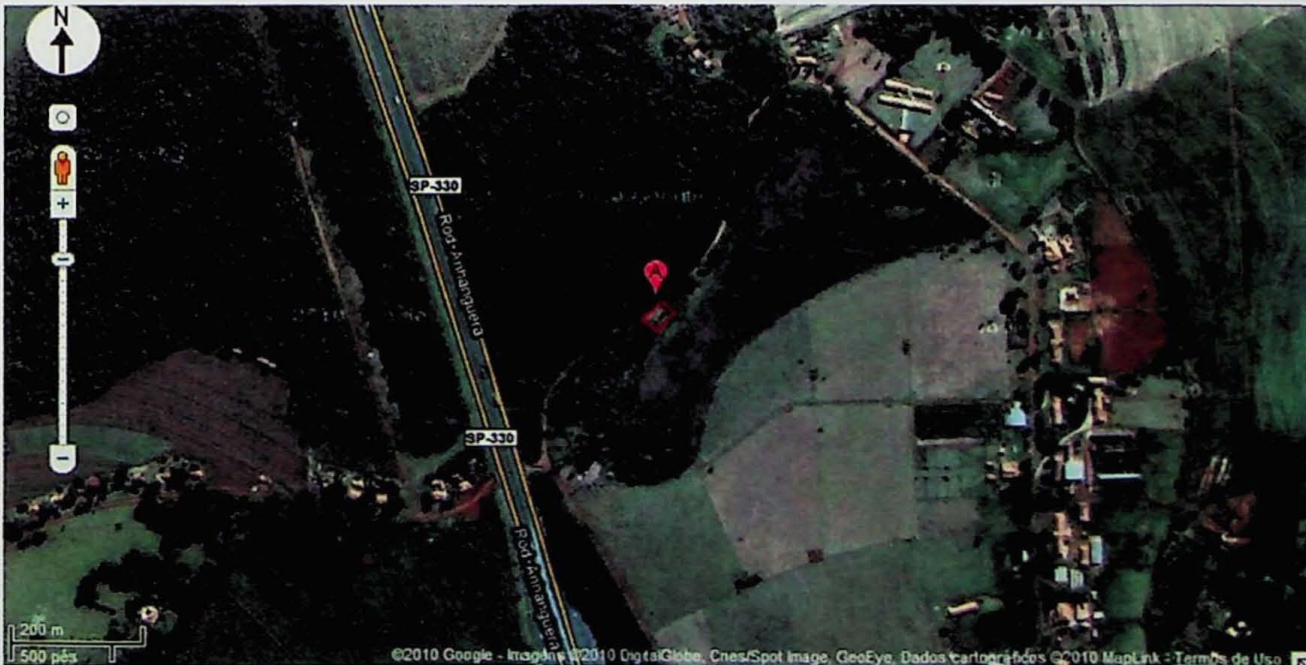


Figura 2: Imagem de satélite mostrando a localização da área, em destaque, e sua vizinhança, ano 2010. (Fonte: Googlemaps)

4. Revisão Bibliográfica

4.1. Aspectos Geológicos

A região de interesse está inserida no domínio da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu, situada a nordeste do Estado de São Paulo. Os aquíferos presentes na área são: Cenozóico, Diabásico ou Serra Geral (capacidade de 5 a 70 m³/h), Guarani (capacidade de 50 a 600 m³/h), Passa Dois (baixo potencial), Tubarão (3 a 30 m³/h) e Cristalino (5 a 30 m³/h) (PROAMB, 2008).

Geologicamente, a área situa-se no setor nordeste da Bacia do Paraná.

Na região de Pirassununga afloram camadas permo-carboníferas das Formações Aquidauana ou correlata (arenitos) e Tatuí (siltitos argilosos e argilitos marinhos permianos), do Grupo Tubarão e Formações Irati (argilitos e folhelhos cinzas, marinho rasos) e Corumbataí (siltitos e argilitos de cor cinza, marinho rasos), do Grupo Passa Dois.

Afloram também os depósitos mesozóicos das Formações Pirambóia (arenitos fluviais e principalmente eólicos) e Botucatu (arenitos eólicos com estratificações cruzadas de médio a grande porte), além de rochas vulcânicas e corpos intrusivos do Serra Geral, todos pertencente ao Grupo São Bento.

O Cenozóico está representado pelas formações Rio Claro (sedimentos imaturos, areno-argilosos, de coloração marrom-avermelhada) e Pirassununga e sedimento quaternários de deposição colúvio-aluvial (FERREIRA, 2005).

Tabela 1 – Estratigrafia simplificada da Bacia do Paraná, na região de Pirassununga (modificada de PROAMB, 2008).

Grupo	Formação
-	Formação Rio Claro ou correlatas
São Bento	Formação Serra Geral
	Formação Botucatu
	Formação Pirambóia
Passa Dois	Formação Corumbataí
Tubarão	Formação Tatuí
	Formação Aquidauana ou correlata
	Formação Itararé

A Formação Pirassununga (correlata à Formação Rio Claro, na região de Pirassununga) é composta por depósitos areno-argilosos inconsolidados que recobrem formações mais antigas da Bacia do Paraná (Corumbataí, Tatuí e Pirambóia) em discordância erosiva, na região de Pirassununga e Porto Ferreira, ocupando principalmente o vale do rio Mogi-Guaçu. Apresenta duas fácies principais: uma conglomerática com seixo de quartzo, quartzito e fragmentos de siltitos (na base do contato erosivo) e uma areno-argilosa,

caracterizada por sedimentos mal selecionados e grãos de quartzo dispersos na matriz (FERREIRA, 2005).

4.2. Climatologia da Área

O estudo climatológico do município no qual está inserida a área de interesse é importante devido às variações sazonais de precipitação com as mudanças das estações climáticas.

Os meses mais chuvosos são os de dezembro e janeiro, na estação do verão, em que a precipitação chega a atingir a média de 250mm. Nestes meses ocorrem também as maiores temperaturas, em média, máximas de 28°C e mínimas de 22°C.

A estação mais seca e fria do município é o inverno, nos meses de julho e agosto. Nestes meses a precipitação é igual ou inferior a 20mm e as temperaturas máximas e mínimas caem, chegando a 23°C e 11°C, respectivamente (Figura 3).

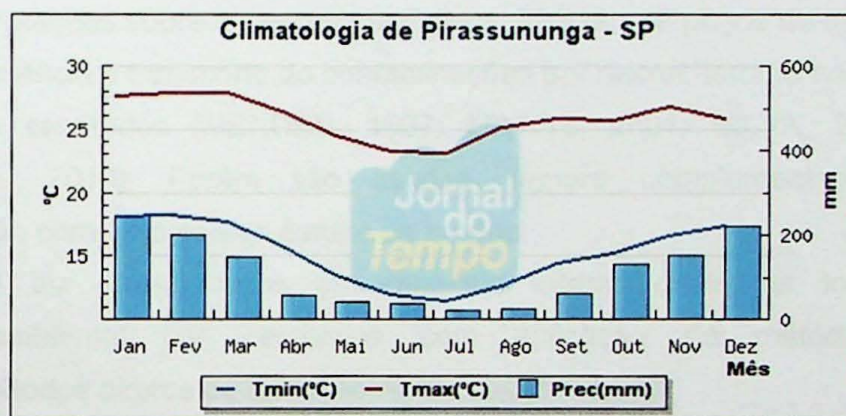


Figura 3: Variações da precipitação e temperaturas máxima e mínima de Pirassununga, entre os anos de 1969 a 1991. (Fonte: Jornal do Tempo)

A pluviosidade influencia diretamente no nível freático do aquífero e também na dissolução dos íons gerados pela decomposição das carcaças dos animais enterrados, bem como no carreamento destes íons pela água subterrânea.

Estas mudanças podem influenciar nas respostas de todos os métodos geofísicos utilizados e, principalmente, nos resultados das análises de água.

4.3. Geofísica e Cemitérios

Os cemitérios podem ser fonte geradora de impactos ambientais. A localização e operação inadequadas de cemitérios em meios urbanos podem provocar a contaminação de mananciais por compostos orgânicos e microrganismos que proliferam no processo de decomposição dos corpos. Esta contaminação pode fluir para regiões próximas de fontes superficiais de captação de água para consumo humano, colocando em risco a saúde das pessoas que venham a utilizar desta água.

No estudo do subsolo de cemitérios o principal interesse está em conhecer a profundidade dos aquíferos, tanto confinado como livre, bem como direção e sentido em que as águas subterrâneas do aquífero livre fluem, por ser mais suscetível à contaminação por necrochorume, que depois se mistura ao aquífero confinado. Além disso, é importante definir as espessuras das rochas entre ambos os aquíferos, pois pode não ser suficiente para a filtragem e a depuração biogênica da água que chega até o aquífero confinado desde a porção superior do terreno (SILVA, 2008).

A aplicação de métodos geofísicos geoeletricos nas investigações ambientais apresenta diversas vantagens, principalmente pela característica investigativa indireta e não destrutiva, na determinação da profundidade da zona saturada, identificação do sentido do fluxo da água, na investigação de contaminantes em subsuperfície. Este fato permite seu emprego em cemitérios, sem riscos para construções presentes como jazigos, lápides, mausoléus, etc (SILVA e MALAGUTTI FI, 2010).

Há varias citações do uso de métodos geofísicos, principalmente geoeletricos, para obtenção de informações sobre aspectos geológicos, locação de poços de monitoramento e avaliação da ocorrência e transporte de contaminações por necrochorume nos aquíferos nas proximidades de cemitérios (MENDES, 1987; MATOS, 2001; SILVA, 2008; SILVA e MALAGUTTI FL, 2010). Porém são usados sempre complementarmente e não comparativamente, como o presente estudo se propõe.

SILVA, 2008 diz serem raros os trabalhos internacionais na investigação da contaminação ambiental por cemitérios com aplicação de métodos geofísicos, predominando métodos diretos de hidrogeologia.

4.4. Métodos geofísicos aplicados na pesquisa

Conforme proposto, três metodologias básicas foram utilizadas comparativamente na presente pesquisa, na tentativa de se determinar qual oferece melhor resposta ao ambiente e condições criados: o GPR – Ground Penetrating Radar, o EM - Eletromagnético e o CE - Caminhamento Elétrico. Além disso, na análise preliminar da área escolhida foram utilizados os métodos da Sondagem Elétrica Vertical – SEV e do Potencial Espontâneo – SP, o primeiro para determinação da profundidade do nível freático e o segundo para determinação da direção do fluxo subterrâneo.

4.4.1. GPR

O GPR é um método de investigação geofísica que se fundamenta na emissão e recepção de ondas eletromagnéticas de frequências variadas (de 10 a 1000MHz) em subsuperfície. A frequência de operação é escolhida de modo a fornecer a relação mais vantajosa entre a penetração e a resolução para um determinado objetivo. Ondas de radar com frequências que variam de 10 a 100 MHz apresentam maior profundidade de

penetração que as frequências situadas no intervalo de 200 a 1000 MHz, as quais apresentam maior resolução do sinal e permitem um maior detalhamento de estruturas menores (GANDOLFO, 2009).

O funcionamento do método GPR se baseia na seguinte sistemática: um pulso de energia eletromagnética é irradiado para o interior do solo por uma antena transmissora (Figura 4), a energia refletida é captada pela antena receptora, sendo o sinal, então, amplificado, formatado, armazenado e apresentado na tela de um *notebook*.

As reflexões da onda eletromagnética em subsuperfície ocorrem nas interfaces de materiais com diferentes propriedades dielétricas. A propriedade física envolvida neste fenômeno é a permissividade dielétrica, que é expressa pela constante dielétrica “K”.

A utilização do GPR possibilita a avaliação de forma contínua das feições ao longo dos perfis realizados, permitindo identificar possíveis anomalias, discontinuidades, interferências enterradas e estruturas geológicas, otimizando desta forma os custos dos levantamentos. Apresenta-se como uma importante ferramenta geofísica para investigação detalhada de alvos rasos e de pequenas dimensões, auxiliando na caracterização ambiental e geológica.

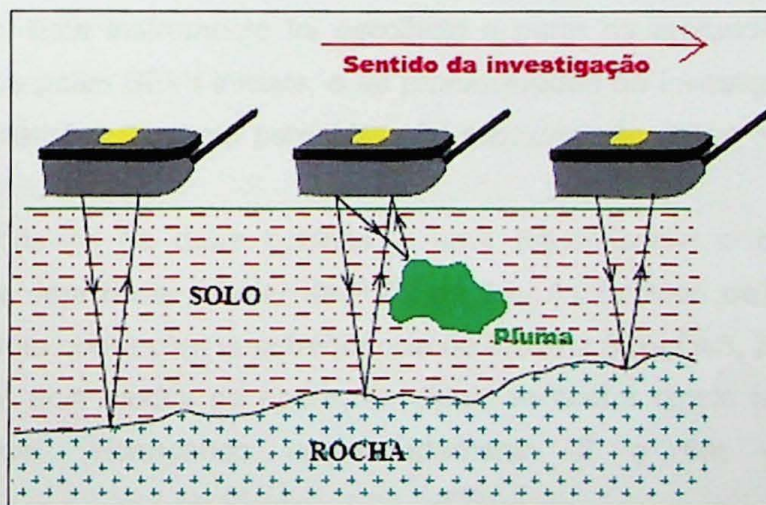


Figura 4: Esquema de emissão e reflexão do sinal GPR em subsuperfície (modificada de GANDOLFO, 2009).

Neste trabalho, uma das feições a serem procuradas nas seções processadas são as interfaces indicativas da camada saturada de água e, dentro desta, a extensão da possível contaminação causada pelo necrochorume e, eventualmente, o local da cava onde foram depositados os restos dos animais. Se o substrato o permitir, poderão ser visualizadas as figuras de difração formadas quando o perfil GPR cruza perpendicularmente os corpos enterrados, o que permitirá determinar seus posicionamentos.

Para este estudo, foi escolhida a antena de 100 MHz, devido à sua boa penetração no ambiente geológico da área da pesquisa, aliando a profundidade investigada à boa resolução que proporciona.

4.4.2. EM

O método eletromagnético ou de indução, emprega campos eletromagnéticos, gerados por correntes alternadas de origem artificial ou natural (GALLAS, 2007).

Atualmente os métodos EM são empregados, além da prospecção mineral, em prospecção hidrogeológica, geologia de engenharia e geologia ambiental.

O menor custo e maior rendimento dos métodos eletromagnéticos, comparados à eletrorresistividade, têm sido os motivos de seu emprego. Entretanto, sua aplicação depende da ausência de interferências e outros condicionantes geológicos e físicos.

Uma outra vantagem é que se trata de um método indutivo, não requerendo um contato galvânico com o terreno (cravação de eletrodos metálicos), indispensável para os métodos elétricos. Em situações de elevadas resistências de contato ou áreas pavimentadas, esta pode ser uma limitação para o uso da eletrorresistividade.

O método é bastante eficaz no recobrimento de extensas áreas devido à rapidez do levantamento de campo. O grande volume de dados gerados permite a elaboração de mapas de isovalores no reconhecimento da área investigada.

O instrumento empregado neste trabalho foi o EM-31, fabricado pela empresa canadense Geonics. Este instrumento foi escolhido a partir da profundidade do aquífero freático determinados pelas SEVs iniciais, e as profundidades de investigação obtidas pelo instrumento serem satisfatoriamente parecidas. As medidas são feitas em *miliSimens* por metro (mS/m).

Este sistema consiste de duas bobinas – uma transmissora e outra receptora – colocadas dentro de uma haste tubular de PVC de 4m. As bobinas estão separadas por 3,66m e o equipamento opera com uma frequência de 9,8 kHz (GALLAS, 2007) (Figura 5).

O EM-31 permite dois modos de operação: dipolo vertical e dipolo horizontal, campos horizontal e vertical, alcançando aproximadamente 3 e 6m de profundidade respectivamente.

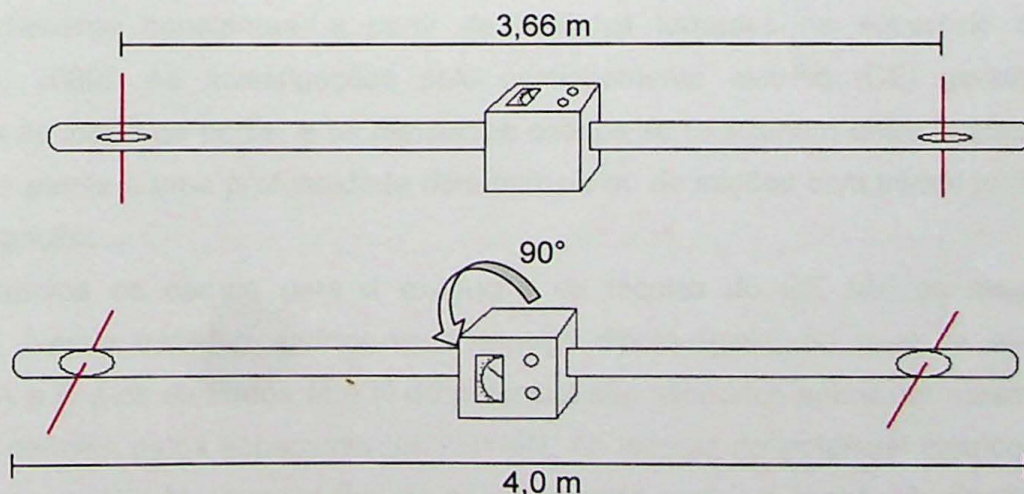


Figura 5: croqui mostrando as dimensões e modos de utilização do aparelho EM-31. O primeiro com bobinas na posição horizontal, medindo o campo vertical; o segundo, rotacionando o aparelho em 90 graus, com as bobinas na posição vertical, medindo o campo horizontal.

Para alterar a posição das bobinas e, conseqüentemente, a direção do campo eletromagnético, deve-se rotacionar o aparelho de 90° (Figura 5). A principal vantagem deste sistema é a rapidez dos levantamentos e a principal desvantagem é a pouca penetração.

4.4.3. Eletrorresistividade

O princípio desta técnica, que mede a resistividade aparente em um ponto em subsuperfície, consiste na injeção de uma corrente artificial de intensidade I no solo através de dois eletrodos de corrente (A e B) em contato galvânico com o solo. Outros dois eletrodos são introduzidos no solo nas proximidades (eletrodos de potencial, M e N), pelos quais mede-se o potencial estabelecido pelo fluxo de correntes, determinando-se assim a resistividade aparente.

Nesse método estudam-se heterogeneidades verticais, como meios estratificados, derrames e nível freático (usando a SEV ou sondagem elétrica vertical) e as heterogeneidades laterais, tais como diques e falhas (usando o CE ou caminhamento elétrico).

Alguns fatores, porém, podem interferir nos resultados da eletrorresistividade, tais como: baixa porosidade dos folhelhos maciços, rochas ígneas e metamórficas; poros com ausência de água ou com água intersticial limpa, que podem fornecer alta resistividade; e presença de argilas, que ao contrário, fornecem baixa resistividade (GALLAS, 2000).

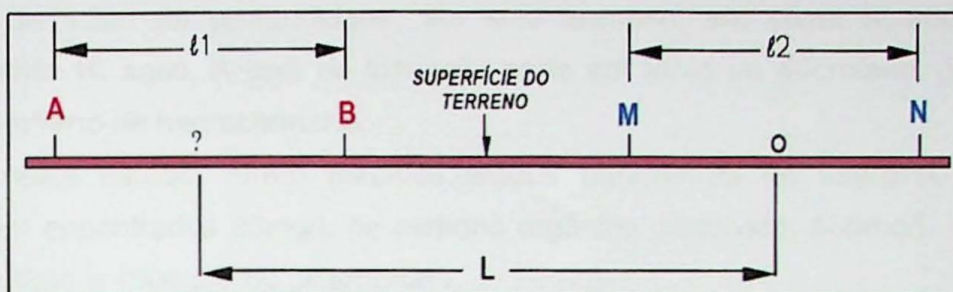
No método da eletrorresistividade usam-se duas técnicas diferentes supracitadas, a SEV e CE, dependendo da finalidade da investigação e estratigrafia. Neste trabalho foi utilizado o CE.

4.4.3.1 Caminhamento elétrico (CE)

Técnica geofísica de investigação horizontal a uma ou várias profundidades aproximadamente constantes, a partir de medidas tomadas na superfície do terreno (GALLAS, 2000). As investigações pelo caminhamento elétrico (CE) geralmente são efetuadas ao longo de perfis, e os resultados obtidos se relacionam entre si através de um estudo em planta a uma profundidade determinada ou de seções com várias profundidades de investigação.

Os arranjos de campo para a execução da técnica do CE são os mais variados possíveis. Nesse trabalho, utilizou-se o arranjo dipolo-dipolo, no qual os eletrodos de corrente A e B e os eletrodos M e N de potencial são alinhados sobre um mesmo perfil. O arranjo é definido pelos espaçamentos $AB=MN$. As leituras do potencial elétrico são feitas entre os pontos M e N, situados fora do ponto onde se realiza a injeção de corrente (A e B) (Figura 6). Faz-se o levantamento de um perfil com profundidade constante movendo-se o

quadripolo ABMN a cada medida efetuada, sendo este deslocamento igual a L (distância entre as medianas dos dois pares de eletrodos) (GALLAS 2000).



Arranjo Dipolo-dipolo (original de GALLAS, 2000).

Figura 6: Modelo arranjo dipolo-dipolo para a técnica de caminhamento elétrico (GALLAS, 2000).

A profundidade de investigação cresce com o espaçamento. Normalmente, as medidas são efetuadas em vários níveis (n) de investigação, isto é n = 1, 2, 3, 4 e 5, atribuídas à intersecção das linhas que partem do centro de AB e MN com ângulos de 45°.

Os valores de resistividade são obtidos através das equações abaixo:

$$1) \rho = K(\Delta V / I) \quad [\Omega * m]$$

$$2) K = 2\pi / [(1/AM) - (1/AN) - (1/BM) + (1/BN)]$$

Onde ρ é a resistividade elétrica (ohm.m), K é o fator geométrico que depende das posições dos eletrodos no terreno (adimensional), ΔV é a diferença de potencial entre os eletrodos M e N e I a intensidade de corrente que passa entre os eletrodos A e B.

4.5. Hidrogeoquímica

O termo, necrochorume, seria um neologismo que designa o líquido liberado intermitentemente pelos cadáveres em putrefação. É um líquido viscoso mais denso que a água (densidade 1,23 g/cm³), rico em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis. Possui de maneira geral coloração castanho-acinzentado, polimerizável, odor desagradável e grau de patogenicidade variado (SILVA, 2008).

Segundo MATOS, 2001 os elementos químicos presentes em um corpo de um homem adulto seriam: carbono, nitrogênio, cálcio, fósforo, enxofre, potássio, sódio, cloreto, magnésio, ferro e água, que variam na quantidade de pessoa para pessoa. Apesar de não se tratarem de corpos humanos no projeto em questão, a composição deve ser aproximada por se tratarem de restos de animais, principalmente mamíferos, podendo haver alguma diferença com relação a qualquer fenótipo do animal que possa gerar interferência, como por exemplo a alimentação.

O mesmo autor propõe que os efeitos mais prováveis dessa contaminação química sejam o aumento na presença de compostos de nitrogênio e fósforo, na concentração de

sais (Cl^- , HCO_3^- , Ca^{+2} , Na^+) e consequentemente na condutividade elétrica, no pH e na alcalinidade e dureza da solução do solo.

ENGELBRECHT, 1998, afirma que a biooxidação do corpo humano, enterrado à profundidade de 1,5m de profundidade, em solo arenoso, em clima holandês, requer aproximadamente 10 anos. A taxa de lixiviação seria em torno de 40cm/ano, gerando um volume de 0,4m³/ano de necrochorume.

Também neste estudo, foram medidos alguns parâmetros de interesse para este trabalho. Foram encontrados 95mg/L de carbono orgânico dissolvido, 500mg/L de cloretos, 300mg/L de sulfato e 450mg/L de bicarbonato.

A decomposição das substâncias orgânicas no necrochorume pode produzir cadaverina e putrescina, que quando degradadas geram amônio em condições anaeróbicas. Com o consumo de oxigênio, a matéria orgânica é oxidada e o amônio transformado em nitrato (MIGLIORINI, 1994).

BLUM *et al*, 2009, mostram que os primeiros compostos a serem consumidos pela biodegradação de compostos orgânicos em água subterrânea são O_2 e NO_3^- e que nesta fase seria gerado Fe^{2+} . Quando todo o oxigênio e nitrato forem consumidos começará o consumo de SO_4^{2-} e liberação de CH_4 . NO_3^- só voltará a ser produzido quando o ferro começar a ser consumido pelas bactérias, sendo que neste momento também haverá alta produção de SO_4^{2-} .

5. Materiais e Métodos

A obtenção dos dados de campo foi feita a partir de diversos equipamentos, a maioria já de uso freqüente nas atividades diárias do orientador. A coleta de amostras de água foi efetuada em poços de monitoramento já em operação, de acordo com a norma ABNT conforme exige a legislação aplicável.

Utilizando softwares de múltiplas aplicações como, por exemplo, os programas SURFER e Excel ou softwares de inversão (e.g. RES2Dinv, Gres2win, etc.), os dados foram processados, possibilitando a obtenção de um modelo mais realista da subsuperfície, sem as distorções observadas nas pseudo-seções de resistividade elétrica aparente. Com isto esperou-se uma avaliação mais precisa do comportamento da contaminação induzida neste estudo, bem como a variação do nível freático local, em diferentes épocas do ano.

Foram efetuadas três campanhas de levantamentos geofísicos e hidroquímicos, cujos resultados foram comparados com os dados de *background* e entre si.

5.1. Aquisição dos dados

Para a obtenção de uma imagem fiel da situação em subsuperfície, é necessária a amostragem com uma densidade tal que se possa obter os limites/contornos do alvo investigado, independente do instrumento utilizado.

Desta forma, definida a área e seus atributos físicos e geológicos, foi criada uma malha densa o suficiente para se obter a identificação do nível d'água e a definição dos contornos da possível pluma de contaminação em três dimensões (lateralmente e em profundidade).

Ficou estipulada a área de investigação dentro do campus da USP de Pirassununga, com medidas 25m x 45m. Foram estaqueadas 25 linhas aproximadamente paralelas à estrada de acesso e à margem da Lagoa Seca, ou seja, paralelas às curvas de nível (Figura 7), distantes uma das outras de um metro, portanto, 25 perfis de investigação para cada tipo de método estudado.

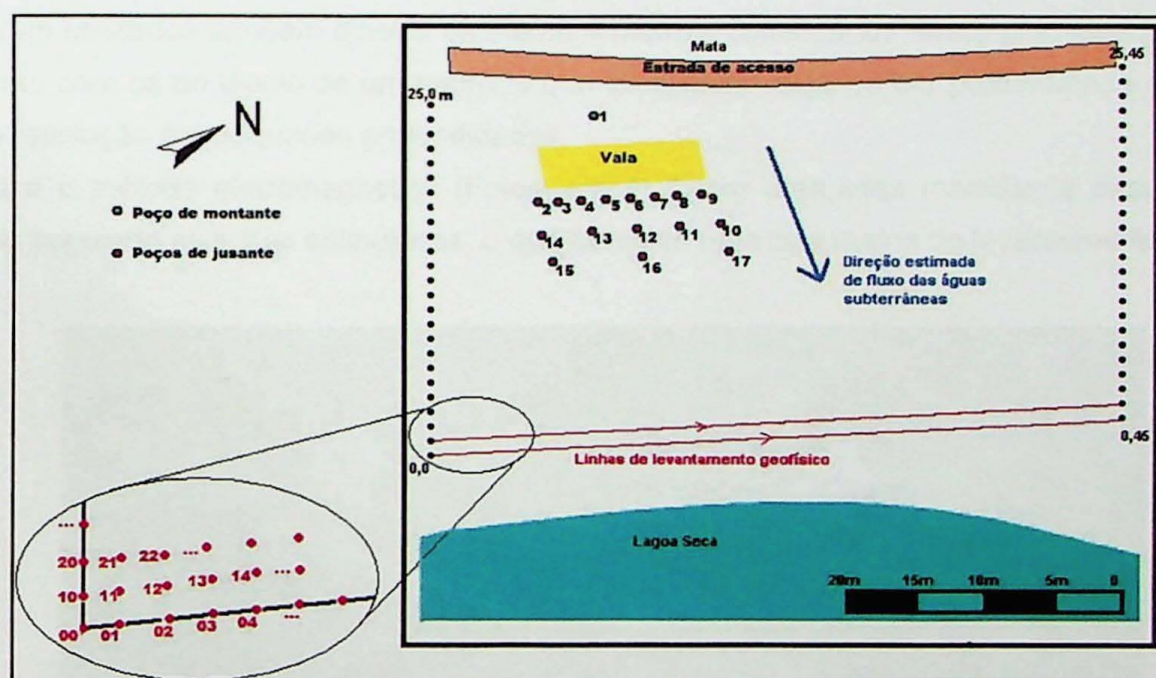


Figura 7 - Croqui de localização dos poços de monitoramento (montante e jusante da vala) e suas respectivas numerações, geometria e dimensões da área de estudo e linhas de execução e identificação dos pontos dos levantamentos geofísicos (no detalhe) (modificado de Saraiva 2008).

5.1.1. Métodos geofísicos

O espaçamento utilizado entre eletrodos ao longo das linhas (densidade de amostragem) em superfície foi definido a partir das dimensões do terreno, da área com deposição de corpos e da profundidade em que estes foram enterrados.

Com base nesses parâmetros, no caminhamento elétrico utilizou-se arranjo dipolo-dipolo com distância entre eletrodos de um metro e dez níveis de investigação, de forma a se obter uma boa resolução horizontal e vertical da área estudada (Foto 1).



Foto: Fábio Taioli



Foto: Ana Leticia M. Voltarelli

Fotos 1 e 2: Respectivamente mostrando o arranjo utilizado em campo para o CE, com espaçamento de 1m por eletrodo e detalhe para o aparelho resistivímetro multieletródo utilizado na aquisição dos dados de resistividade, respectivamente.

Considerando-se que o equipamento utilizado foi um resistivímetro multieletródo (Foto 2), foram utilizados também dipolos de 2 e de 4 metros, cujos dados foram processados em conjunto com os do dipolo de um metro, o que aliou maior alcance em profundidade com a ótima resolução em pequenas profundidades.

Para o método eletromagnético (Fotos 3 e 4) foram efetuadas medidas a cada dois metros seguindo as linhas estipuladas, o que forneceu uma boa malha de levantamento.



Foto: Fábio Taioli



Foto: Fábio Taioli

Fotos 3 e 4: Aquisição dos dados eletromagnéticos com o aparelho EM-31, primeiro medindo o campo vertical e segundo, o horizontal, respectivamente.

Já o GPR, pela facilidade de sua aquisição, teve medidas efetuadas a cada 2,0cm (Fotos 5 e 6), com antena de 100MHz.



Foto: Durval



Foto: Ana Leticia M. Voltarelli

Fotos 5 e 6: Aquisição dos dados de GPR, começando na linha zero (ao lado da Lagoa Seca) e detalhe para a antena de 100MHz do equipamento, respectivamente.

5.1.2. Amostras de água

Foram coletadas amostras de água de 17 poços de monitoramento instalados na área de teste, de acordo com procedimento de amostragem sugerido por CETESB (fonte: www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas_contaminadas/anexos/download/6410.pdf).

Este procedimento é realizado em duas etapas: primeiramente é feito o esgotamento do poço com auxílio do *bailer* (amostrador descartável com capacidade de 1 litro), em que se retira no mínimo três vezes o volume de água do mesmo, geralmente um dia antes da amostragem, para que o poço possa recuperar seu volume. Isso é feito para garantir que a amostragem não terá intervenção da água paralisada no poço, que pode gerar falsos positivos ou negativos nas análises.

Para o cálculo do volume aproximado dos poços foram feitas medidas do nível d'água antes do esgotamento, a medida da profundidade do poço, bem como do diâmetro do tubo de PVC do poço e sua parte sobressalente do solo (Figura 8) de um dos poços, e padronizado para todos os outros. Com isso pôde ser calculada a coluna d'água (h) bem como o volume (V).

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h, \text{ portanto, } 0,00475 \text{ m}^3 \text{ ou } 4,75 \text{ L}$$

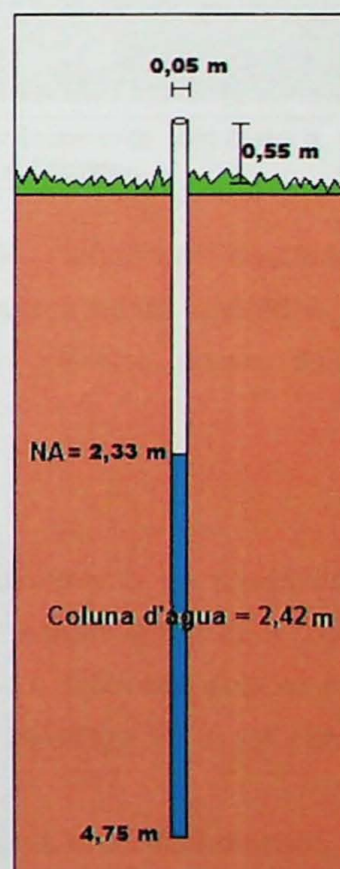


Figura 8: Esquema para cálculo do volume do poço. Exemplo poço 13.

Ou seja, no caso do poço 13 seria necessária a retirada de no mínimo 14,25 litros de água dos poços para esgotá-lo. Porém como a recuperação da água é rápida na área de

estudo, foi utilizado o valor fixo de 18 litros para todos os poços, garantindo que a amostra seria representativa do aquífero freático naquele ponto.

A segunda parte é a amostragem, também feita com *bailer*, já com o volume do poço recuperado e com água "nova", um dia depois do esgotamento (Foto 7). As amostras são colocadas em recipientes de plástico novos (250 ml), com tampa e devidamente identificados, evitando a contaminação e outros possíveis erros de amostragem (Foto 8). Depois estas são mantidas refrigeradas para evitar a proliferação de microorganismos que podem interferir no resultado final da análise, dando um falso resultado.



Fotos 7 e 8: Procedimento de amostragem dos poços de monitoramento com *bailer* e armazenamento da amostra em potes de 250mL identificados.

As amostras foram analisadas, nos laboratórios do CEPAS - Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - sob os parâmetros físico-químicos, normalmente alterados pela decomposição de corpos, citados anteriormente, tais como pH, cloretos, dureza de Ca^+ , além de Na^+ , Nitrato, entre outros.

5.2. Equipamentos

Para os ensaios de eletrorresistividade foi utilizado o equipamento de resistivímetro multieletrodo marca IRIS, modelo Syscal Switch Pro, com 48 canais (Foto 2) e, para o levantamento eletromagnético, foi utilizado o equipamento EM-31, fabricado pela empresa canadense Geonics, em função da pequena profundidade de investigação a ser atingida (Fotos 3 e 4).

Para os ensaios com o GPR, foi utilizado um equipamento modelo RIS fabricado pela IDS (Itália). Este equipamento, acompanhado de antenas de 100, 200 e 400 MHz, que permitem uma vasta gama de aplicações na pesquisa geológica e ambiental, porém para o presente trabalho foi utilizada somente a antena de 100MHz (Figura 6).

5.3. Processamento dos dados

Para o processamento dos dados do caminhamento elétrico foram utilizados os softwares RES2Dinv (RES2DINV, 2004) e SURFER (LANDIN *et al.* 2002). O SURFER também foi utilizado na interpretação dos dados eletromagnéticos.

Os dados obtidos com o GPR foram processados com softwares adquiridos juntamente ao equipamento, denominado K2 utilizado na aquisição dos dados e Greswin2, que permite a análise dos resultados em duas dimensões.

6. Desenvolvimento do Trabalho

Durante todo o projeto foram realizadas três campanhas de levantamento de dados geofísicos na área escolhida, para que houvesse quantidade razoável de dados, uma vez que o intuito principal era o de compará-los posteriormente. Em todas as etapas também foram feitas amostragens de água de todos os dezessete poços de monitoramento instalados no local.

Os dados de campo foram processados e analisados quanto aos três métodos geofísicos pesquisados: resistividade (CE); condutividade elétrica (EM) e permissividade dielétrica (GPR), além da análise da água subterrânea levando em conta a concentração de determinados íons e cátions, escolhidos de acordo com a composição iônica dos corpos enterrados.

O cronograma estipulado no início do projeto e seguido a contento (Tabela 2).

Tabela 2: Cronograma estipulado no início do projeto, com algumas modificações, porém cumprido a contento.

	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Levantamento Bibliográfico	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Ensaio de campo C1	X											
Confecção Relat. Inicial		X	X	X								
Processamento dados C1				X	X	X						
Ensaio de campo C2						X						
Processamento dados C2						X	X	X				
Interpretação dos dados					X	X	X	X				
Confecção Relat. Progresso							X	X	X			
Ensaio de campo C3								X				
Processamento dados C3									X	X	X	
Interpretação dos dados									X	X	X	
Confecção Relat. Final										X	X	X

Etapas a cumprir X Etapas cumpridas

C1: Etapa de campo 1 realizado nos dias 9, 10 e 11 de dezembro de 2009.

C2: Etapa de campo 2 realizado nos dias 10, 11 e 12 de maio de 2010.

C3: Etapa de campo 3 realizado nos dias 11, 12 e 16 de julho de 2010

7. Resultados Obtidos

7.1. Mapa Potenciométrico

Para a definição do fluxo da água subterrânea da área, um mapa potenciométrico foi gerado a partir dos dados de medição do nível d'água dos poços de monitoramento instalados na área de estudo.

Para sua confecção, foi utilizado o programa SURFER, a partir das cotas potenciométricas, as quais são obtidas levando-se em consideração a cota topográfica do terreno e a altura do topo do aquífero no ponto amostrado. Para o cálculo da cota, deve ser desconsiderado a altura sobressalente do PVC do poço de monitoramento até o topo do terreno (Anexo 1). Trata-se de um mapa aproximado, já que só se tem informações sobre o nível freático dos poços de monitoramento e da Lagoa Seca. Não se tem, por exemplo, nenhuma informação sobre locais próximos à estrada.

O fluxo subterrâneo flui da cota mais alta (maior potencial) para a mais baixa (menor potencial), definindo o fluxo geral da área, aproximadamente, de oeste para leste, ou seja, em direção à Lagoa seca (Figura 9). Localmente, na porção sudoeste da área, percebe-se variação da direção do fluxo, onde fica aproximadamente de norte para sul.

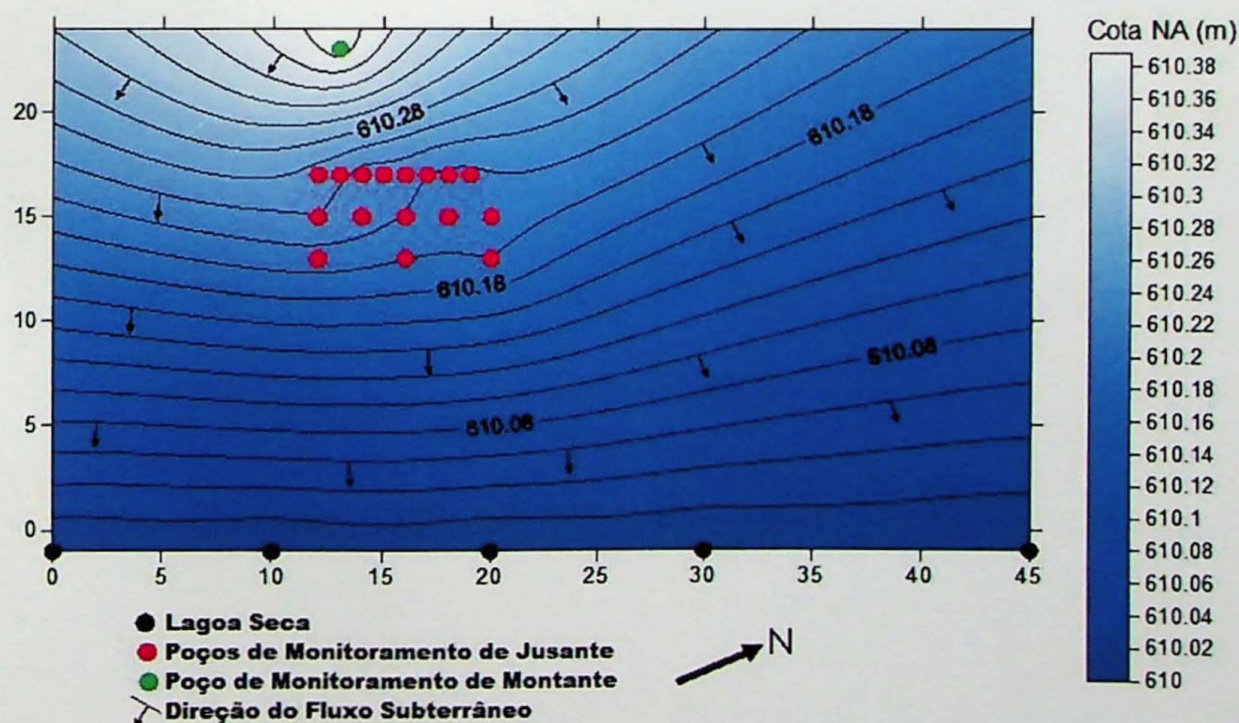


Figura 9: Mapa potenciométrico e direções do fluxo subterrâneo.

7.2. Dados Eletromagnéticos – EM-31

Os dados eletromagnéticos foram processados no programa SURFER, e interpolados utilizando-se a krigagem. A partir de uma tabela, onde constam as coordenadas dos pontos de medida e os valores correspondentes aos campos eletromagnéticos vertical e horizontal

medidos em cada ponto (Anexos 2A , 2B e 2C), foram gerados 6 mapas eletromagnéticos dos campos da área, das três etapas de campo (Figuras 10 e 11). O campo vertical alcança uma profundidade máxima de 6m e o horizontal de 3m.

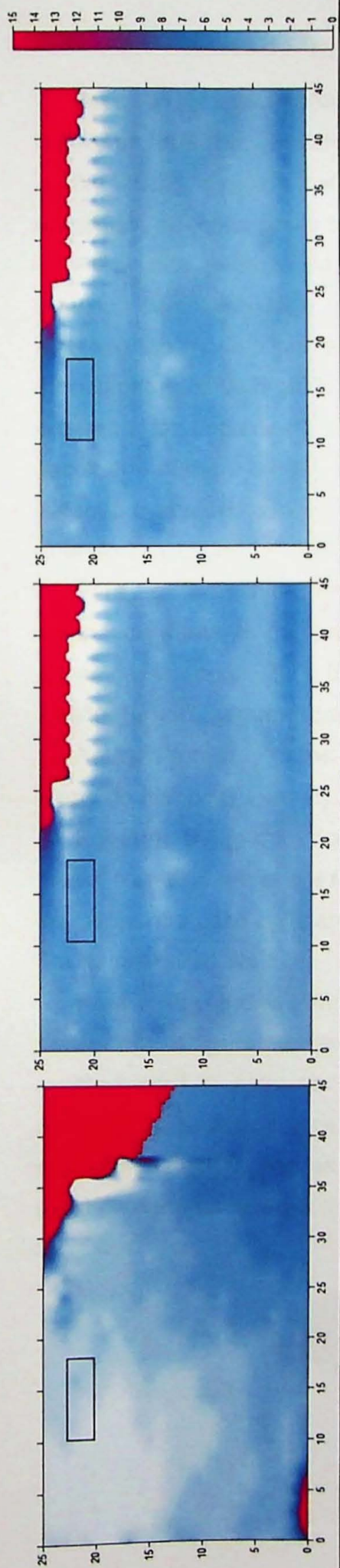


Figura 10: Mostra, respectivamente, os mapas dos campos horizontais gerados nas três campanhas, C1, C2 e C3 (escala em mS/m). Em destaque o local aproximado da cava.

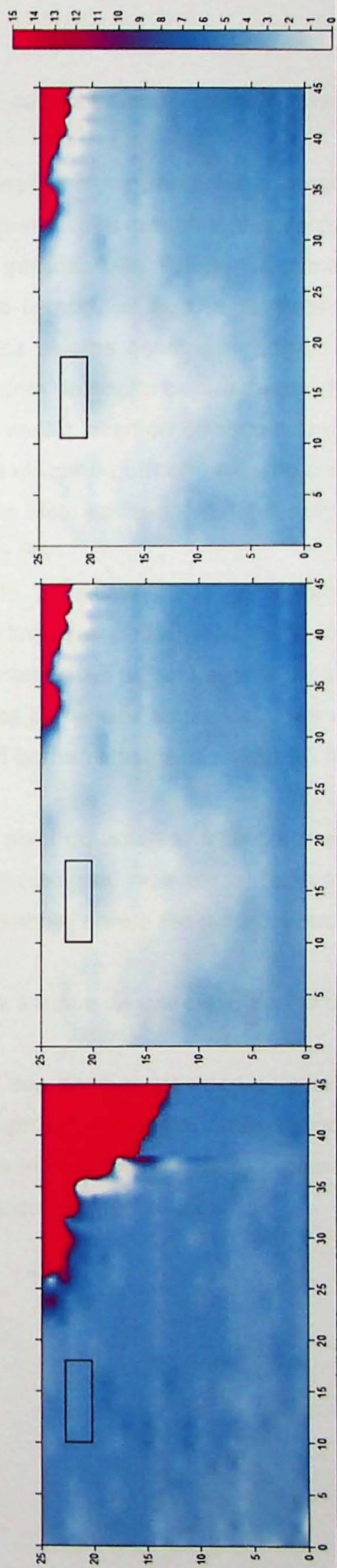


Figura 11: Mostra, respectivamente, os mapas dos campos verticais gerados nas três campanhas, C1, C2 e C3 (escala em mS/m). Em destaque o local aproximado da cava.

7.3. Dados de Resistividade – CE

Para o processamento dos dados do caminhamento elétrico foram utilizados os softwares RES2Dinv e SURFER.

No RES2Dinv, para cada linha de amostragem, o programa faz a integração dos dados adquiridos em cada ponto amostrado da seção vertical e em diferentes profundidades.

Para cada iteração de cada seção são geradas três figuras: a primeira referente às medidas de resistividade aparente obtidas no campo, ou seja, a pseudoseção; a segunda refere-se ao modelo numérico aproximado dos valores obtidos no campo e a terceira é a modelagem dos valores de resistividade aparente da seção calculada (modelo numérico). O programa faz seguidas iterações ajustando a seção invertida ao modelo numérico. Pode-se escolher o número de iterações que se deseja utilizar ou um erro mínimo a se atingir. A cada iteração é apresentado o erro percentual entre elas, podendo limitar o número de iterações quando, por exemplo, o erro for menor do que 5%.

Para o presente trabalho foi adotado o número de 5 iterações por perfil, independentemente da grandeza do erro no final da quinta iteração. O erro do campo de dezembro variou de 2,2 a 5,5%, o de maio variou de 2,6 a 7,3% e o de julho variou de 11,9 a 43,9%. Sendo considerados os dados das duas primeiras campanhas mais confiáveis.

Ao todo foram gerados e processados 75 perfis verticais, ou seja, 25 figuras para cada etapa de campo (Anexo 3).

Segundo as figuras, pode-se identificar o nível do aquífero freático, pois este apresenta menor resistividade que a região não saturada em água, logo acima. Nota-se que o NA varia de campanha para campanha, e de linha para linha, porém varia aproximadamente de 2,5 a 3m de profundidade.

Para ilustrar esses resultados foi escolhida a etapa de campo 2, de maio de 2010, à qual pertencem as figuras de exemplo.

Na linha L21 pode ser vista uma quebra das altas resistividades (que chegam a 3000 ohm.m) nas profundidades de 1,5m a 2,5m aproximadamente, onde se localiza a cava em que foram depositados os restos dos animais mortos, como mostra a figura 12. Além disso pode-se ver uma leve diminuição no nível freático próximo ao local.

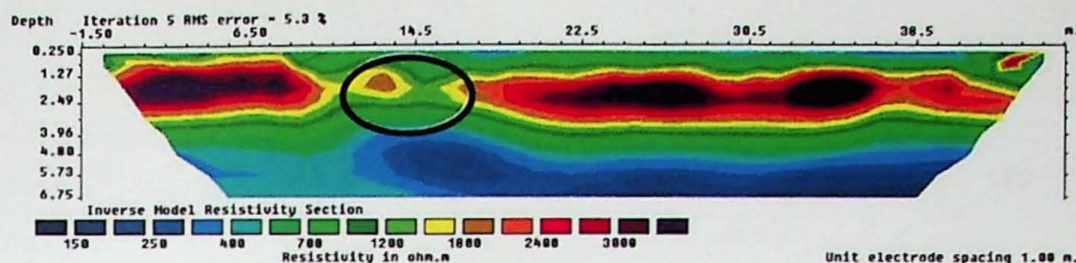


Figura 12: Imagem referente à linha L21, mostrando a quebra estratigráfica das altas resistividades do perfil não saturado e a localização da cava.

A interferência da colocação da cava no terreno também pode ser vista em planta, corte a 2,5m de profundidade (acima do nível d'água), onde todas as porções adjacentes são mais resistivas que o local onde a terra foi remexida (Figura 13)

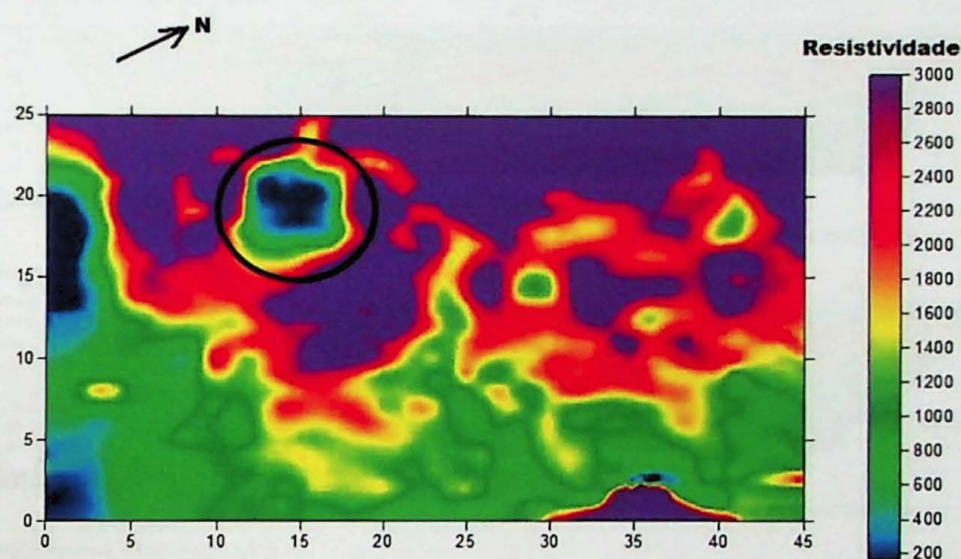


Figura 13: Corte em planta da área de estudo a 2,5m de profundidade e a localização da cava (escala em Ohm.m).

As imagens geradas pelos perfis verticais mostram uma forte anomalia detectada, aproximadamente de forma circular, com baixos valores de resistividade (aproximadamente de 150 a 250 ohm.m). Esta se forma exatamente abaixo de onde a cava se localiza. Esta pode ser vista a partir da linha L20 (Figura 14).

A anomalia parece seguir na direção do fluxo subterrâneo, aparecendo também linhas L19 a L15. Nesta última linha a anomalia tem menor diâmetro e está em maior profundidade e parece se dissipar na água subterrânea. Na linha L14 a anomalia não é mais reconhecida.

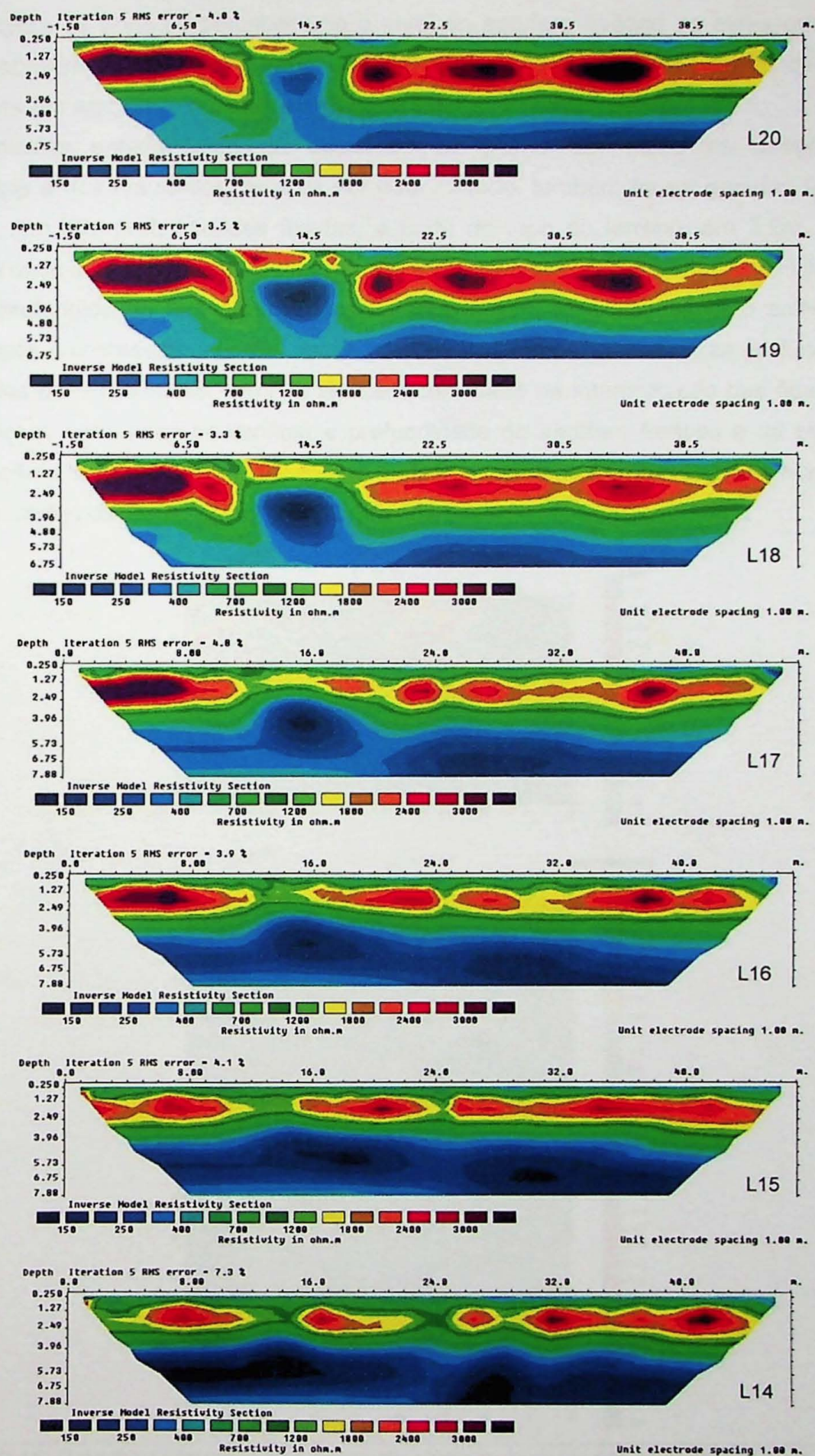


Figura 14: Prancha de imagens dos perfis verticais referentes ao C2. Mostra a evolução da anomalia de baixos valores detectada, das linhas L20 a L14, respectivamente de cima para baixo.

Pela Figura 14 pode-se perceber que o nível do aquífero freático se eleva quando as linhas se aproximam da lagoa, sendo que nesta figura, a linha mais distante dela, L20, possui $NA=4,5m$ aproximadamente, enquanto a linha L14 possui $NA=4m$.

Para melhor entendimento da dispersão da pluma em todas as direções em subsuperfície e dos resultados gerados por este método, também foram geradas 9 figuras em planta, em três profundidades fixadas, a partir do topo do terreno, em 3,2m, 3,9m e 4,9m, para cada etapa de campo (Anexo 4). Estas foram feitas no programa SURFER.

Estas profundidades foram escolhidas de acordo com as utilizadas pelo software de inversão após o processamento dos dados gerados em campo, o qual utiliza profundidades pré-definidas por EDWARDS, 1977; e também com base na interpretação das figuras dos perfis verticais, onde pode-se verificar a profundidade do aquífero freático e da pluma de contaminação e suas variações ao longo do projeto, garantindo que esses perfis horizontais contenham cortes da pluma na vertical (Figura 15).

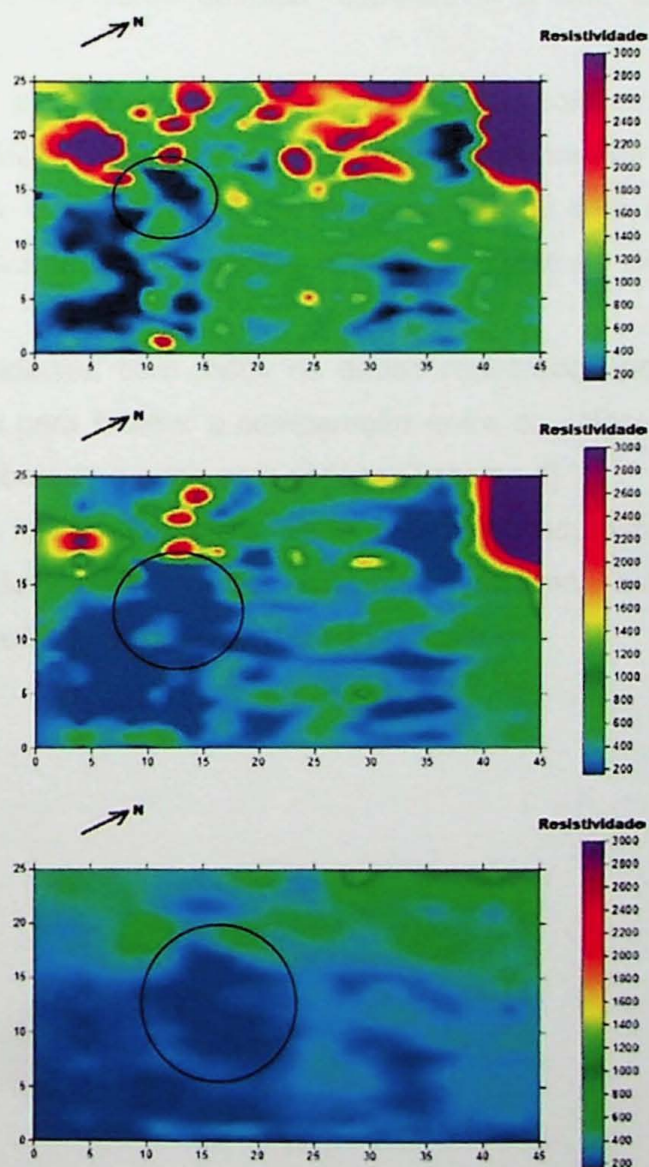


Figura 15: Prancha de imagens dos cortes em planta do terreno, nas profundidades de 3,2m, 3,9m e 4,9m, respectivamente, de cima para baixo. Mostra a localização da anomalia de baixa intensidade detectada, possivelmente relacionada à pluma de contaminação (escala em Ohm.m).

7.4. Dados de Permissividade Dielétrica – GPR

Os dados de adquiridos com o GPR, antena de 100MHz, foram processados com o programa Gres2win, o qual gera um perfil para cada linha de investigação. Portanto, foram gerados 75 perfis, 25 para cada etapa de campo (Anexo 5).

As imagens foram tratadas no programa, passando-se 5 filtros em cada uma, para limpar, melhorar e priorizar as respostas que realmente importam. Os filtros utilizados foram: move start time, background removal, vertical bandpass filter (TD), linear gain e smoothed gain.

Pelas imagens geradas, nota-se que a profundidade máxima investigada foi de 4m.

7.5. Dados de Amostragem de Água

As análises das amostras de água foram executadas pelo Centro de Pesquisas CEPAS/IGc – USP, que tem como química responsável a Sra. Lucia Helena da Silva Yamashita.

Foram gerados, pelo laboratório em questão, seis laudos com os diferentes parâmetros de medidas, ânions e cátions pré-estabelecidos, para cada uma das campanhas C1, C2 e C3 (Anexos 6A, 7A e 8A e 6B, 7B e 8B, respectivamente), ou seja, dois laudos para cada etapa de campo. As concentrações medidas, a partir do limite de detecção de cada íons, foram dadas em mg/L.

Duas tabelas consolidadas, com todos os dados registrados pelas análises da água subterrânea foram feitas para facilitar a comparação entre os valores de cada campanha, umas para os ânions (Tabela 3) e outra para cátions (Tabelas 4).

Os ânions analisados foram: flúor, cloro, nitrito, bromo, nitrato, fosfato e sulfato.

Os cátions analisados foram: cálcio, magnésio, cádmio, cobre, zinco, alumínio, manganês, ferro total, chumbo, nitrogênio, sódio e potássio.

Tabela 3: Tabela consolidada, com concentrações dos ânions analisados em cada poço, nas três campanhas de aquisição de dados.

Ânions (mg/L)	F ⁻			Cl ⁻			NO ₂ ⁻			Br ⁻			NO ₃ ⁻			HPO ₄ ²⁻			SO ₄ ²⁻		
	limite de detecção: 0,01			limite de detecção: 0,01			limite de detecção: 0,001			limite de detecção: 0,001			limite de detecção: 0,011			limite de detecção: 0,01			limite de detecção: 0,02		
Poços	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul
PM.01	0.085	0.016	0.021	1.79	0.38	1.89	0.002	0.003	0.003	0.008	0.009	0.008	1.66	1.72	0.62	0.037	0.063	0.038	0.132	0.055	0.097
PM.02	0.026	0.045	0.026	1.78	2.26	2.71	0.003	0.004	0.005	0.007	0.008	0.013	1.70	0.21	0.09	0.027	0.037	0.028	0.038	0.085	0.094
PM.03	0.024	0.030	0.024	1.80	2.28	2.61	0.003	0.004	0.006	0.004	0.007	0.009	1.81	0.51	0.13	0.016	0.044	0.054	0.034	0.045	0.055
PM.04	0.027	0.027	0.026	1.81	2.18	2.48	0.004	0.006	0.007	0.005	0.006	0.008	1.81	0.48	0.21	0.016	0.046	0.051	0.026	0.027	0.030
PM.05	0.025	0.028	0.034	1.84	2.22	2.28	0.005	0.007	0.006	0.004	0.007	0.007	1.81	0.50	0.42	0.024	0.042	0.042	0.018	0.084	0.067
PM.06	0.024	0.029	0.032	1.84	2.17	2.25	0.005	0.003	0.005	0.004	0.006	0.006	1.87	0.60	0.30	0.018	0.032	0.029	0.021	0.045	0.027
PM.07	0.035	0.028	0.026	1.86	2.09	2.14	0.003	0.006	0.006	0.003	0.006	0.007	2.13	0.84	0.40	0.046	0.049	0.039	0.024	0.029	0.089
PM.08	0.064	0.034	0.027	1.90	2.02	2.07	0.004	0.006	0.005	0.003	0.007	0.006	1.86	1.15	0.72	0.028	0.047	0.037	0.024	0.024	0.055
PM.09	0.035	0.037	0.023	1.75	1.56	1.50	0.004	0.004	0.005	0.004	0.006	0.005	1.84	1.41	0.93	0.026	0.046	0.036	0.017	0.046	0.037
PM.10	0.025	0.027	0.022	1.87	1.52	1.40	0.005	0.003	0.006	0.004	0.006	0.005	1.95	1.33	1.11	0.025	0.046	0.034	0.023	0.048	0.018
PM.11	0.026	0.046	0.024	1.86	2.08	1.75	0.004	0.004	0.006	0.003	0.006	0.008	1.91	0.88	0.75	0.037	0.047	0.035	0.027	0.058	0.039
PM.12	0.027	0.038	0.027	1.84	1.77	2.00	0.006	0.004	0.005	0.003	0.006	0.008	1.91	0.91	0.45	0.036	0.051	0.034	0.045	0.056	0.047
PM.13	0.026	0.032	0.023	1.87	2.27	2.40	0.003	0.004	0.006	0.002	0.006	0.007	1.86	0.58	0.05	0.036	0.054	0.027	0.028	0.053	0.038
PM.14	0.025	0.035	0.026	1.79	2.47	2.69	0.005	0.006	0.006	0.003	0.006	0.008	1.82	0.15	0.05	0.023	0.036	0.036	0.024	0.030	0.047
PM.15	0.025	0.039	0.023	1.85	2.24	2.40	0.005	0.005	0.006	0.003	0.006	0.006	1.87	0.31	0.02	0.037	0.045	0.024	0.034	0.038	0.031
PM.16	0.025	0.046	0.025	1.92	2.11	1.98	0.005	0.005	0.005	0.003	0.005	0.004	1.95	0.70	0.16	0.057	0.038	0.024	0.026	0.040	0.023
PM.17	0.027	0.043	0.022	1.89	1.88	2.33	0.005	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006	1.97	0.85	0.26	0.048	0.047	0.035	0.044	0.045	0.023

Tabela 4: Tabela consolidada, com concentrações dos cátions analisados em cada poço, nas três campanhas de aquisição de dados.

Cátions (mg/L)	Ca ²⁺			Mg ²⁺			Cd ²⁺			Cu ²⁺			Zn ²⁺			Al ³⁺		
	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul
Poços	limite de detecção: 0,02			limite de detecção: 0,003			limite de detecção: 0,009			limite de detecção: 0,02			limite de detecção: 0,002			limite de detecção: 0,03		
PM.01	0.71	0.35	0.66	0.42	0.18	0.34	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PM.02	0.64	2.28	1.08	0.40	0.81	0.50	n.d.	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.024	n.d.	n.d.	n.d.
PM.03	0.67	0.86	0.92	0.42	0.53	0.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0,002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PM.04	0.62	0.80	0.94	0.41	0.52	0.50	n.d.	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	0.003	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PM.05	0.64	1.03	0.81	0.42	0.55	0.41	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.006	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PM.06	0.61	0.81	0.78	0.41	0.48	0.43	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.003	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<0,002
PM.07	0.64	0.83	0.79	0.42	0.49	0.46	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.012	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,02
PM.08	0.67	0.70	0.75	0.42	0.44	0.42	n.d.	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	0.015	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,01
PM.09	0.69	0.56	0.63	0.39	0.37	0.35	n.d.	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.017	n.d.	n.d.	n.d.
PM.10	0.63	0.64	0.51	0.37	0.37	0.24	n.d.	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	0.006	n.d.	0.032	n.d.	n.d.	n.d.
PM.11	0.60	0.56	0.59	0.39	0.47	0.35	n.d.	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	0.006	n.d.	0.014	n.d.	n.d.	n.d.
PM.12	0.66	0.59	0.50	0.40	0.37	0.31	n.d.	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	0.010	n.d.	0.015	n.d.	n.d.	n.d.
PM.13	0.66	0.51	0.50	0.39	0.35	0.33	n.d.	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	0.012	n.d.	0.013	n.d.	n.d.	n.d.
PM.14	0.70	0.70	0.80	0.41	0.50	0.52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.006	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PM.15	0.65	0.47	0.53	0.39	0.27	0.31	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.006	n.d.	0.012	n.d.	n.d.	n.d.
PM.16	0.70	0.69	0.66	0.38	0.39	0.42	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.008	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PM.17	0.72	0.36	0.75	0.37	0.43	0.47	n.d.	n.d.	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	0.005	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Obs: n.d. – não detectado

Tabela 4 (continuação): Concentrações dos cátions analisados em cada poço, nas três campanhas de aquisição de dados.

Cátions (mg/L)	Mn ²⁺			Fe ^{total}			Pb ²⁺			Cr ^{total}			Ni ²⁺			Na ⁺			K ⁺		
	limite de detecção: 0,002			limite de detecção: 0,05			limite de detecção: 0,05			limite de detecção: 0,02			limite de detecção: 0,01			limite de detecção: 0,02			limite de detecção: 0,02		
Poços	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul	dez	mai	jul
PM.01	n.d.	0.022	n.d.	n.d.	n.d.	0.06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.10	1.60	2.90	0.10	0.10	n.d.
PM.02	n.d.	0.023	<0,002	n.d.	0.16	0.28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.20	4.90	3.70	n.d.	0.10	n.d.
PM.03	n.d.	0.010	0.004	n.d.	0.21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.30	3.40	3.70	n.d.	0.10	n.d.
PM.04	n.d.	0.034	0.010	n.d.	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.40	3.30	3.70	n.d.	0.10	<0,10
PM.05	n.d.	0.021	0.006	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.40	4.00	3.70	n.d.	n.d.	<0,10
PM.06	n.d.	0.028	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.40	3.40	3.40	n.d.	0.10	<0,10
PM.07	n.d.	0.025	n.d.	n.d.	0.43	0.04	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.60	3.40	3.30	n.d.	0.10	n.d.
PM.08	n.d.	0.017	n.d.	n.d.	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.50	3.30	3.20	0.10	n.d.	n.d.
PM.09	n.d.	0.022	0.008	n.d.	n.d.	0.06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.20	2.50	2.40	n.d.	0.10	n.d.
PM.10	n.d.	0.035	0.017	n.d.	0.09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.50	2.90	2.50	n.d.	n.d.	n.d.
PM.11	n.d.	0.036	0.022	n.d.	0.03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.30	3.30	2.90	0.10	n.d.	n.d.
PM.12	n.d.	0.024	0.009	n.d.	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.30	3.00	3.20	n.d.	n.d.	<0,10
PM.13	n.d.	0.042	0.019	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.40	3.40	3.70	n.d.	n.d.	n.d.
PM.14	n.d.	0.022	0.018	n.d.	0.09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.20	3.50	3.70	n.d.	n.d.	n.d.
PM.15	n.d.	0.015	0.023	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.30	3.50	3.60	n.d.	n.d.	<0,10
PM.16	n.d.	0.019	0.002	n.d.	0.12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.30	3.50	3.30	n.d.	n.d.	n.d.
PM.17	n.d.	0.018	0.010	n.d.	0.07	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.30	3.20	3.40	n.d.	n.d.	n.d.

Obs: n.d. – não detectado

Os elementos e compostos químicos foram escolhidos com base na composição do necrochorume e de acordo com os parâmetros de interferência da pluma de contaminação na água subterrânea propostos por MATOS, 2001.

Foram comparadas as concentrações encontradas nos poços de jusante da cava (PM-2 ao PM-17) com o poço de montante à cava, livre de contaminação (PM-1).

7.5.1. Campo C1 – dezembro 2009

Os ânions predominantes nas análises são Cl^- e NO_3^- , sendo as maiores concentrações de Cl^- detectadas nos poços PM-16 e PM-07 (1,92 e 1,90 mg/L respectivamente) e de NO_3^- também no poço PM-07 (2,13 mg/L) (Tabela 3).

O sódio é o cátion predominante nas análises, tendo o pico de concentração no poço PM-07, chegando a 3,60mg/L (Tabela 4).

Os outros parâmetros analisados sofreram pouca variação ou não variaram quando da comparação das amostras de montante e jusante, como HPO_4^{2-} e Mg^{2+} .

7.5.2. Campo C2 – maio 2010

Os ânions mais abundantes são Cl^- , atingindo o valor de 2,47mg/L no PM-14 e o NO_3^- , chegando a 1,41mg/L no PM-09 (Tabela 3).

Os cátions predominantes são cálcio e sódio, com picos de 2,28mg/L e 4,9mg/L respectivamente, ambos no poço PM-02 (Tabela 4).

Muitos dos parâmetros analisados não foram detectados nas análises, como os cátions cádmio, alumínio, zinco, entre outros.

7.5.3. Campo C3 – julho 2010

Assim como nas duas outras campanhas, os ânions predominantes nas análises são Cl^- , com concentrações de 2,48 e 2,69mg/L nos poços PM-04 e PM-14, respectivamente, e NO_3^- , com concentração de 1,11mg/L no poço PM-10 (Tabela 3).

Também, os cátions predominantes são Ca^{+} , com 1,08mg/L de concentração máxima medida no poço PM-02, e Na^{+} , que chegou à concentração de 3,70mg/L em seis poços diferentes, sendo eles PM-02 ao PM-05 e PM-13 e 14 (Tabela 4). Cobre, chumbo e níquel foram os cátions não detectados nesta campanha.

8. Interpretação e Discussão

8.1. Dados Eletromagnéticos – EM-31

Em todas as imagens (Figuras 10 e 11) pode-se perceber uma forte anomalia a norte da área de estudo, destacada em vermelho. Contudo essa anomalia não tem relação com a pluma de contaminação gerada, uma vez que já havia sido detectada na fase preliminar de

pesquisa, quando da escolha do local de estudo, sendo compatível com o background localizado medido anteriormente.

Posteriormente, depois de discussões com alguns professores do Instituto de Geociências – USP, foi dada a possibilidade desta anomalia ter sido gerada por um impactito (depois de analisadas fotomicrografias de lâminas delgadas da rocha retirada exatamente do local, baseado principalmente nas texturas dos grãos de quartzo e na matriz ferruginosa da rocha).

Nas proximidades da cava, origem da pluma de contaminação pelo necrochorume dos corpos em decomposição (das linhas 18 a 21, dos pontos 15 ao 20m, aproximadamente), não foi detectada anomalia em nenhuma das imagens geradas, tanto no campo horizontal quanto no vertical. Esta anomalia relacionada à pluma deveria aparecer com maior intensidade (azul escuro ou vermelho) quando comparado às porções adjacentes, devido ao seu comportamento mais condutivo, por conter maior quantidade de íons dissolvidos. Além disso, os valores variavam muito pouco, como pode ser visto no anexo em forma de tabela referente aos dados colhidos em campo, salvo as medidas a norte da área (Anexos 2A, 2B e 2C).

Apesar das medidas apontarem alguns valores da ordem de centenas e até milhares de mS/m, a escala de 0 a 15 mS/m foi adotada e padronizada, levando-se em consideração as medidas do *background*, por serem extremamente baixas (da ordem de 1 a 4 mS/m). Assim qualquer alteração nesses valores, principalmente próximo à vala, seria captado e se tornaria visível nas imagens geradas. Porém mesmo com esta escala, nada foi detectado pelo método.

8.2. Dados de Resistividade – CE

Pelos resultados do CE pode-se ver uma interferência já na linha 21. Esta foi interpretada como a interferência da cava nas medidas de resistividade do subsolo, uma vez que a terra remexida diminui a resistividade do ponto amostrado, pois se torna um caminho preferencial para a percolação da água da chuva, por exemplo.

A anomalia que se forma a partir da linha L20, com baixos valores de resistividade (150 a 250 ohm.m), em cor azul marinho, foi interpretada como sendo a resposta da pluma de contaminação quanto à resistividade. A pluma, por conter sais minerais dissolvidos, fica menos resistiva que o solo e a água do aquífero, dando valores de resistividade menores e muito menor que a zona não saturada do solo. MIGLIORINI, 1994 no cemitério Vila Formosa em São Paulo também constatou aumento da condutividade elétrica no lençol freático devido às altas concentrações de íons na pluma, principalmente o cloreto e compostos nitrogenados. O local de posicionamento da cava, origem do necrochorume, coincide com o ponto de origem dessa anomalia.

Esta anomalia segue na direção do fluxo da água subterrânea e pode ser vista também nas linhas L19, 18, 17, 16 e 15. Nesta última aparece com menor intensidade e com menor tamanho e em maior profundidade.

O necrochorume tem densidade de $1,23 \text{ g/cm}^3$, portanto mais denso que a água. Pode ser visto que a pluma começa em menor profundidade e vai se tornando mais profunda conforme se desloca com o fluxo subterrâneo. Na linha L20, a pluma atinge as profundidades de 2m a 3m, vai aumentando de tamanho e se aprofundando. Na linha L18 já atinge profundidades de 2 a 5m e na linha L15, a pluma começa em uma profundidade de 2,5m e termina em 6m.

Na linha 14 a anomalia já não pode ser reconhecida, sendo que a pluma pode ter sido dissolvida na água subterrânea e/ou consumida pelas bactérias degradantes do necrochorume.

Quanto ao nível d'água, percebe-se que comparando o campo de maio com as outras duas etapas de campo, esta apresentou o menor nível do aquífero freático, provavelmente influenciado pela baixa taxa de precipitação que ocorre na região da área de estudos na época do ano em que foi realizada a coleta de dados. A parte não saturada do solo também aparece mais resistiva em maio, evidenciando que o solo estava seco, e portanto, menos condutivo, provavelmente pelo mesmo motivo citado acima.

Apesar dos meses de julho e agosto aparecerem como os meses que apresentam, em média, menor taxa de precipitação no ano (Figura 3) talvez tenham ocorridos eventos episódicos próximos à data do campo C3, deixando o solo mais saturado comparativamente a maio.

8.3. Dados de Permissividade Dielétrica – GPR

Como pode ser visto pelos perfis gerados no processamento dos dados do GPR, a profundidade máxima alcançada pela investigação foi de 4m. Porém, como foi visto nos perfis gerados pela resistividade, a pluma de contaminação varia de profundidade, chegando a 5 ou 6m. Portanto, nesse aspecto, a investigação do comportamento da pluma de contaminação gerada por esse método geofísico ficou limitada quanto à profundidade de alcance da antena utilizada, de 100MHz.

Em alguns perfis pode-se reconhecer o topo do aquífero, pela diferença da resposta do meio saturado para o não saturado.

Quanto à identificação da pluma de contaminação, este método não se mostrou eficiente, já que nenhuma resposta indicativa da presença da pluma foi captada pelo método. A interferência da pluma com o meio deveria aparecer através de uma atenuação do sinal refletido, e nas proximidades da cava, nada foi encontrado.

São comuns nas imagens o aparecimento de hipérboles, sendo estas resultado de vazios ou quebra da continuidade de camadas. Foram interpretadas como possíveis

buracos de tatu, comuns na área de estudo, ou mesmo raízes das árvores presentes no local.

Era previsto encontrar a localização da cava, devido à quebra da continuidade dos estratos, ou a interferência dos corpos enterrados, como relatado por SCHULTZ *et al.* 2006 e POWELLI, 2004, porém nada foi detectado. Vale ressaltar que nos dois trabalhos citados os corpos estavam enterrados na profundidade máxima de 1m e neste trabalho, foram enterrados a profundidade de 2,5m.

8.4. Amostragem de Água

A comparação entre as análises das amostras dos poços de monitoramento de montante e jusante e das diferentes etapas de campo, suas diferenças e semelhanças, é que permitem, possivelmente, definir padrões de alteração gerados pela pluma de contaminação na água do aquífero freático.

Segundo PACHECO, 2000, a qualidade da água subterrânea depende da litologia do aquífero, da velocidade de circulação, da qualidade da água de infiltração e da relação com outras águas ou aquíferos.

É importante considerar a composição do necrochorume (carbono, nitrogênio, cálcio, fósforo, enxofre, potássio, sódio, cloreto, magnésio, ferro e água), e os efeitos que este fluido causaria no aquífero freático quando em contato com o mesmo. Destes compostos foram analisados todos eles, exceto carbono e água.

Comparando-se os poços de jusante e montante da cava quanto ao composto nitrito, os de jusante tiveram aumento pouco significativo, em torno de 0,004mg/L, em todas as campanhas, sendo que de uma para outra pouco variou. Já o nitrato teve aumento somente na primeira campanha, tendo o seu pico no PM-07, em 2,13mg/L. Em todos ou outros campos os poços de jusante tiveram queda na concentração do nitrato quando comparados ao poço de montante. Diferente do que se imaginava, os níveis de nitrato e nitrito analisados se mantiveram estáveis ou caíram em relação ao primeiro campo para o último.

Assim como os compostos de nitrogênio, o potássio e o ferro foram poucos significativos nas análises ou não foram detectados, ao contrário do que se esperava, já que esses elementos fazem parte da composição do necrochorume.

Outros compostos, como fosfato e sulfato, também tiveram comportamentos inesperados. O fosfato teve ligeiro aumento comparando-se do primeiro campo ao último. Porém nas duas primeiras campanhas a maioria dos compostos nos poços de jusante ficou abaixo da concentração do poço de montante. Quanto ao sulfato, na primeira e última campanhas, as concentrações dos poços PM-02 ao 17 foram menores que a do PM-01, porém, com ligeiro aumento do primeiro campo para o último nos poços PM-02 ao PM-14.

Os elementos que tiveram aumento mais significativo, foram sódio e cloro. O primeiro, comparativamente às campanhas C1 e C3, subiu a concentração nos poços PM-02 ao PM-

05 e do PM-13 ao PM-15, além do PM-17 e o outro nos poços dos poços PM-01 ao PM-08 e do PM-12 ao PM-17.

Os outros dois elementos correlacionáveis à pluma, cálcio e magnésio, também tiveram ligeiro aumento quando comparados os valores do C1 com o C3. O magnésio aumentou sua concentração nos poços PM-02 a PM04, PM-14, 16 e 17. O cálcio teve suas concentrações alteradas positivamente dos poços PM-02 ao PM-08, PM-14 e PM- 17, podendo indicar a decomposição dos ossos das carcaças.

Pode-se perceber um padrão no aumento de vários compostos nos poços PM-02, PM-03, PM-04, PM-05, PM-14. Estes localizam-se na frente da cava, do lado esquerdo da mesma. Porém pelas linhas de fluxo, esperava-se que os íons migrassem com direção aproximada de leste para oeste. Olhando a localização dos poços parece ter havido carreamento dos íons de aproximadamente de norte para sul.

De qualquer forma, como pode ser visto pelo resultado das análises, as variações das concentrações dos íons nas amostras de água subterrânea não foram tão significativas. Esperava-se maiores concentrações do íons que foram analisados devido à composição do líquido advindo dos corpos em decomposição assim como MIGLIORINI, 1994 registrou concentrações de 500mg/L de cloretos e 300mg/L de sulfato nas análises de água do cemitério de Vila Formosa.

9. Conclusões

A variação das concentrações dos íons nas amostras de água subterrânea não foi tão significativa quanto se esperava. Uma possibilidade para explicar esse resultado seria o fato do necrochorume, por ter densidade maior que a da água, migrasse para a parte baixa do aquífero, abaixo dos filtros dos poços de monitoramento. Este fato afetaria diretamente nos resultados dos métodos menos penetrativos, como o eletromagnético

O método eletromagnético e o GPR não forneceram nenhum tipo de resposta com relação à possível presença da pluma de contaminação de necrochorume no local. Possivelmente a baixa concentração de íons gerados pela decomposição dos corpos não foi suficiente para alterar consideravelmente os valores dos campos eletromagnéticos na área, uma vez que deveria ter ficado mais condutiva a região a jusante da cava à medida que os íons fossem incorporados à água subterrânea. A interação da pluma com a água e o solo da área também não foi suficiente para alterar a permissividade dielétrica da região contaminada.

Em contrapartida, o método da resistividade mostrou-se eficiente na detecção da anomalia gerada pela pluma, mesmo em baixas concentrações. Por meio deste foram gerados perfis verticais e mapas horizontais, os quais mostraram com clareza a posição da pluma de contaminação e sua delimitação em três dimensões.

Depois de processados e analisados cada método em particular, comparar os resultados entre si nas diversas campanhas e posteriormente entre um e outro, pode-se concluir que o método mais eficiente e confiável para o mapeamento de plumas de contaminação por nicrochorume é o da resistividade, através da técnica de caminhamento elétrico (CE).

10. Referências Bibliográficas

- BLUM, P.; HUNKELER, D.; WEEDE, M.; BEYER, C.; GRATHWOHL, P.; MORACH, B. Qualification of Biodegradation for o-xilene and Naphtalene Using First Order Decay Models, Michaelis-Menten Kinetics and Stable Carbon Isotopes. *Journal of Contaminat Hydrology*, Alemanha, 13p, 2009.
- BRASIL. O. 2009. GPR (Ground Penetrating Radar). Aula em Power Point disponibilizada pelo autor.
- EDWARDS, L.S. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, 42(5): p.1020-1036, 1977.
- FERREIRA, S.R. *Análise Pedoestratigráfica das Formações Rio Claro e Piraçununga, no Centro-leste do Estado de São Paulo*. 2005. 157p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.
- GALLAS, J.D.F. *Principais Métodos Geoelétricos e suas Aplicações em Prospeção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental*. 2000. 174p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- GALLAS, J.D.F. Método Eletromagnético. Apostila da Disciplina Geofísica Aplicada. 2007 - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LANDIN, P.M.B.; MONTEIRO, R.C.; CORSI, A.C. Introdução à Confecção de Mapas pelo Software SURFER. 2002. Texto Didático 08, Laboratório de Geomatemática – Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Paulista.
- MATOS, B.A. *Avaliação da Ocorrência e do Transporte de Microorganismos no Aquífero Freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo*. 2001. 172p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- MENDES, J.M.B. *Técnicas Geofísicas Aplicadas no Mapeamento e Monitoramento da Poluição e Contaminação de Água Subterrâneas*. 1987, 196p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- MIGLIORINI, R.B. *Cemitérios como Fonte de Poluição em Aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na Bacia Sedimentar de São Paulo*. 1994. 74p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Norma CETESB 6410, 1988. Amostragem e Monitoramento das Águas Subterrâneas. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas_contaminadas/anexos/download/6410.pdf. Acesso em : 05 mai. 2010.
- PACHECO, A. *Cemitério e Meio Ambiente*. 2000. p. 174. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- POWELL.K. 2004. Detecting buried Human Remains Using Near-Surface Geophysical Instruments. *Exploration Geophysics*. v. 35, p. 88–92.
- PROAMB. 2008. EIA/RIMA - Ampliação da Baldin Bioenergia AS. PROAMB, Engenharia Química S/C. Ltda - Projetos Ambientais, Tratamento de Águas Industriais e de Abastecimento. Pirassununga, SP.ENGELBRECHT, J.F.P. *Ground Pollution From Cemeteries*. Groundwater Group, Cape Water Programme. CSIR, P O Box 320, Stellenbosch, 8p, 1998.
- RES2DINV ver. 3.54 (2004). Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-Squares method, Geoelectric Imaging 2-D & 3D, Geotomo software, Malaysia.
- SARAIVA, F.A. *Estudo Comparativo de Métodos e Técnicas Geofísicas na Delimitação de Plumas e Migração de Necrochorume*. 2008. 68p. Exame de Qualificação Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- SILVA, R.W.C. *Aplicação do Método da Eletorresistividade na Investigação e Mapeamento da Contaminação por Cemitérios - o Exemplo do Cemitério de Vila Rezende, Piracicaba/SP*. 2008. 156p. Tese (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.

SILVA, R.W.C.; MALAGUTTI FILHO. W. *Emprego do Imageamento Elétrico no Estudo da Contaminação por Cemitérios*. *Revista Geociências*, Rio Claro, v 29, n. 3, p. 343-354, 2010.

SCHULTZ.J.J; COLLINS.M.E; FALSETTI.A.B. Sequential Monitoring of Burial Containing Large Pig Cadavers Using Ground-Penetrating Radar. *J Forensic Sci*, 2006, v.51, n.3.

Anexos

Anexo 1

Tabela com localização em UTM dos poços de monitoramento, cotas topográficas e cotas do NA de todas as etapas de campo.

Tabela com localização em UTM dos poços de monitoramento, cotas topográficas e cotas do NA de todas as etapas de campo.

POÇOS	X	Y	Cota Topográfica	Cota NA DEZ 09	Cota NA ABR 10	Cota NA JUL 10
PM 1	246124.706	7570455.462	614.616	610.73	610.81	610.39
PM 2	246128.775	7570449.762	614.149	610.60	610.67	610.25
PM 3	246129.489	7570450.351	614.131	610.60	610.66	610.25
PM 4	246130.273	7570451.081	614.078	610.59	610.65	610.23
PM 5	246131.017	7570451.679	614.042	610.58	610.65	610.23
PM 6	246131.737	7570452.378	614.037	610.60	610.65	610.23
PM 7	246132.565	7570453.099	614.003	610.60	610.65	610.22
PM 8	246133.332	7570453.737	613.952	610.57	610.64	610.22
PM 9	246134.091	7570454.416	613.914	610.60	610.63	610.22
PM 10	246135.839	7570453.141	613.728	610.62	610.63	610.21
PM 11	246134.322	7570451.852	613.848	610.63	610.63	610.21
PM 12	246132.86	7570450.539	613.892	610.66	610.64	610.22
PM 13	246131.267	7570449.199	613.92	610.65	610.65	610.23
PM 14	246129.744	7570447.902	613.996	610.62	610.65	610.24
PM 15	246130.996	7570446.381	613.75	610.67	610.63	610.21
PM 16	246134.265	7570448.953	613.705	610.65	610.63	610.20
PM 17	246137.228	7570451.719	613.553	610.62	610.62	610.20

Anexo 2

Dados eletromagnéticos (escala em mS/m).

2A) Etapa de campo C1 – dezembro 2009.

2B) Etapa de campo C2 – maio 2010.

2C) Etapa de campo C3 – julho 2010.

2B) Tabela com as medidas dos campos eletromagnéticos horizontal e vertical de cada ponto, na etapa de campo C2.

[mS/m] #m	linha 0		linha 1		linha 2		linha 3		linha 4		linha 5		linha 6		linha 7		linha 8		linha 9		linha 10		linha 11	
	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH
0	4,4	4,2	4,2	4	4	4,2	3,6	4	2,8	3	3,2	4	2,8	4	3	3,4	3	3,6	2,8	4	2,4	4	3	4,2
2	4,4	4,2	4,2	4	4	4	3,6	3	3	3	3,4	3,6	3	4	3	3,4	3,2	4	3	4	3	4,6	3	4
4	4,2	4,2	4	4,2	4	4	4	4	3	3,2	3,4	3,4	3,2	4	3,2	3,8	3,4	4,4	3,6	4,4	3	4,6	3	4,2
6	4,2	4,2	4,2	4,4	4	4	4	4	2,8	3,4	3	3,8	3	4	3	3,6	3	4,2	3	4,8	3	4,4	2,6	4,4
8	4,2	4,4	4,2	4,4	4	4,4	4	4	2,6	3,2	2,8	4	3	4	2,8	4	2,8	4,2	2,2	4,6	2,4	4,8	2	4,8
10	3,8	4,6	4	4,4	3,6	4,4	3,6	4,2	2,8	3	3	4	3	4	2,8	4	2,2	4,6	2	4,6	1,8	4,8	1,6	5
12	3,8	4,8	3,8	4,8	3,6	4,4	3,6	4,2	2,8	3	3,2	4	3	4	2,4	4	2,2	4,8	2	5	1,4	5	1,4	5
14	4	4,8	4	4,6	3,8	4,4	3,8	4,4	2,8	3,4	3,2	4	3	4,2	2	4	1,8	4,6	1,4	5	1	5	1	5
16	4,4	4,6	4,2	4,6	3,8	4,4	4	4	2,4	4	3	4	2	4	1,8	4,2	1,4	4,6	1,4	4,4	1,4	5	1,2	5
18	4,4	4,4	4,2	4,4	4	4,2	4	4,4	2,4	3,6	3	4	2,8	4	2	4	2	4,6	2	5	1,8	5	1,6	4,8
20	4,4	4,2	4,4	4,4	4	4,6	4	4,4	2,8	4	3	4	3	3,8	2,8	4	2	4,6	2	5	1,8	5	1,8	5,2
22	4,8	4,6	4,6	4,6	4,4	4,6	4,2	4,6	3	4	3	4	3	4	3	3,8	2	4,6	2,2	5	2,4	5	2,2	5
24	4,8	5	5	4,8	4,8	5	4,2	4,4	3	4	3,2	3,8	3,2	4	3	4	3	4,6	3	4	3	4,8	3	4,8
26	5	4,6	5	4,6	5	5	4,6	4,2	3,6	3,8	4	4	4	4	3,8	3,8	3,2	4	3	4,6	3	4,6	3,4	4,4
28	5,2	4,6	5,4	4,8	5,4	5	5	4,4	4	3,8	4,2	3,8	4	3,8	4	4	3,8	4,4	3,8	4,4	3,8	4	3,8	4,2
30	5,6	4,4	5,6	4,6	5,4	4,8	5	4,8	4	4,6	4	3,8	4	4	4	4	4	4,4	4	4,4	4	4,2	3,8	4,2
32	6	4,6	6	4,6	5,4	4,4	5	4,2	4	4,2	4,2	4	4,4	4	4	4	4,2	4,6	4	4,4	4	4,8	3,8	4,4
34	6	5	6	4,6	6	4,8	5,6	4,4	4,4	3,8	4,6	3,8	4,4	4	4,4	3,8	4,4	4,4	4	4,4	4,2	4,4	4	4,6
36	6	5	6,2	4,6	6,2	4,6	5,4	4,4	4,8	4	4,8	3,6	5	4	4,4	4	4,6	4,4	4,2	4,4	4,2	4,4	4	4,6
38	6,8	5	6,8	4,8	6,8	5,4	6	4,4	5	4	4,8	4	5	4	4,4	4	4,6	4,6	4,6	4,4	4,4	5	4,2	5
40	7	5	7	5	6,8	5	6,4	4,8	5,2	4	5,2	3,8	5	4,2	5	4,6	5	5	5	4,4	5	4,4	4,6	4,6
42	7	5	7	5,4	6,8	5	6,6	5	5,6	4	5,2	4	5,8	4,2	5	5	5,2	5	5,2	4,4	5,2	4,2	4,8	4,8
44	7,2	5	7,2	5	7	5	6,8	4,8	5,6	3,8	5,8	4	6	4,4	5,8	5	5,4	5	5,4	4,8	5,2	5	5	5
46	7,6	4,8	7,4	5	7,2	5	7	4,8	6	4	6	4	6	4,4	5,4	4,4	5,8	4,8	5,4	4,8	5,4	5	5	5,2

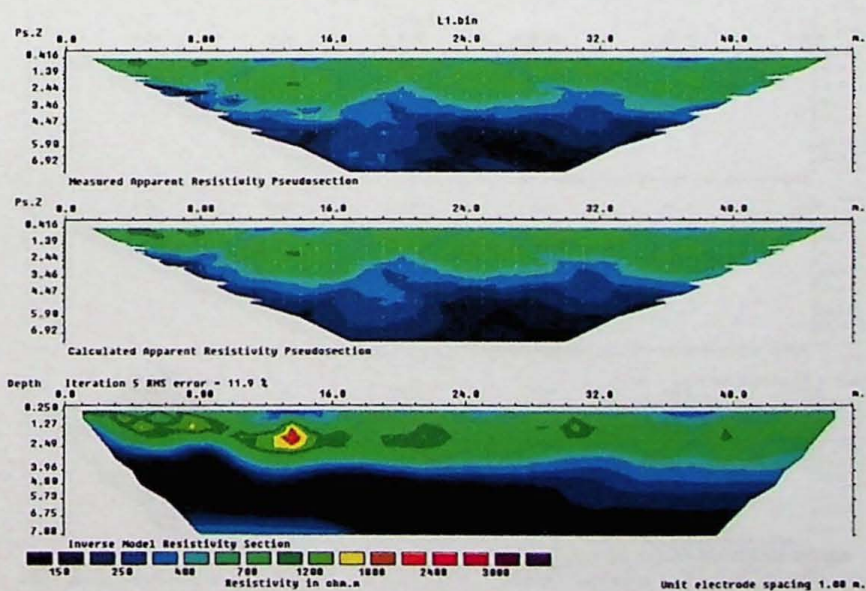
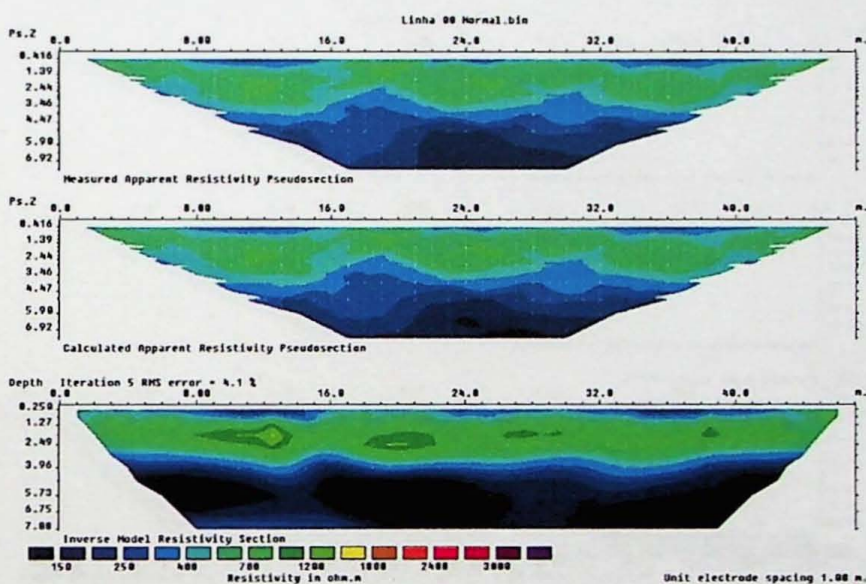
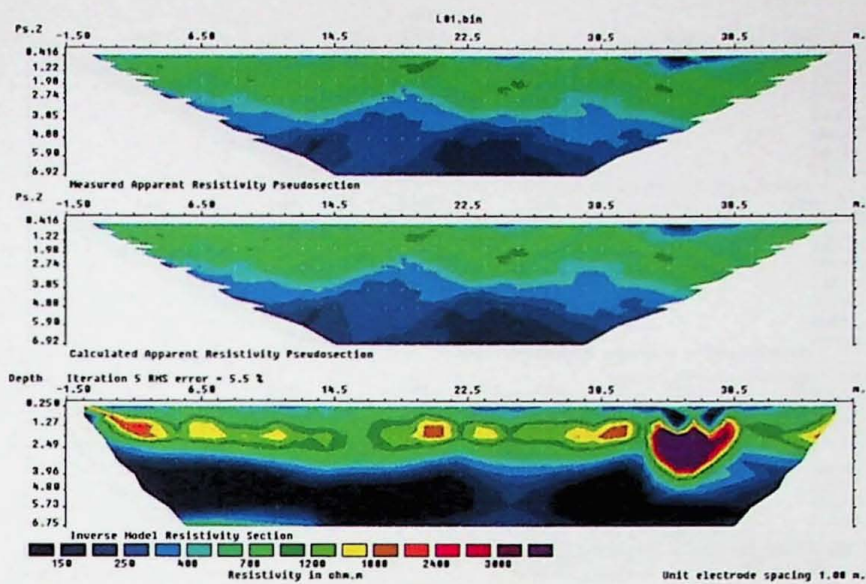
2B) (Continuação) Tabela com as medidas dos campos eletromagnéticos horizontal e vertical de cada ponto, na etapa de campo C2.

[mS/m] #m	linha 12		linha 13		linha 14		linha 15		linha 16		linha 17		linha 18		linha 19		linha 20		linha 21		linha 22		linha 23		linha 24	
	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH	CV	CH
0	2	4,2	2	4	2	4	2,2	4,2	1,8	4,5	0,8	3,8	0,4	3,8	1,2	4,5	0,8	5	0,8	4,6	0,4	4,6	0	4,6	0	4,5
2	2,4	4	2	4,4	1	5,8	2	5	0,8	5	0,6	3,8	0	4	0,8	5,4	0,8	5	0,2	5	0,8	3	0,3	4,5	0	4
4	2	4,6	1,8	4,8	1	4,8	1,2	4,8	1	5	1	4	0,2	4	0,2	5	1	5	0	4,8	0,2	4,4	0,6	5	0	4
6	1,8	4,2	1,2	4,8	1	4,8	1	5	0,8	5	1	5	0	4	0	5	0,8	5	0	3,8	0,4	4,4	0,8	5,2	0	4
8	1,4	4,4	1	4,8	1	4	1	5,2	0,4	5	0,8	5	0	4,2	0,6	3,6	0,6	5	0,8	3,8	0,2	5	0,2	5	0,3	4,6
10	1,2	4,8	1	4,8	0,2	4	0,8	5,5	0,4	5	0	5	0	4,2	0,2	4	0,2	5	0	3,8	0	5	0,4	5	0	5
12	1	5	1	4,4	0,2	4,2	0	4,5	0,6	5,2	0	4,8	0,2	4,2	0,8	4,4	1	5	0,4	4,4	0	4,4	0,6	5	1	5,4
14	0,8	4,8	0,8	4,2	0	3,4	0	4,2	0,8	5,5	0	4,8	0,8	4,4	1,4	4,4	2	5	0,8	5	0,2	4,4	0,2	4,4	1,2	6
16	1	4,6	1,5	5	0,2	3	0,2	4,2	1,2	5,5	0,4	4,4	1	4,2	1,6	4,6	2,2	5	1,2	5	0,6	4,8	0,6	4,4	1,4	6,2
18	1,2	3,4	0	3	1	4	0,4	3,4	1,2	5	0,6	4,8	1	4,2	1,4	4,4	1,8	5	1,4	5	0,8	4,6	0,8	4,8	1,2	7,5
20	2	5	1	4,5	1,2	4	1	4	1,4	5,2	0,6	4,4	1	4,2	1	4,4	1,6	5	1,2	4,8	0,8	4,4	0,8	5	1,8	9
22	1,6	5	2	5	2	3,8	1,2	4	1,8	5	0,8	4	1	4,2	1,2	4,4	2	5	1,4	5	1	4,4	1	5,5	2,8	11
24	2	4,6	2,2	4,6	2,8	3,8	1,6	4	2	5	1,4	4	1,4	4	1,8	4,4	3	5,4	1,8	4,6	1,2	4	1,2	6	1,2	3
26	3	4,6	3	4	2,2	3,8	2	3,8	2,4	5	1,6	4,2	1,8	4	2,2	5	2,2	5	1,6	4	1	4	1	4,6	1,2	3
28	3,2	4,2	3,2	4	2	4	2	3,4	2,8	5	2	4	1,8	4	3,4	5	2,2	5	1,6	4	1,2	4	1	4	1,4	1000
30	3,4	4,2	3,2	4,2	2,2	4	2	3,8	2,8	5	2,2	4	1,6	3,8	3,6	4,6	2,6	5	1,8	4,6	1,2	4,8	1	4	3,2	1000
32	3,6	4,4	3,2	4,2	3	4	2	3,6	3	5,2	2	3,8	2,2	4	2,8	5	2,4	5	1,8	5	1,2	6	1,4	7,5	14	1000
34	3,6	4,4	3,4	4,4	3	4	2,2	4	3,2	5	2,4	3,8	2,4	4	2,4	4,4	2,6	5,4	2	5,6	1,8	7	2,4	12	32	1000
36	3,8	4,8	4	4,4	3,2	4	2,4	4	3,4	5	2,6	3,8	2,4	4	2,4	4,6	2,8	5,4	2	6	1,6	8	3	12	4	1000
38	4	4,8	4	4,8	3,2	3,6	2,6	4,4	3,4	5	2,4	4	2,6	4,4	2,4	4,6	2,8	6	2,2	6,4	2	9	3,2	5	8	1000
40	4,2	4,2	4,2	5	3,4	4	2,8	4	3,4	5	2,6	4	2,8	4,4	2,6	4,4	3	5,8	2,4	7	2	12	4,8	14	72	1000
42	4,8	4,2	4,2	4,8	3	4	3	4	3,8	5	2,8	4	3	4,4	2,8	4,6	3,2	6	2,6	7	1,6	12	9,2	1000	400	1000
44	5	4,4	4,4	5	3,4	4,6	3,4	4	4	5	3,2	4,2	3,4	4,4	3,2	4,8	3,6	6	2,8	6,6	2	9	24	1000	600	120
46	5	4,4	4	5	3,2	4	3,4	4	4	5,2	3,2	4,4	3,2	4,4	3	5	3,4	7	4	10	4,2	13	60	60	120	1000

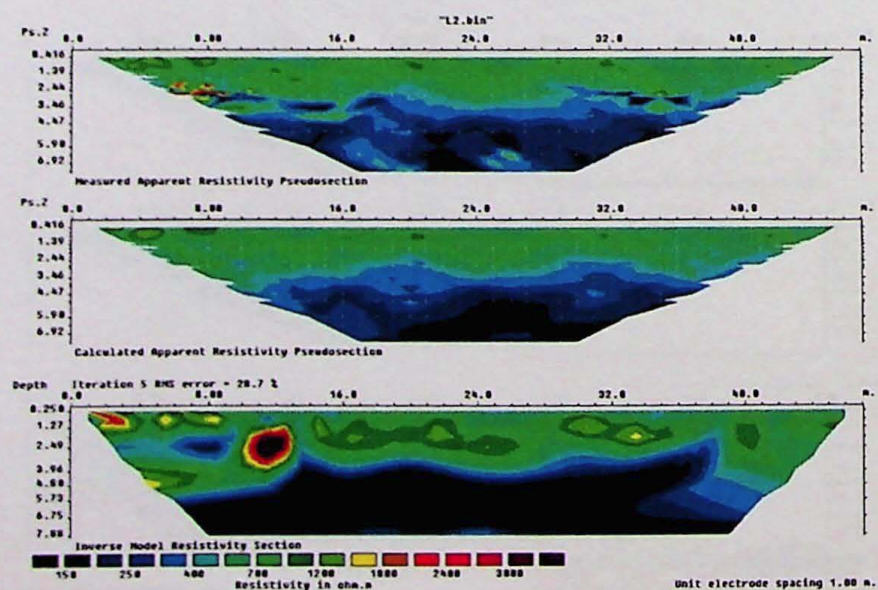
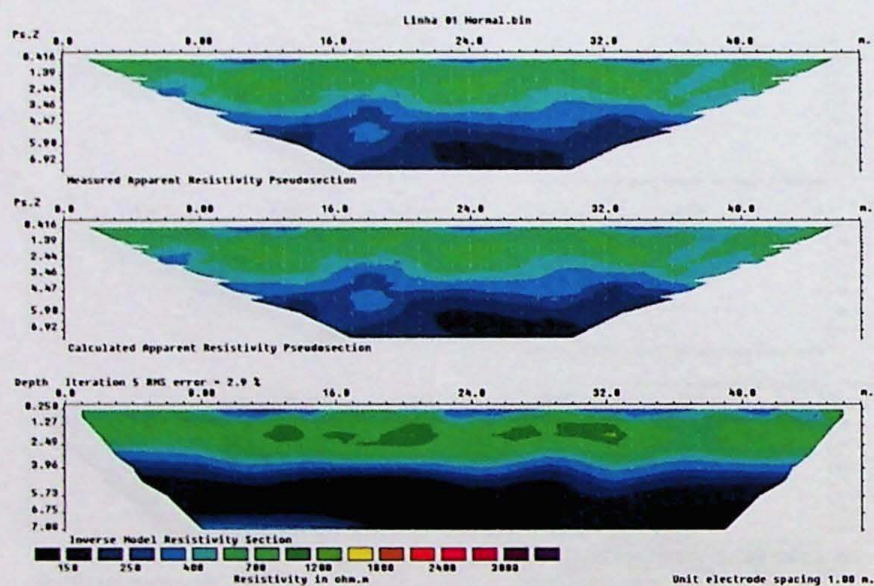
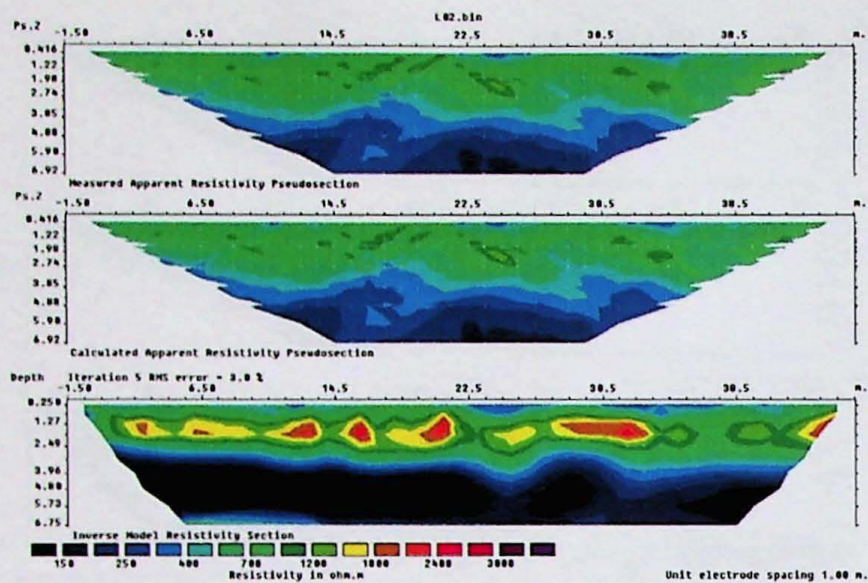
Anexo 3

Perfis verticais gerados no processamento dos dados de resistividade, sendo apresentadas, respectivamente, as imagens referentes às etapas de campo C1, C2 e C3 de cada linha (escala em Ohm.m).

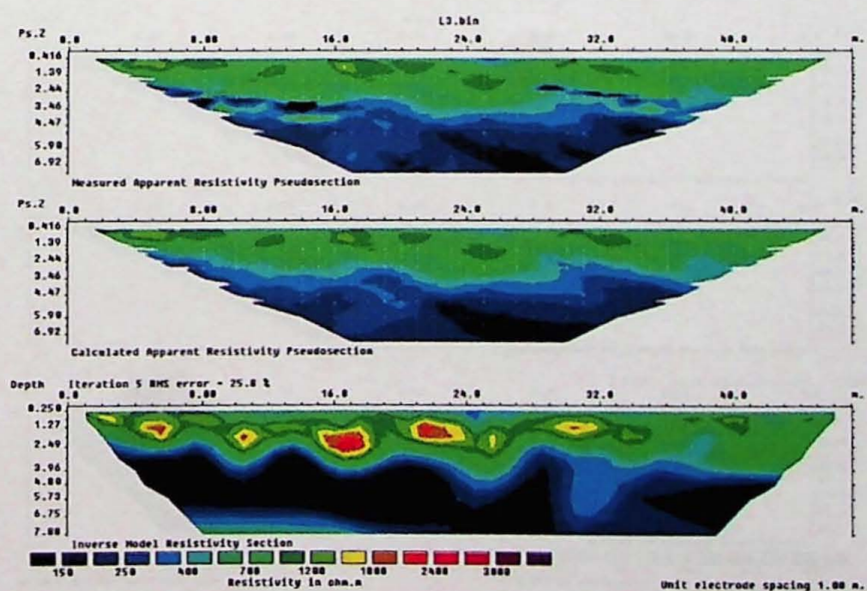
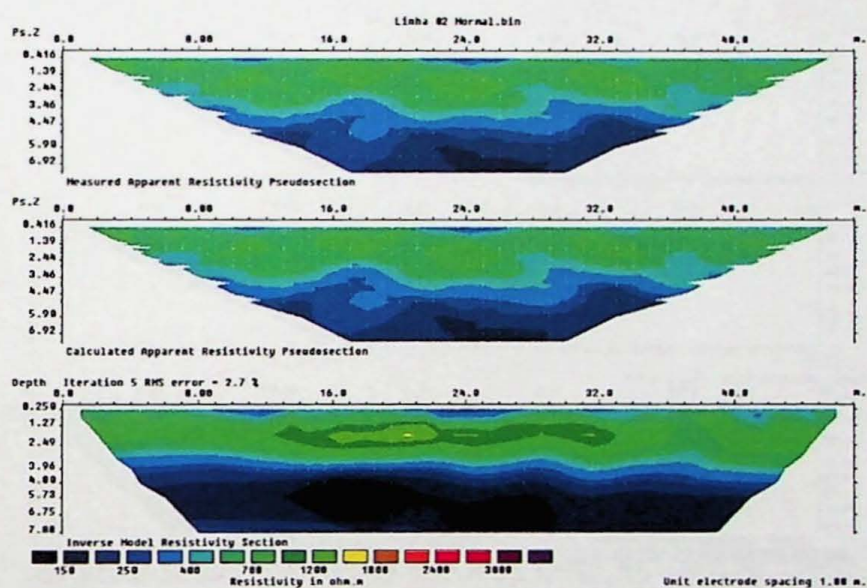
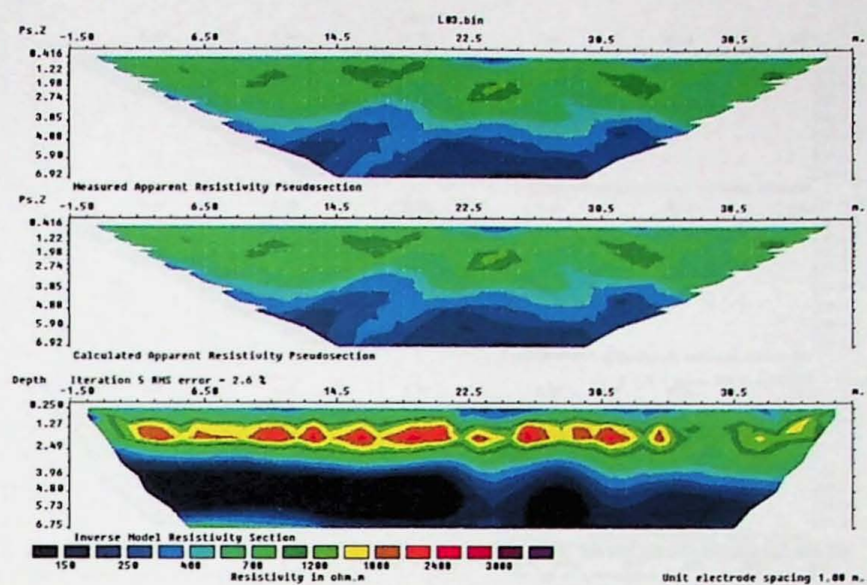
Caminhamento elétrico Linha 00 em C1, C2 e C3, respectivamente.



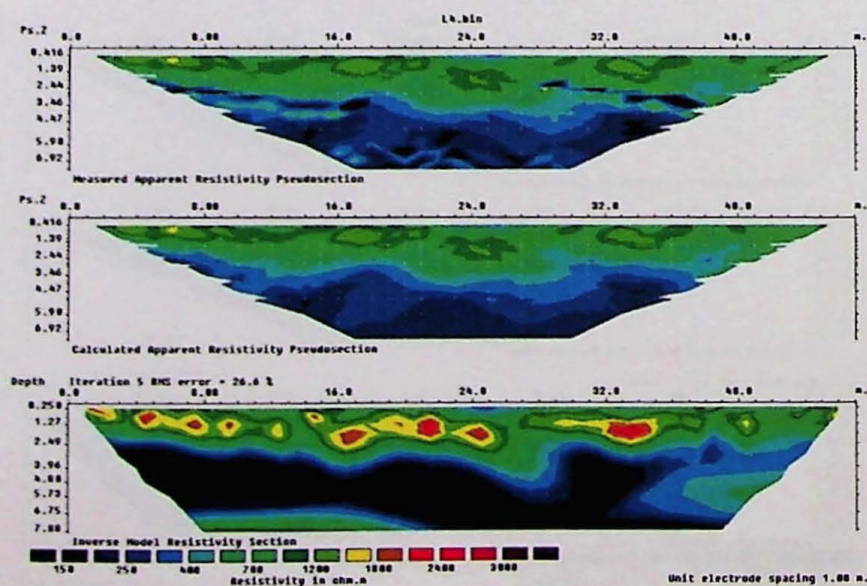
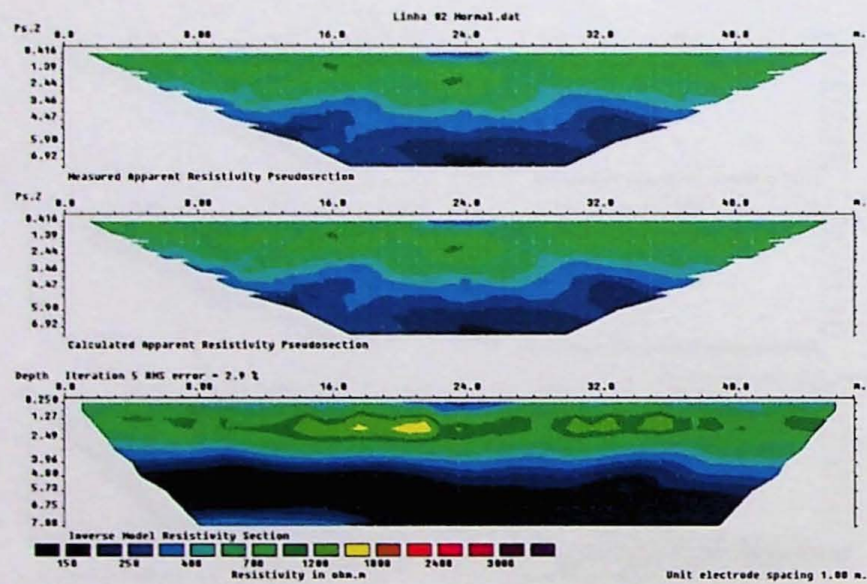
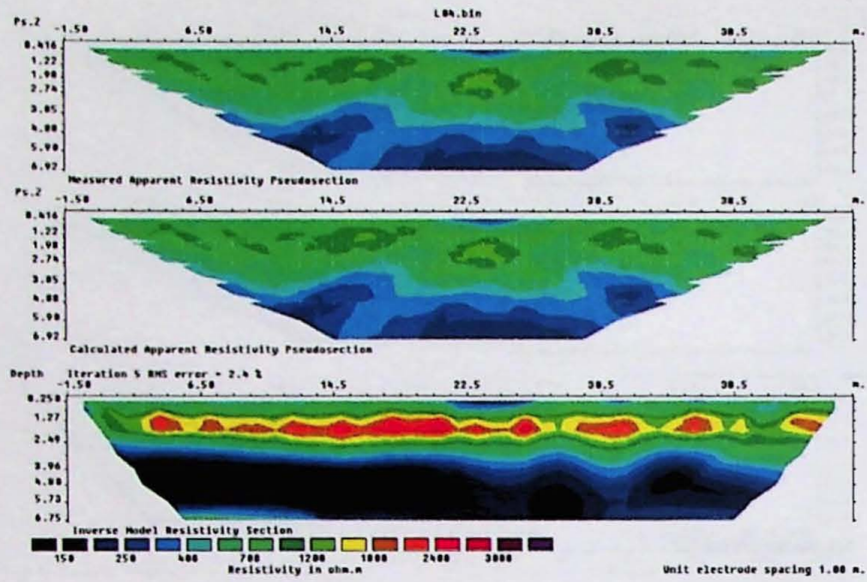
Caminhamento elétrico Linha 01 em C1, C2 e C3, respectivamente.



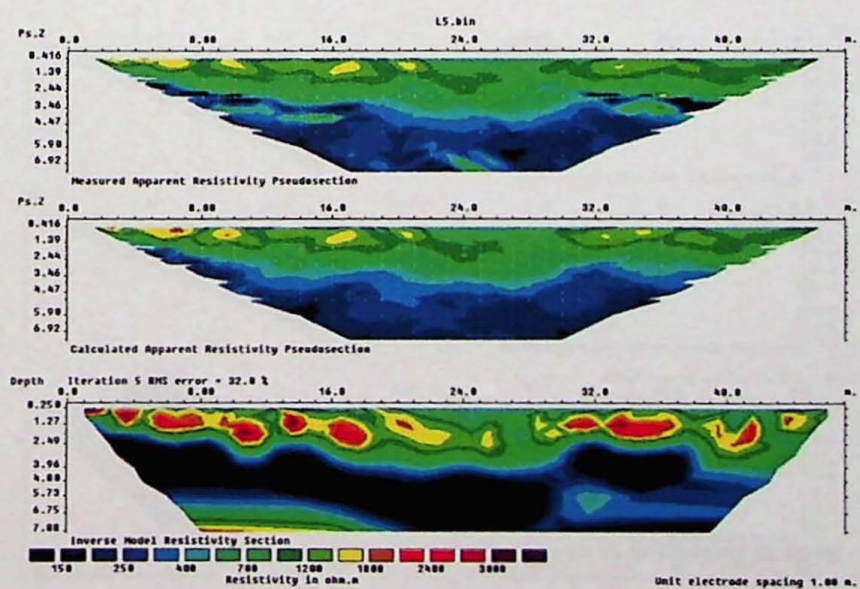
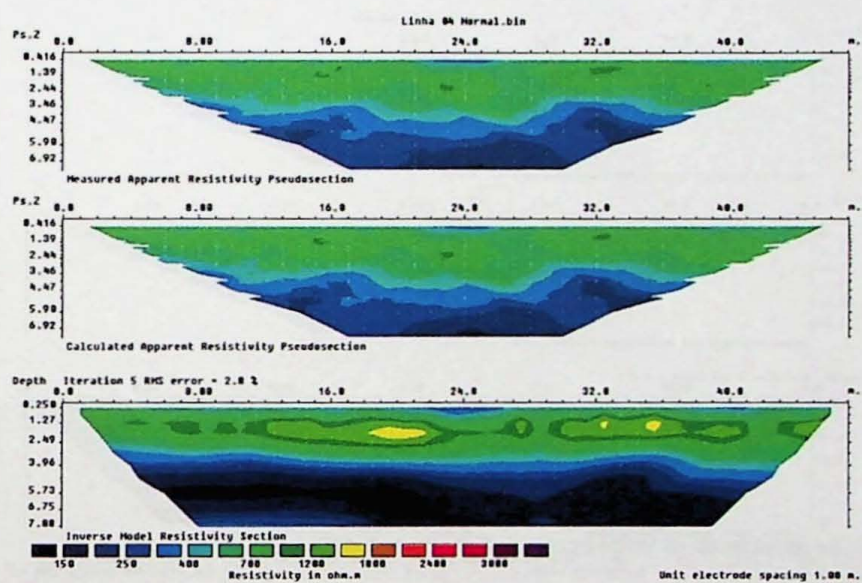
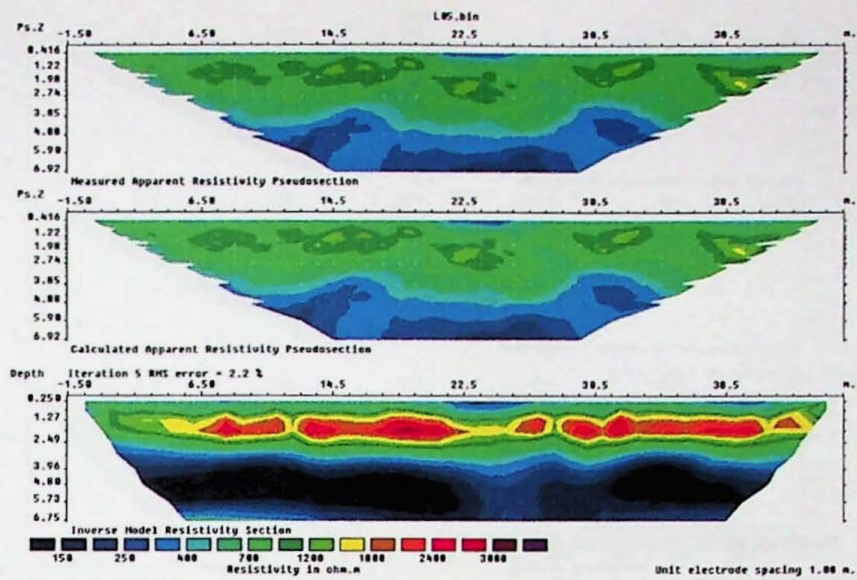
Caminhamento elétrico Linha 02 em C1, C2 e C3, respectivamente.



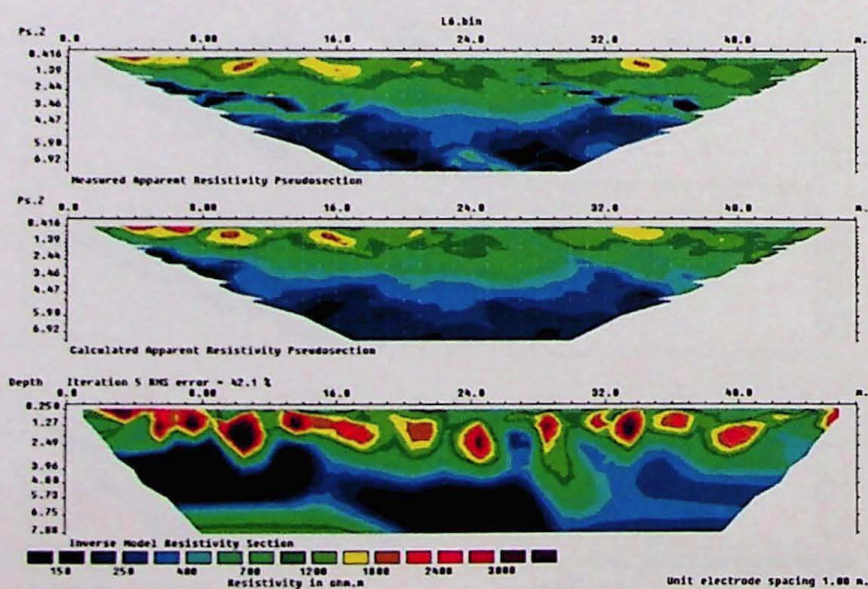
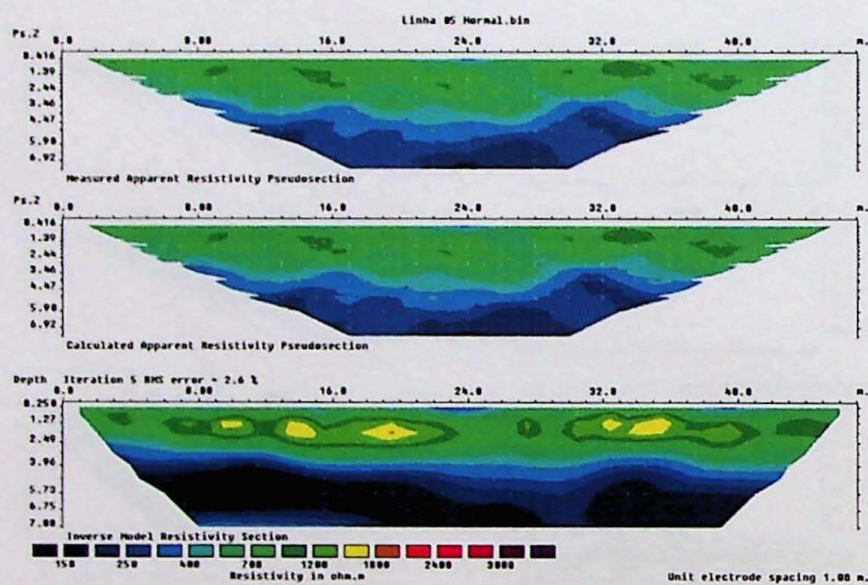
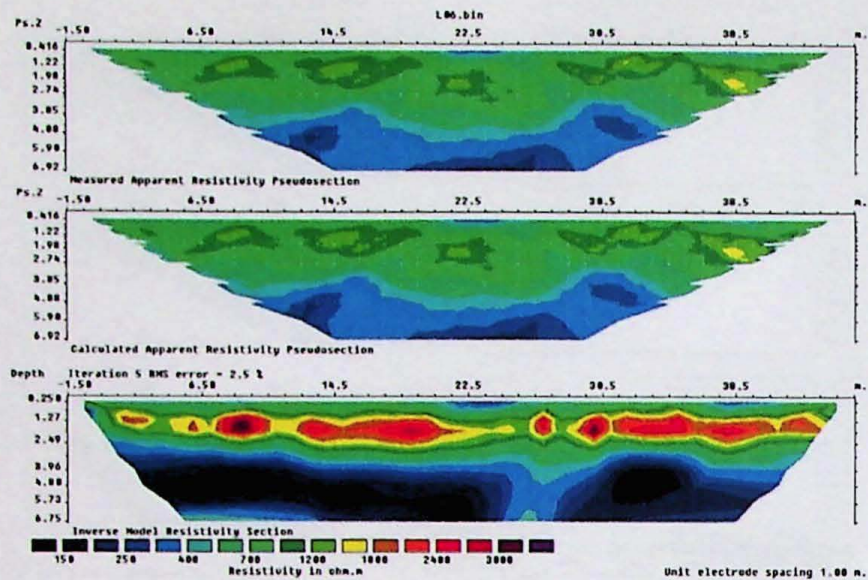
Caminhamento elétrico Linha 03 em C1, C2 e C3, respectivamente.



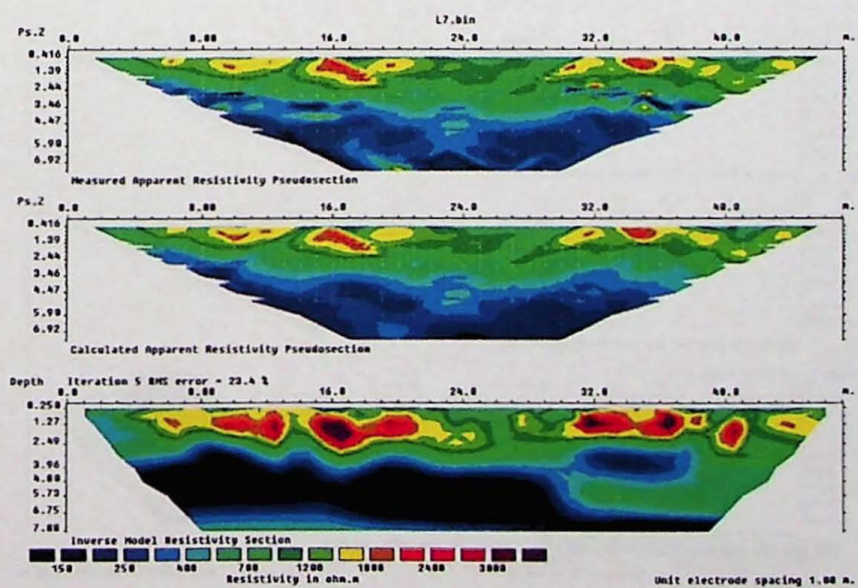
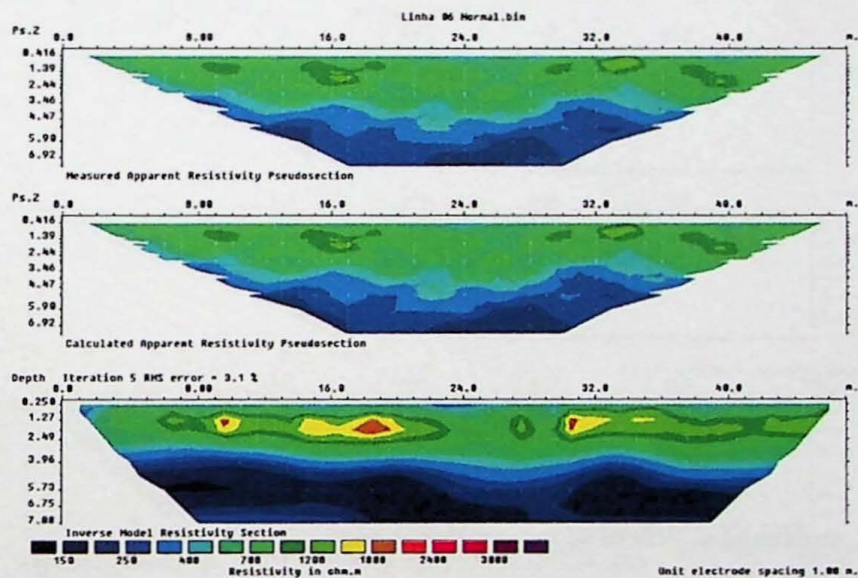
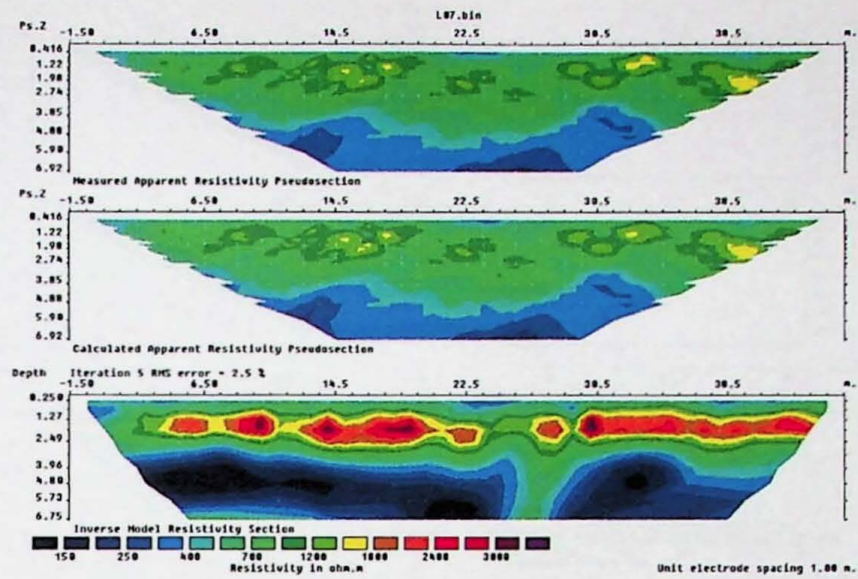
Caminhamento elétrico Linha 04 em C1, C2 e C3, respectivamente.



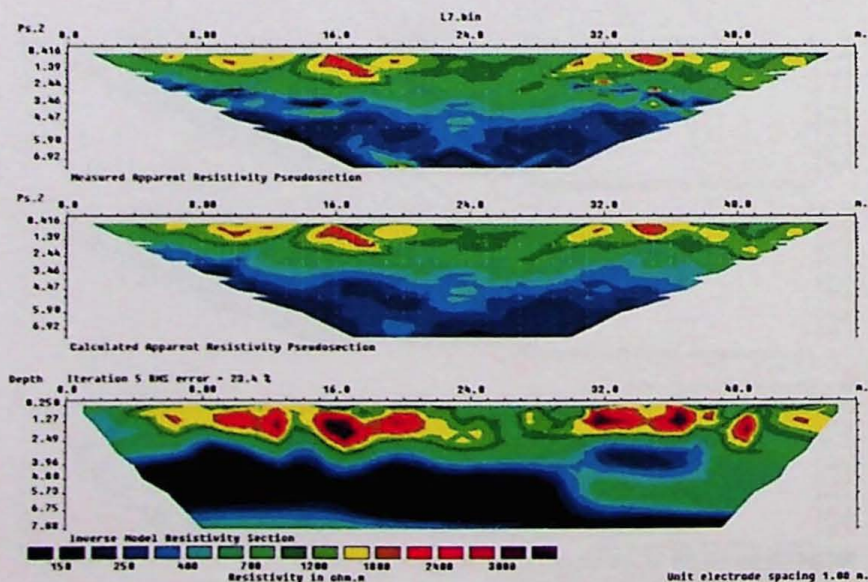
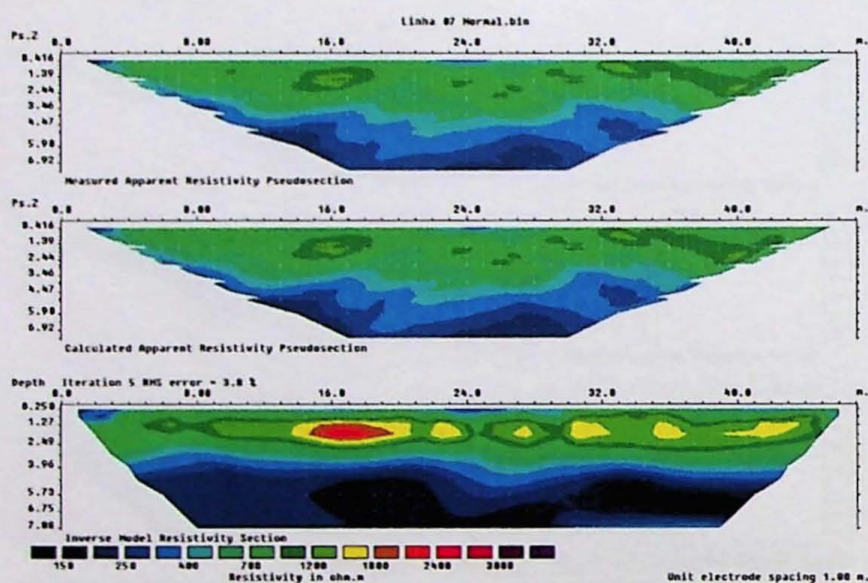
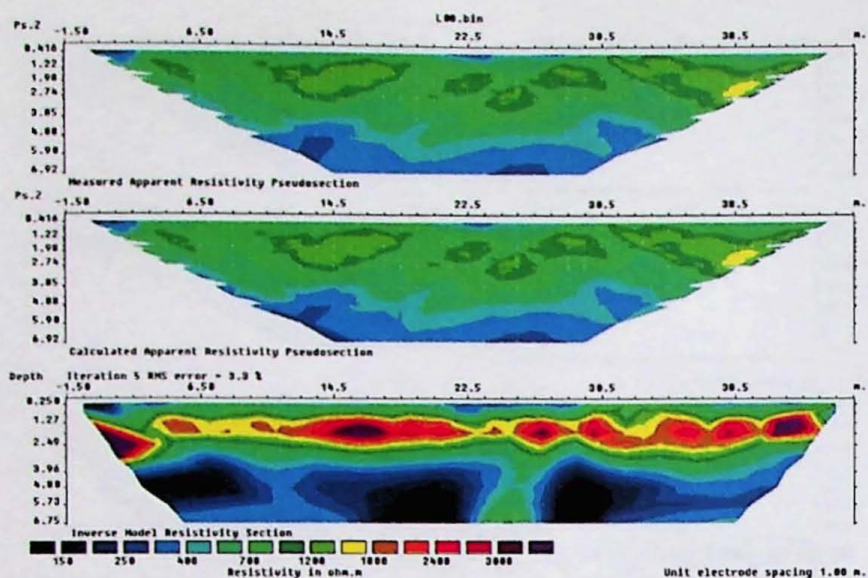
Caminhamento elétrico Linha 05 em C1, C2 e C3, respectivamente.



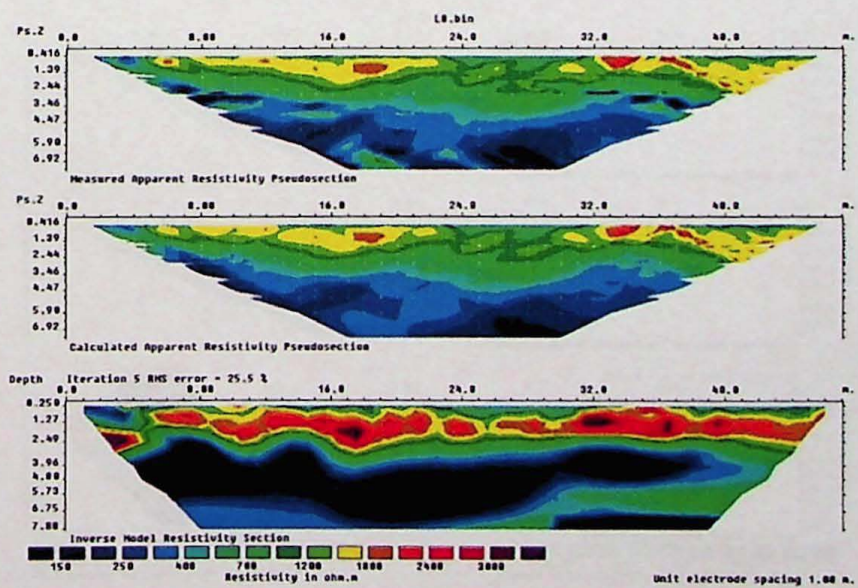
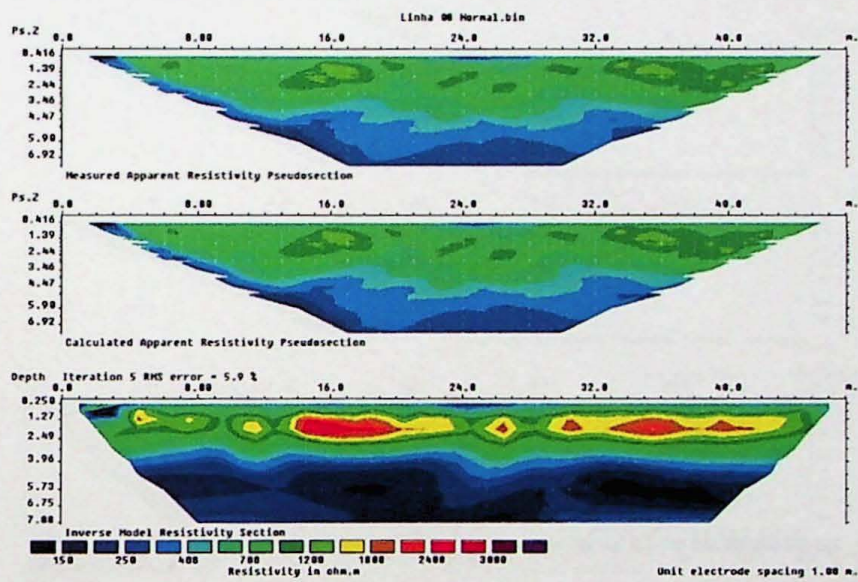
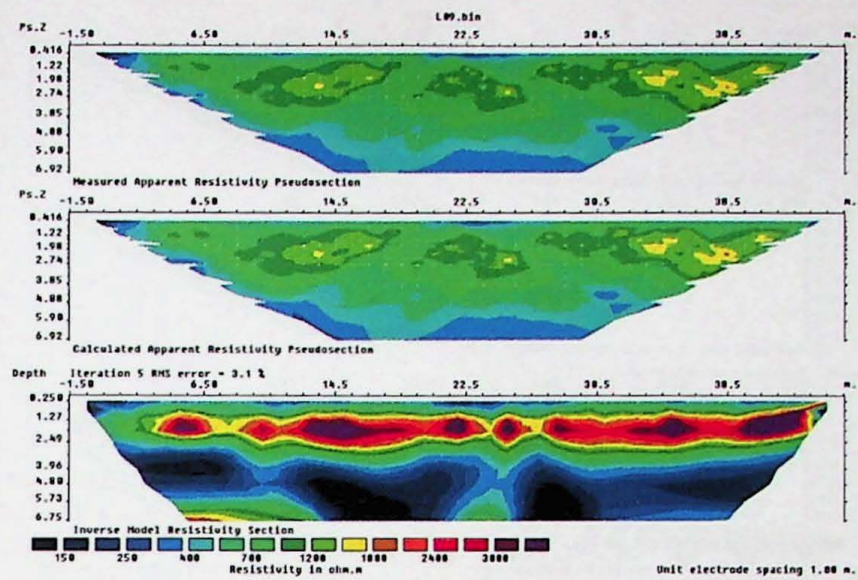
Caminhamento elétrico Linha 06 em C1, C2 e C3, respectivamente.



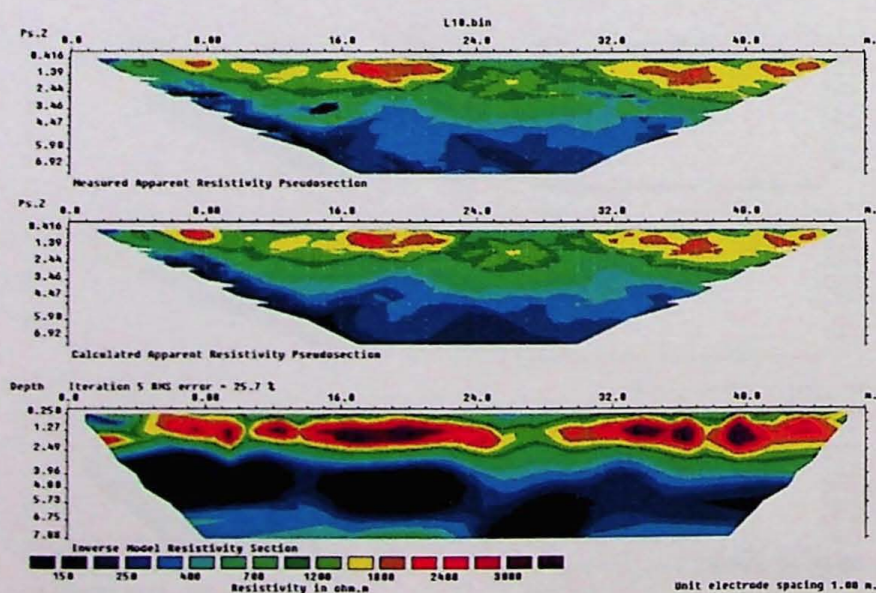
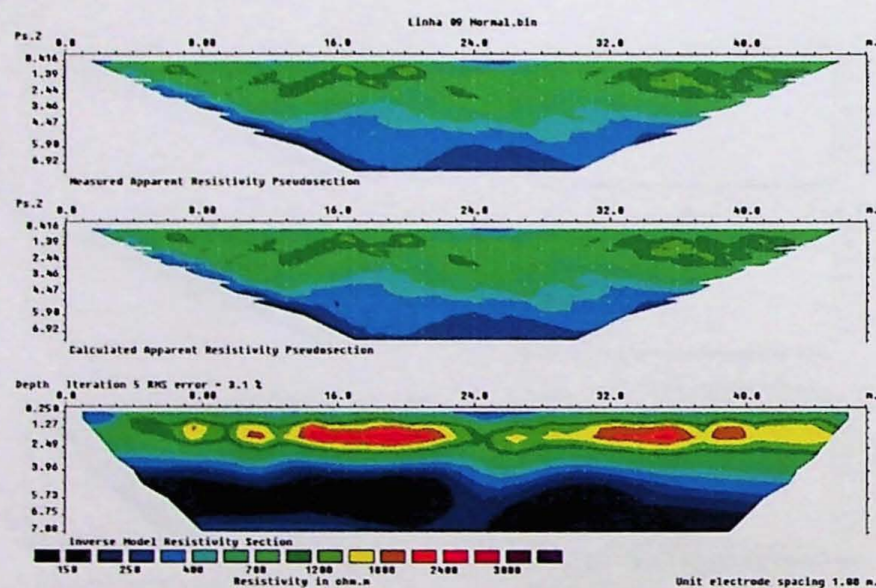
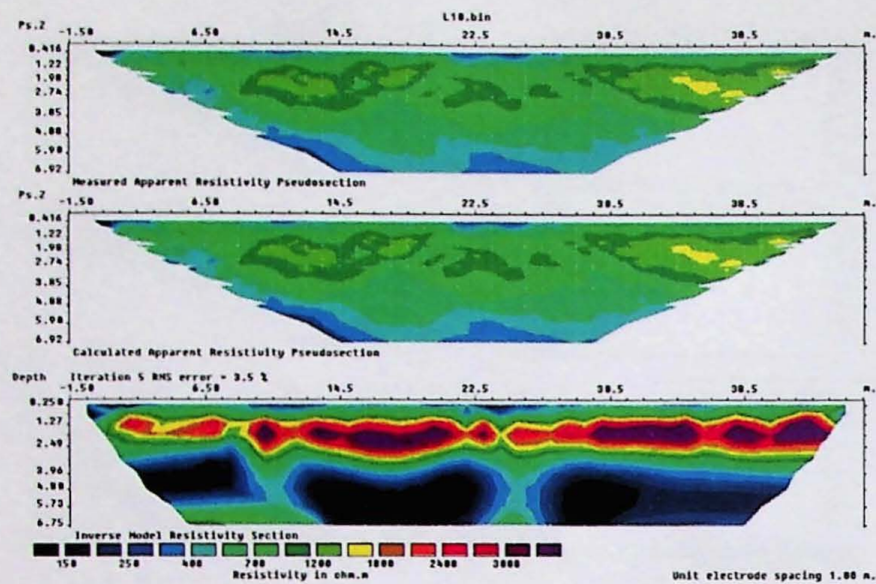
Caminhamento elétrico Linha 07 em C1, C2 e C3, respectivamente.



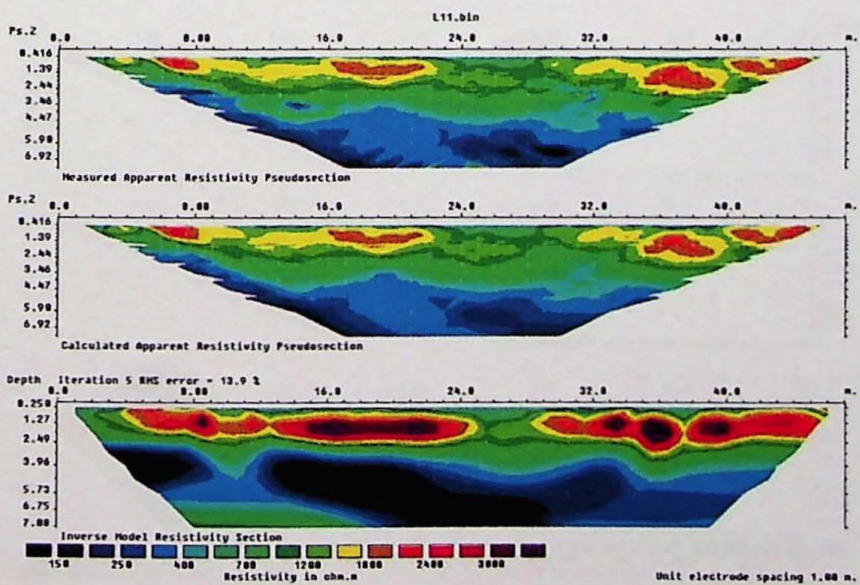
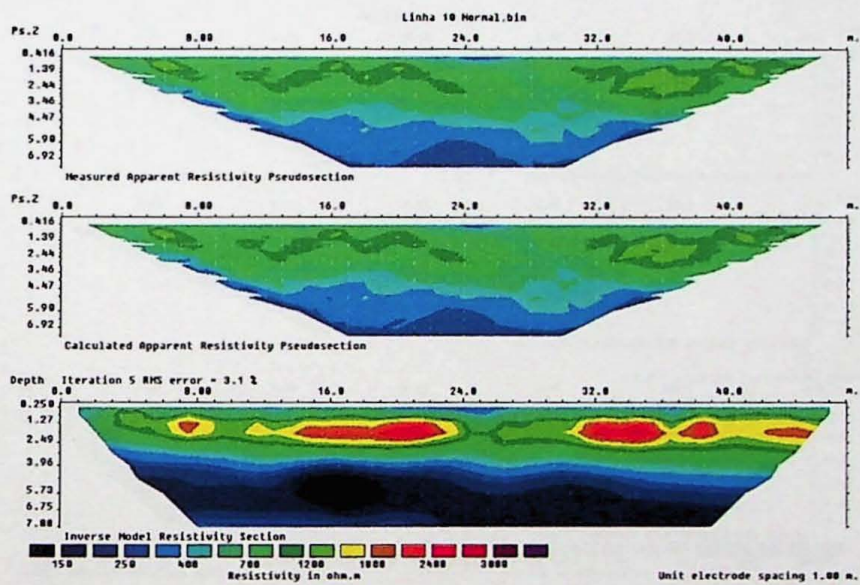
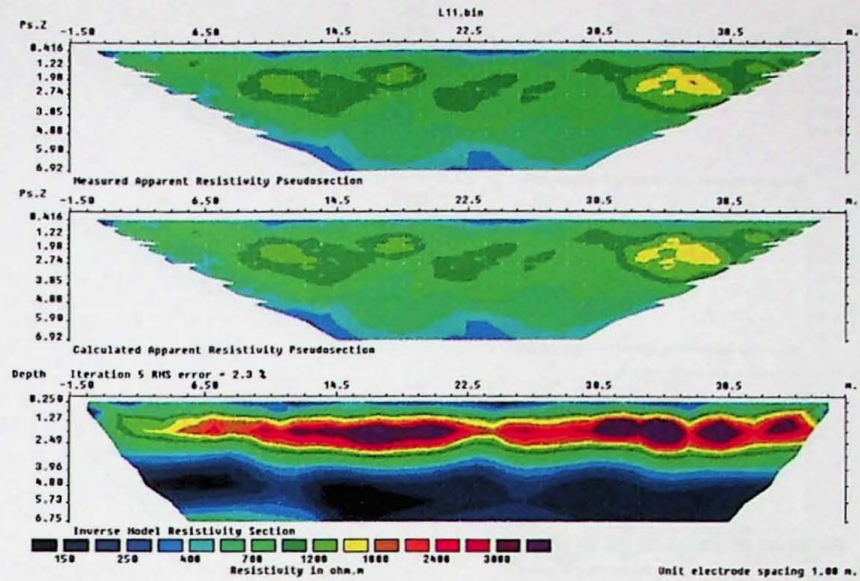
Caminhamento elétrico Linha 08 em C1, C2 e C3, respectivamente.



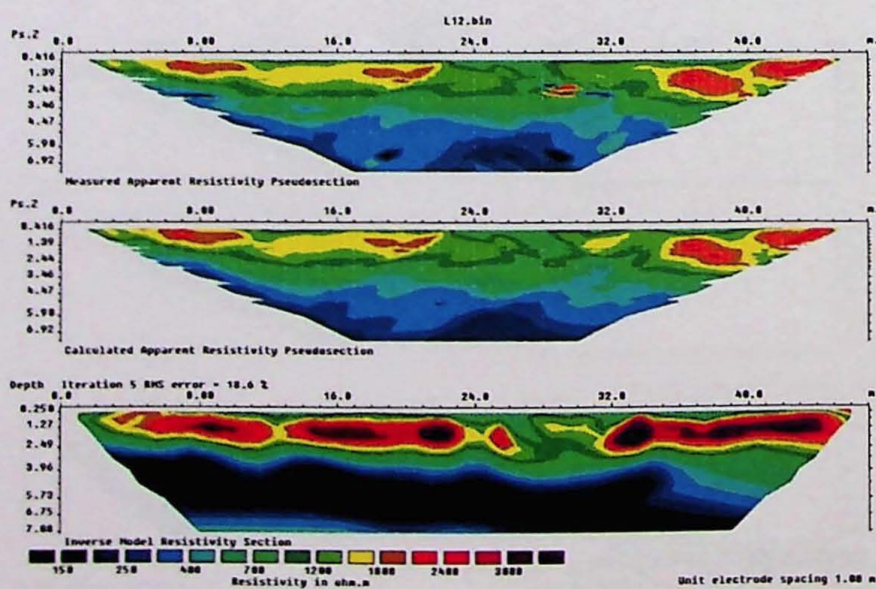
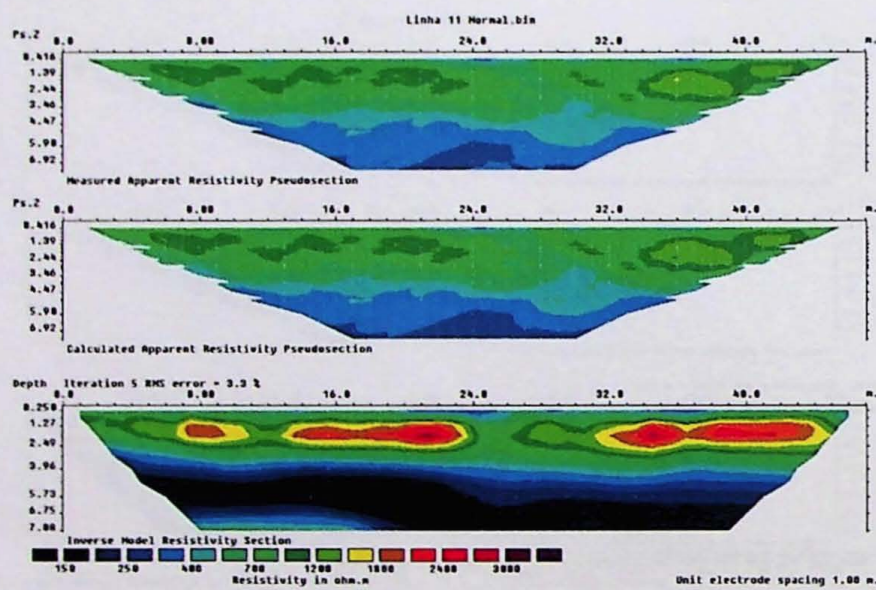
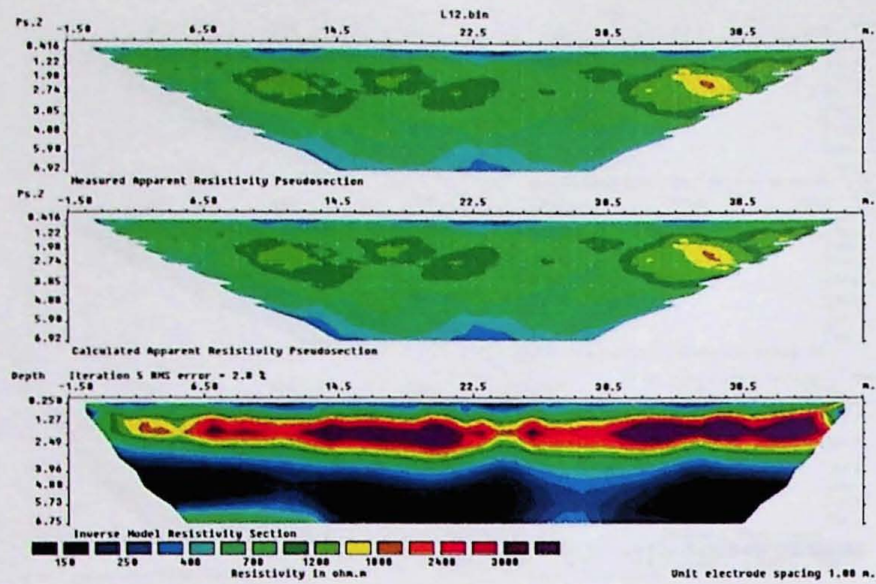
Caminhamento elétrico Linha 09 em C1, C2 e C3, respectivamente.



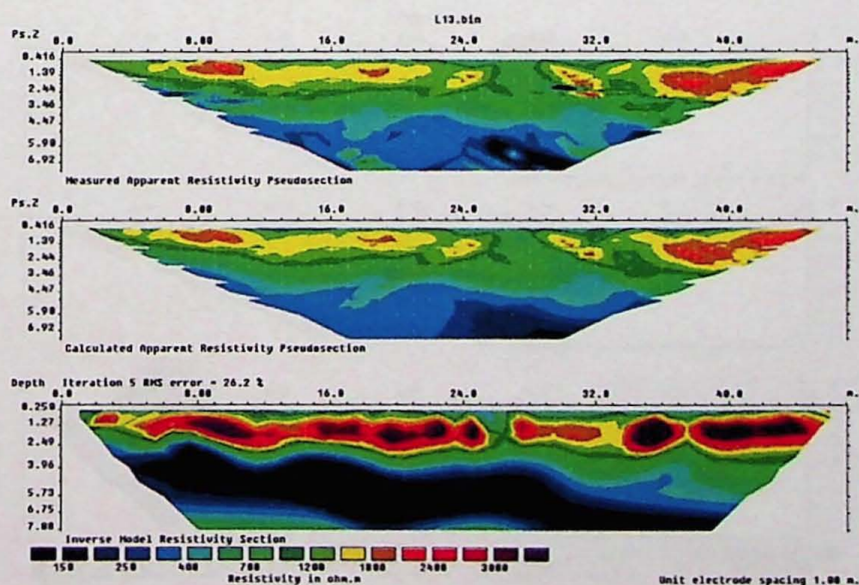
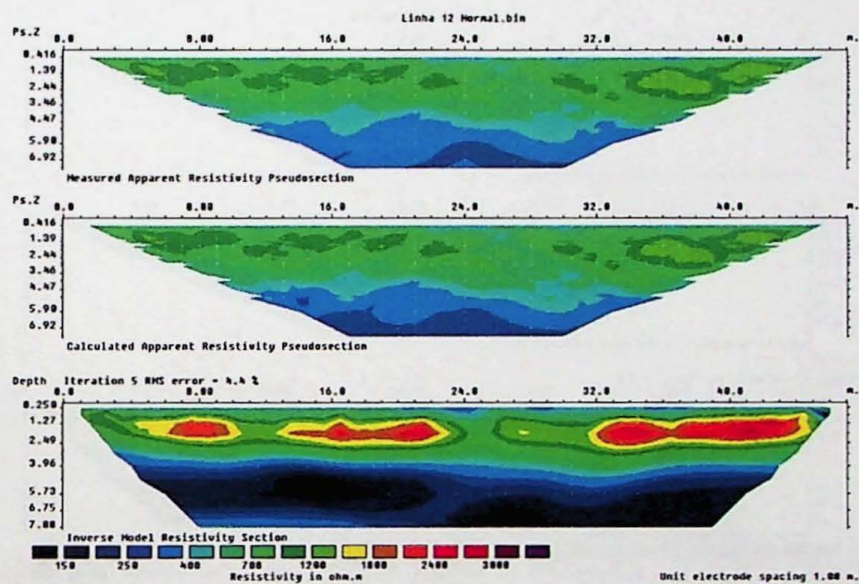
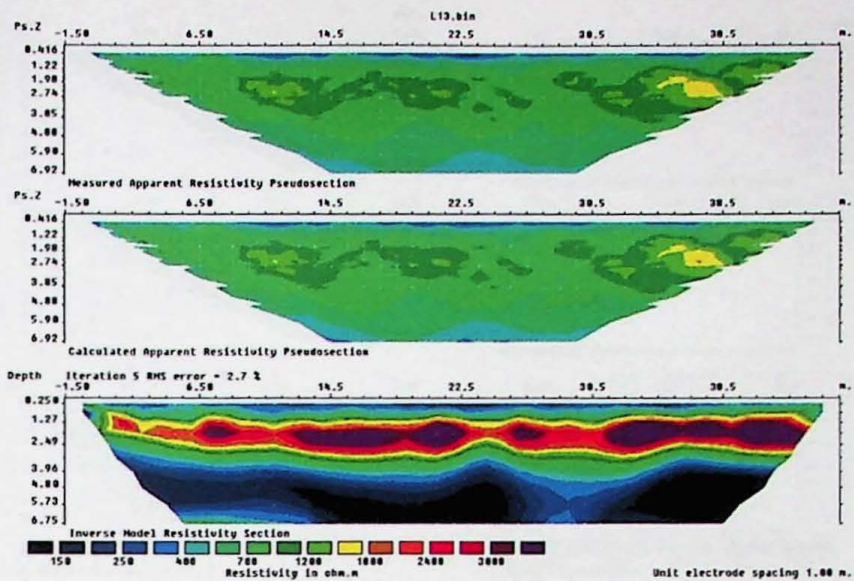
Caminhamento elétrico Linha 10 em C1, C2 e C3, respectivamente.



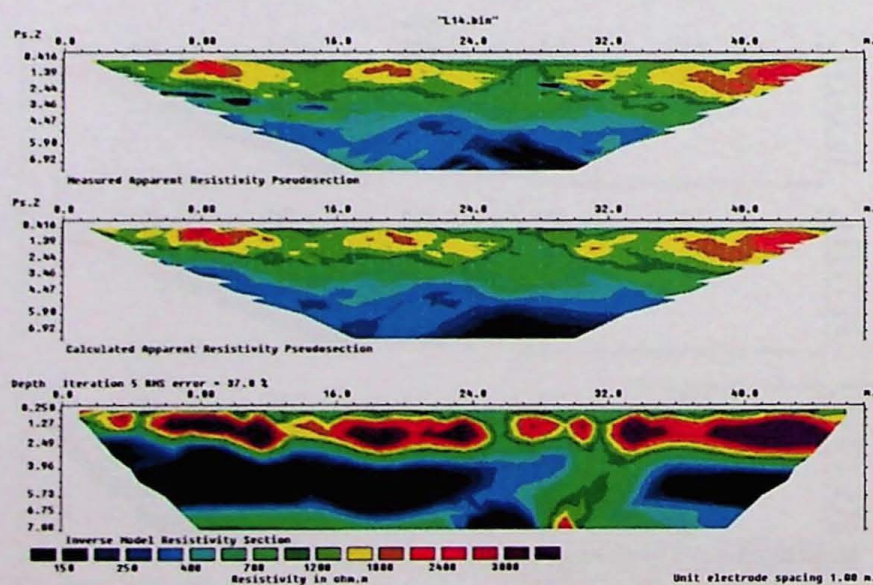
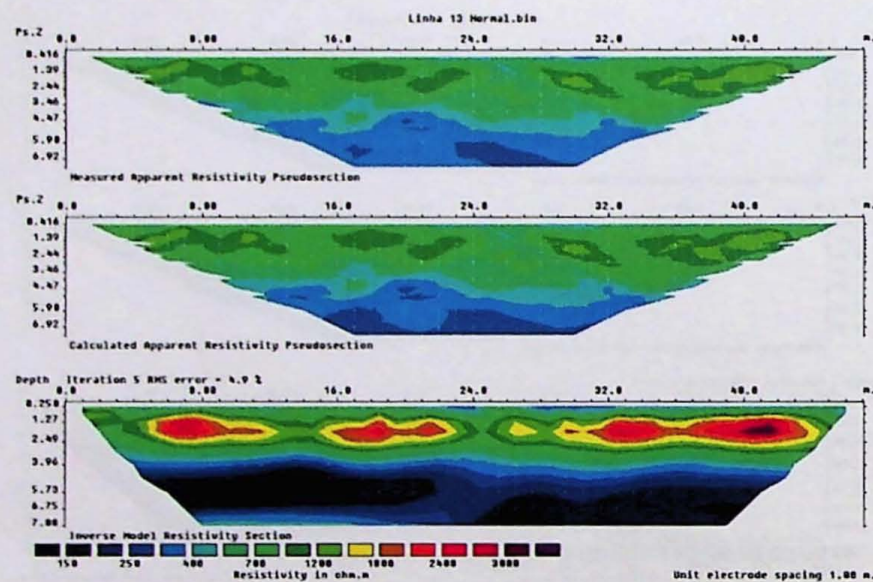
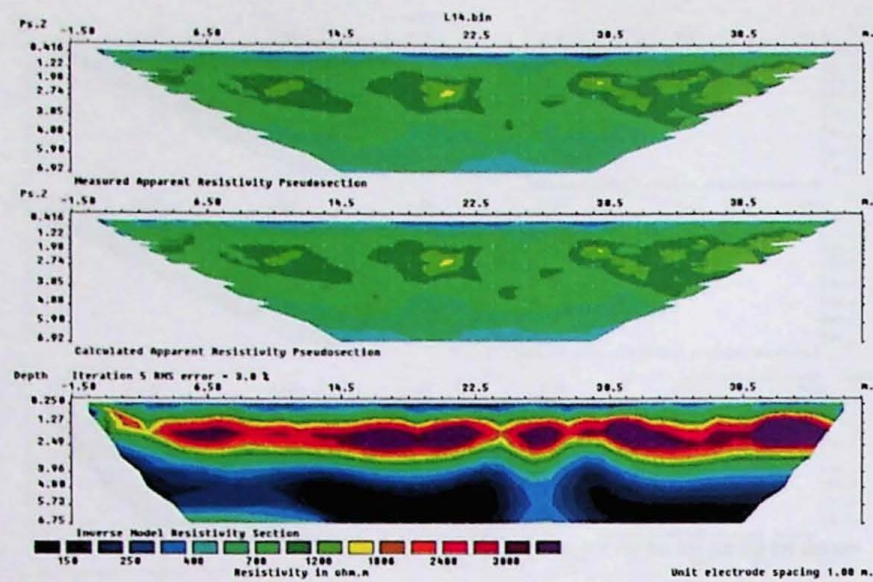
Caminhamento elétrico Linha 11 em C1, C2 e C3, respectivamente



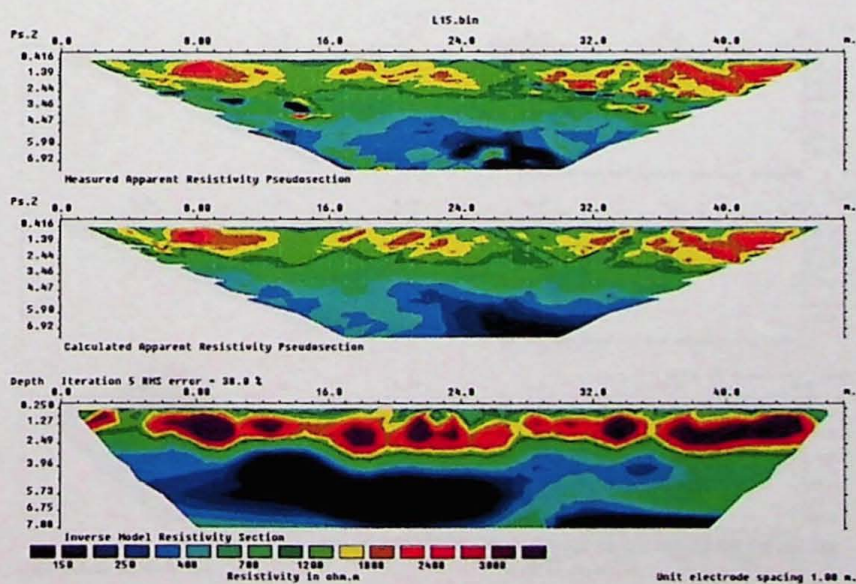
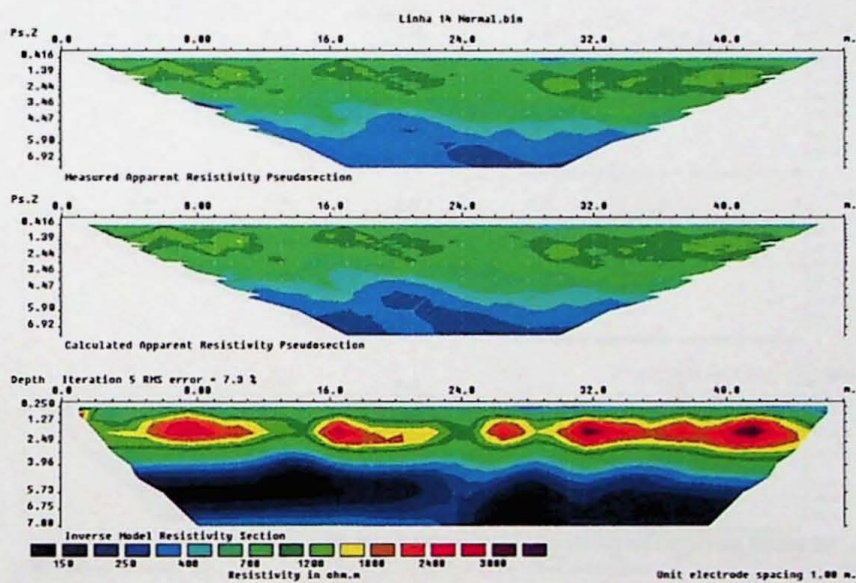
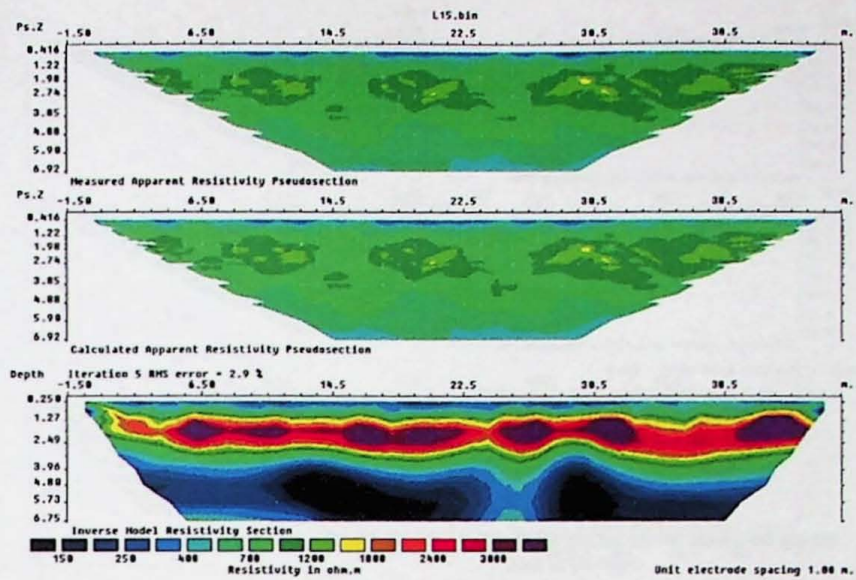
Caminhamento elétrico Linha 12 em C1, C2 e C3, respectivamente



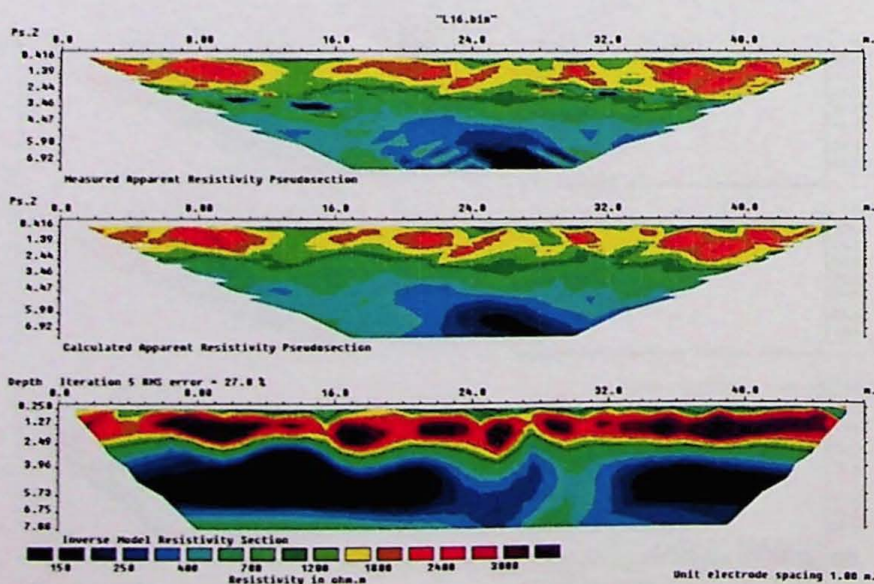
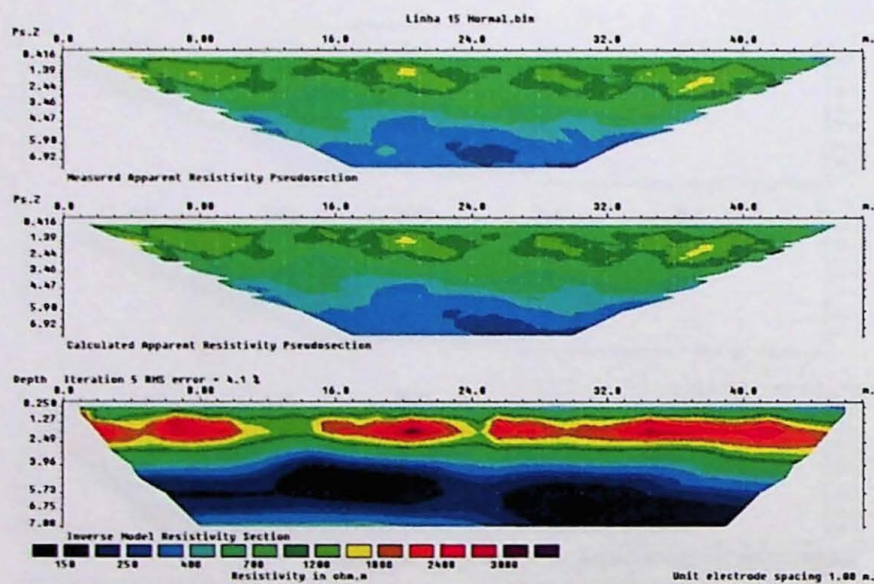
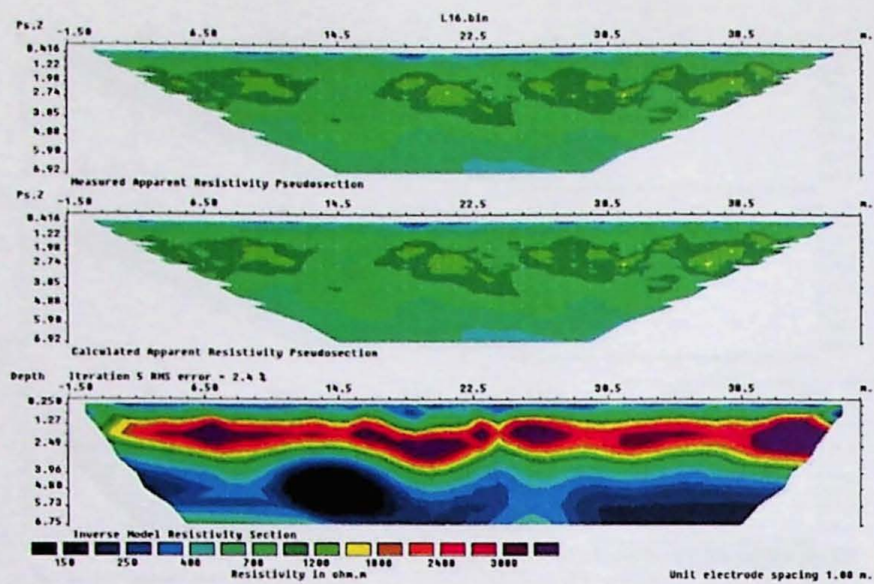
Caminhamento elétrico Linha 13 em C1, C2 e C3, respectivamente



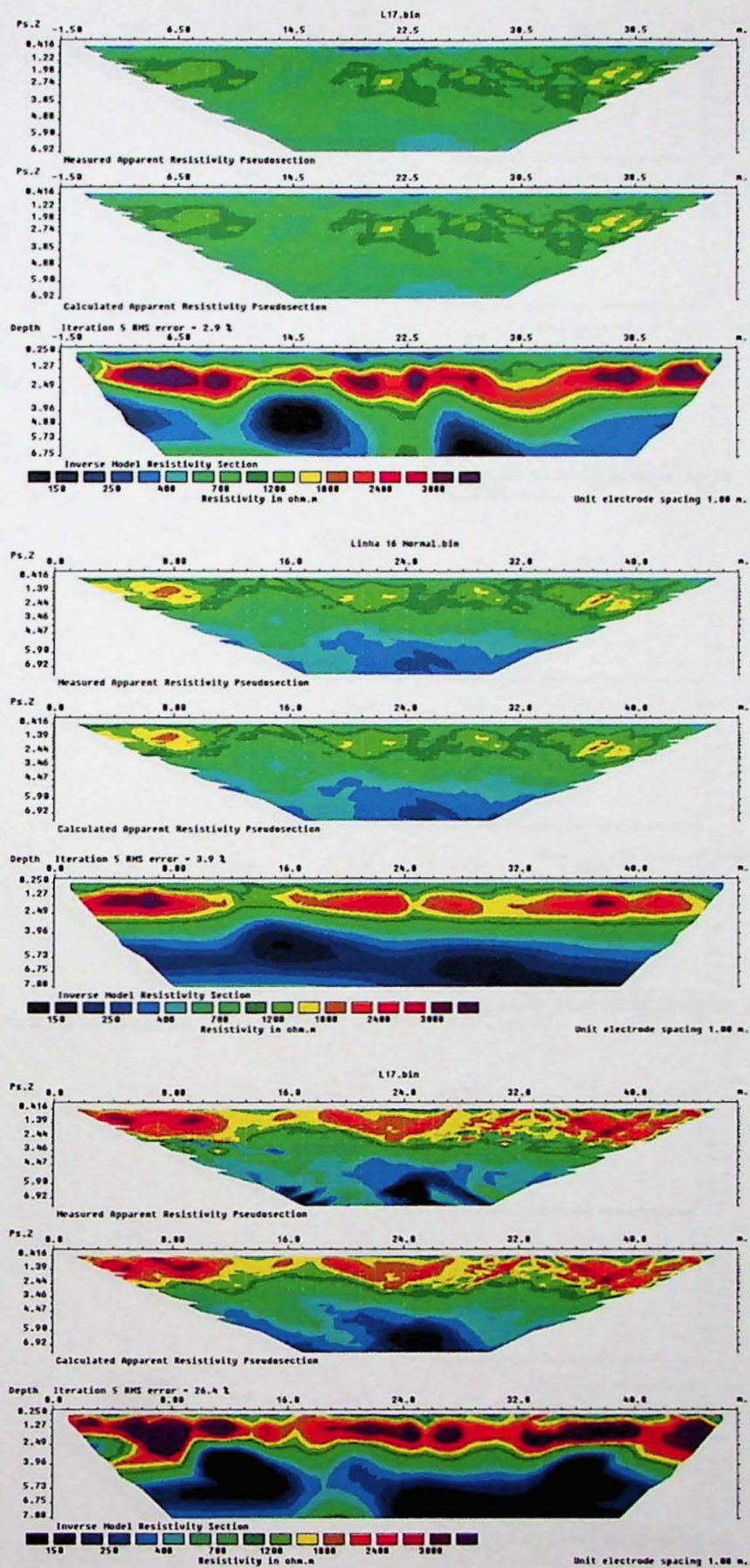
Caminhamento elétrico Linha 14 em C1, C2 e C3, respectivamente



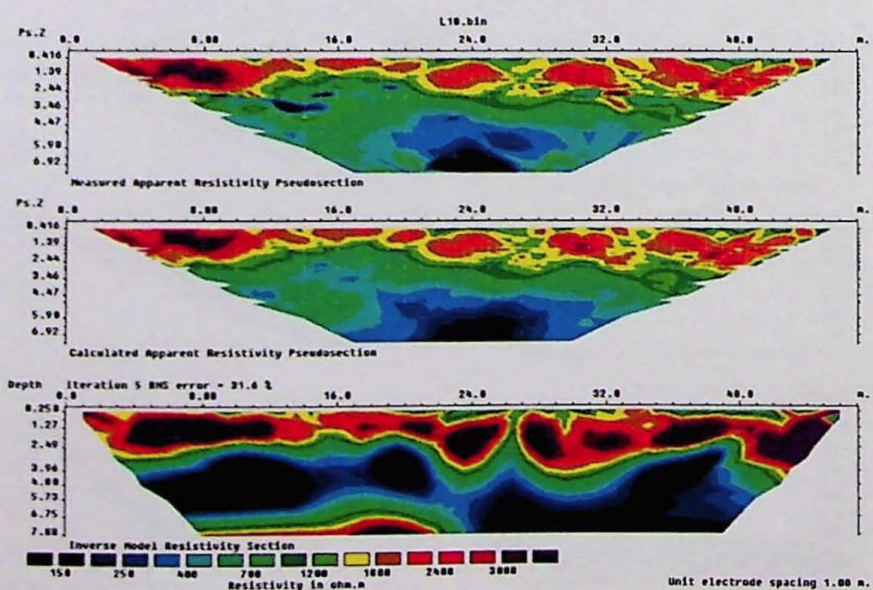
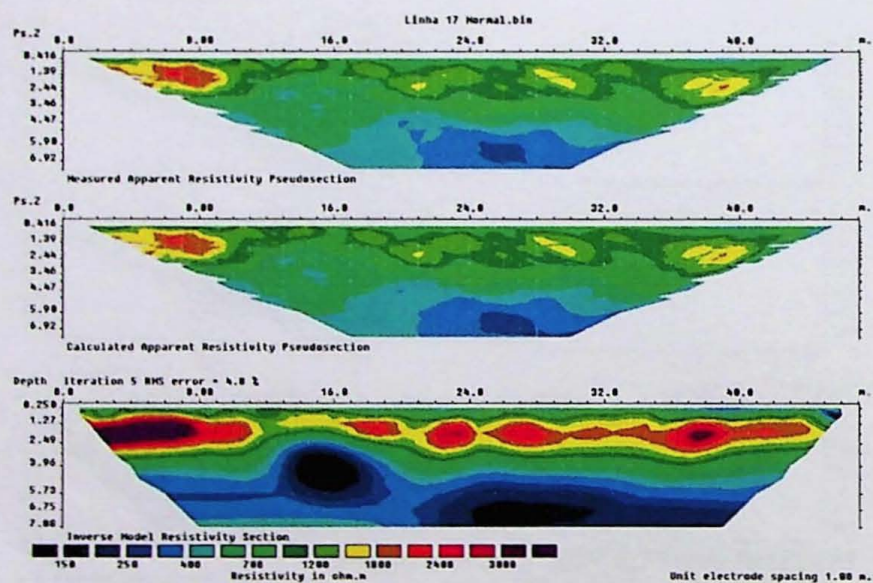
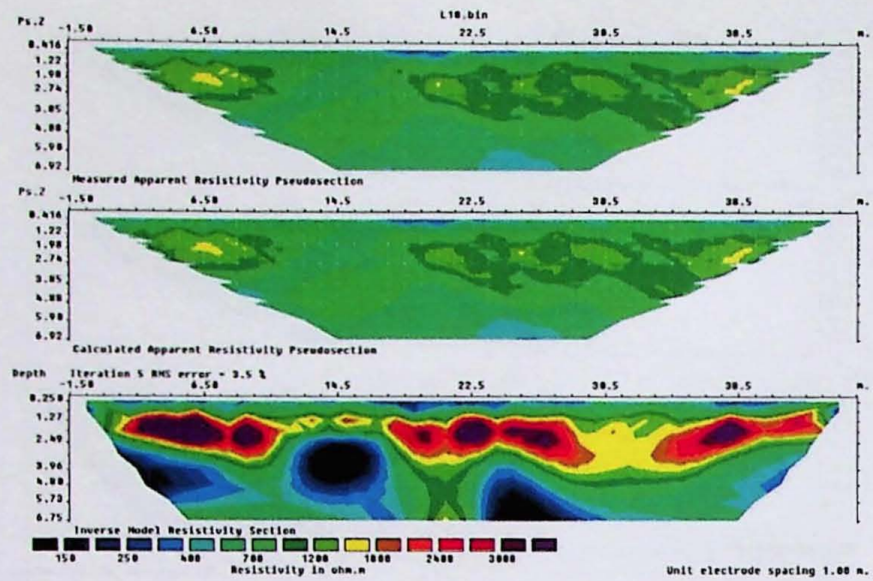
Caminhamento elétrico Linha 15 em C1, C2 e C3, respectivamente



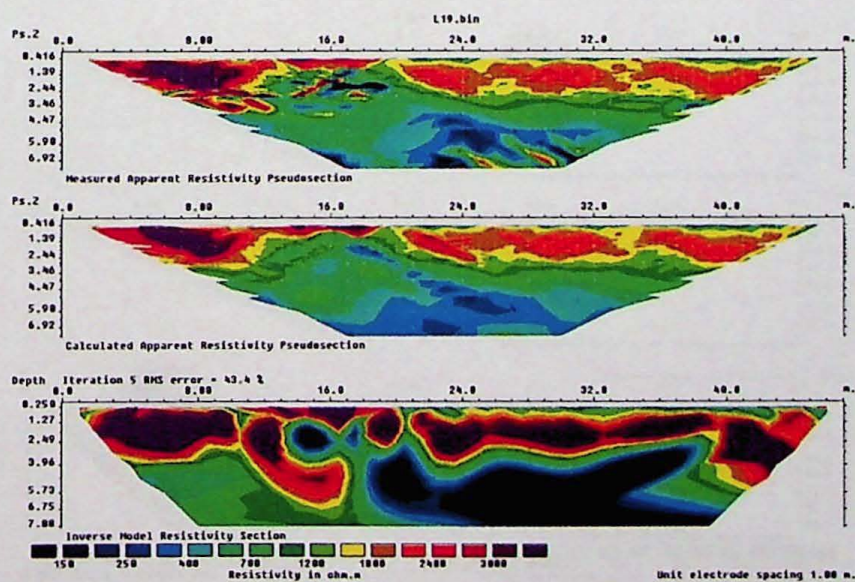
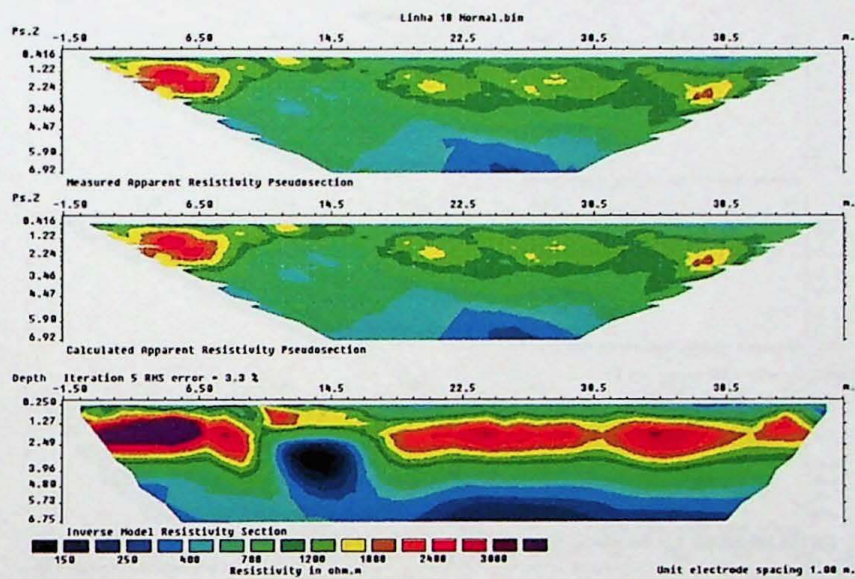
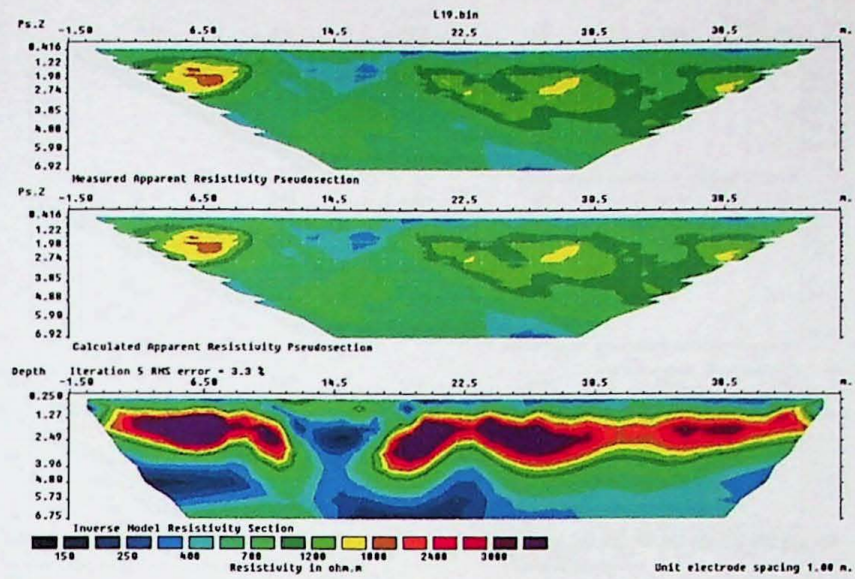
Caminhamento elétrico Linha 16 em C1, C2 e C3, respectivamente



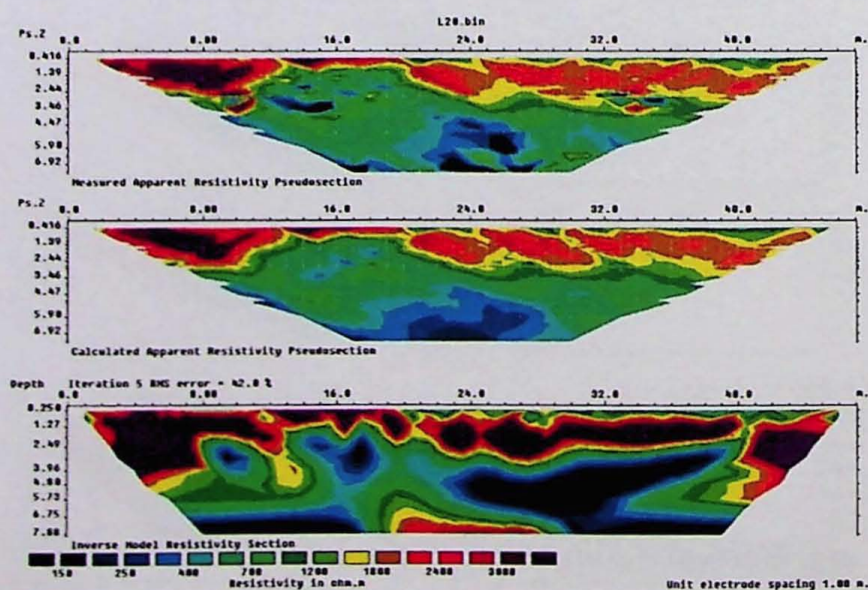
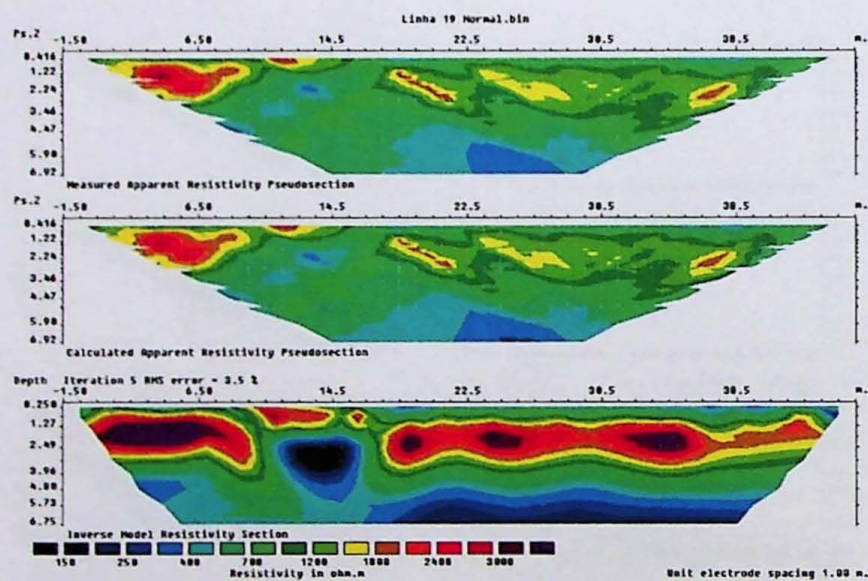
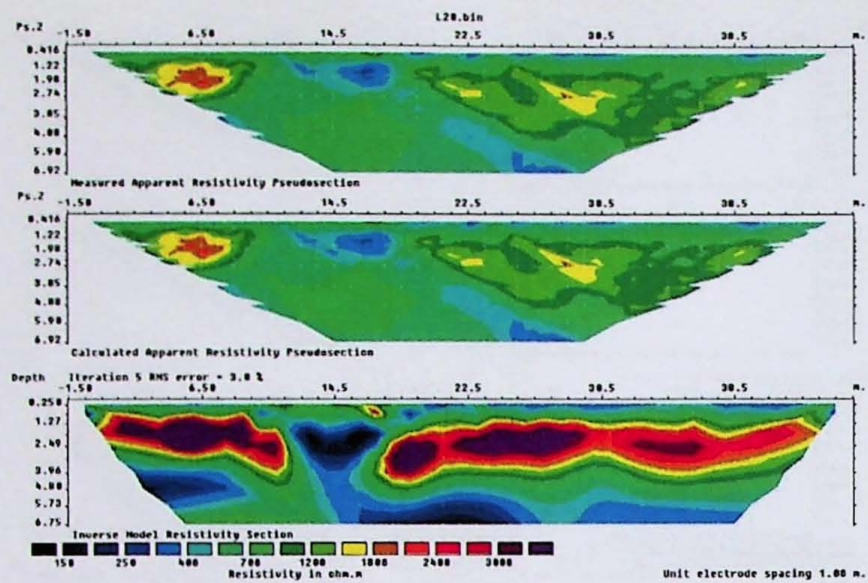
Caminhamento elétrico Linha 17 em C1, C2 e C3, respectivamente



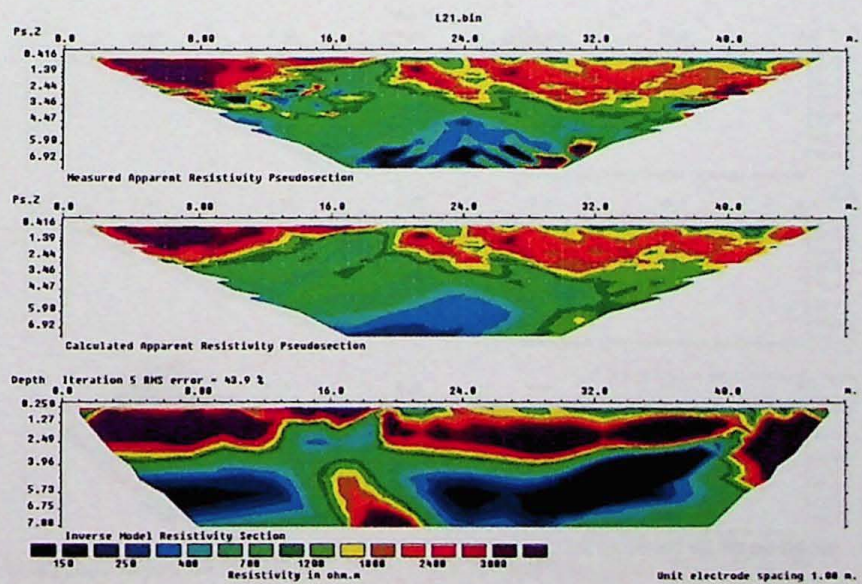
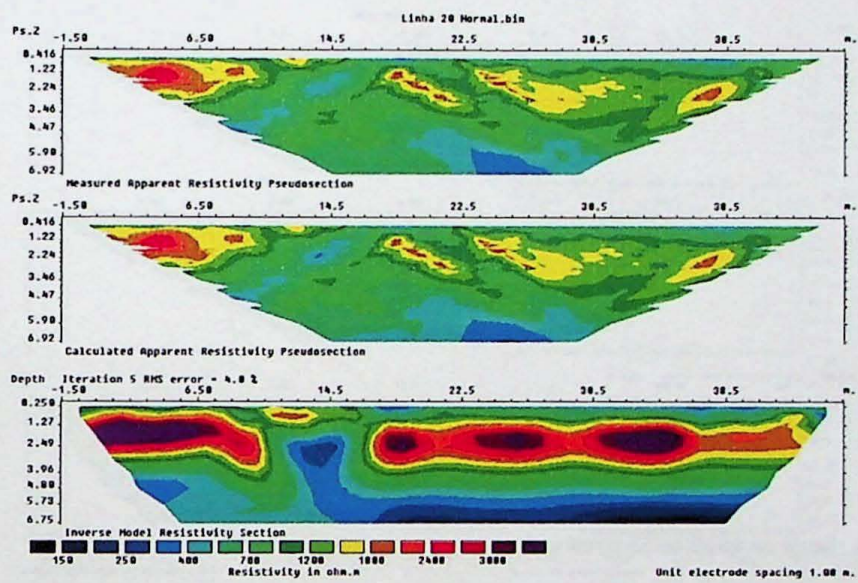
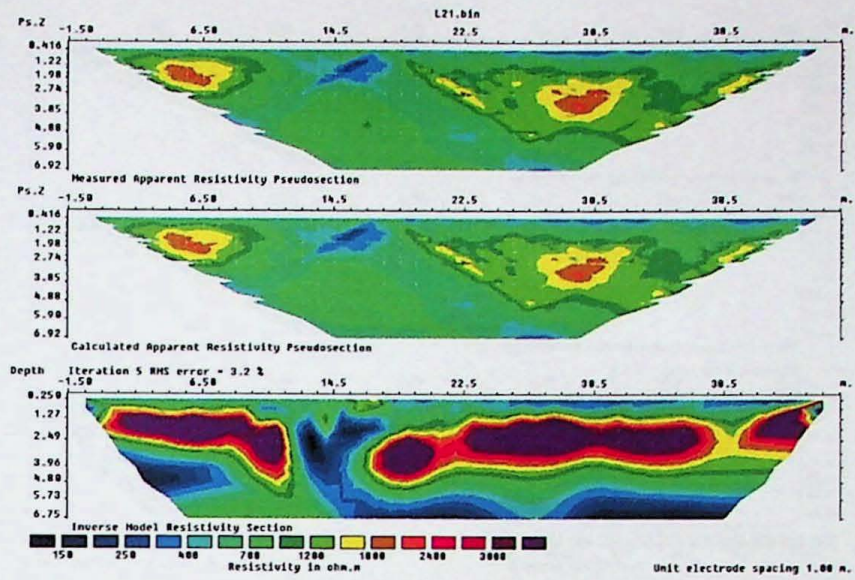
Caminhamento elétrico Linha 18 em C1, C2 e C3, respectivamente



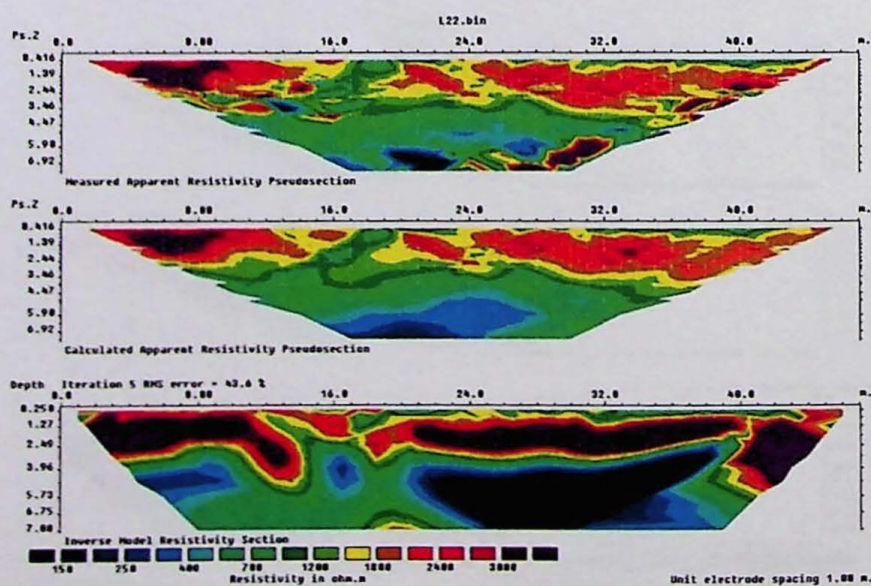
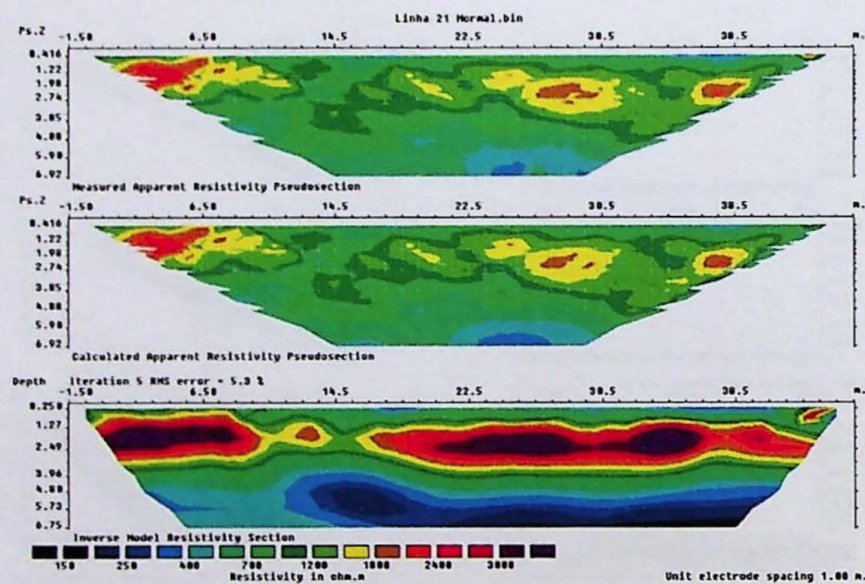
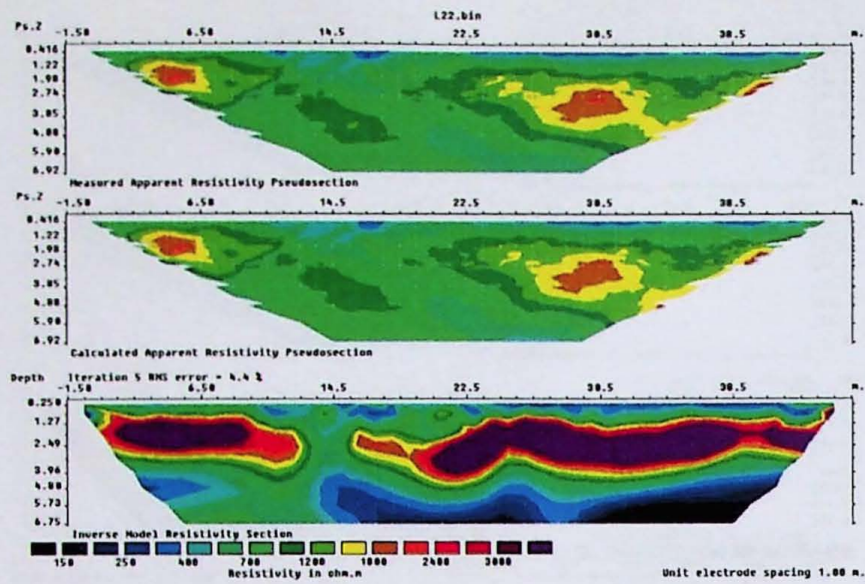
Caminhamento elétrico Linha 19 em C1, C2 e C3, respectivamente



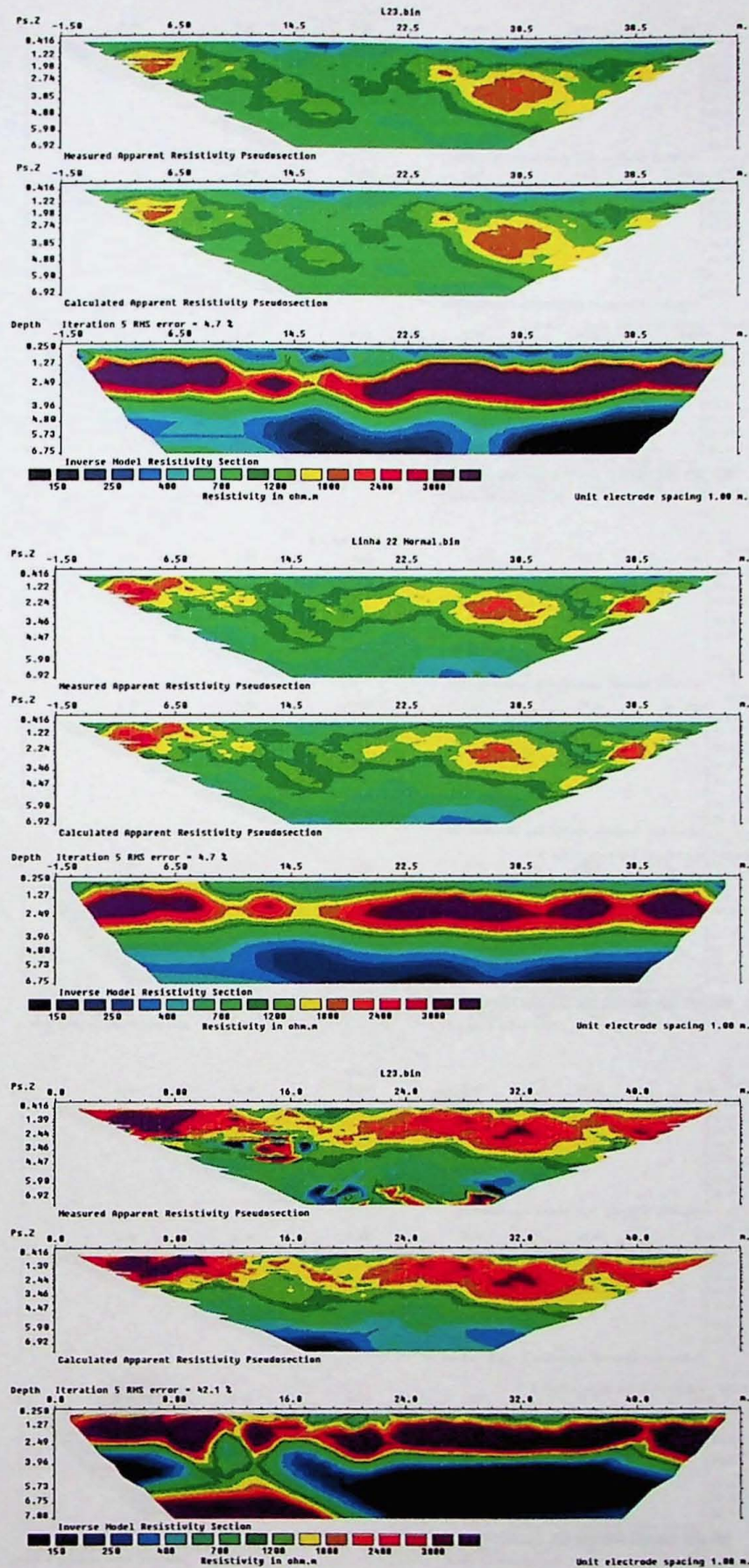
Caminhamento elétrico Linha 20 em C1, C2 e C3, respectivamente



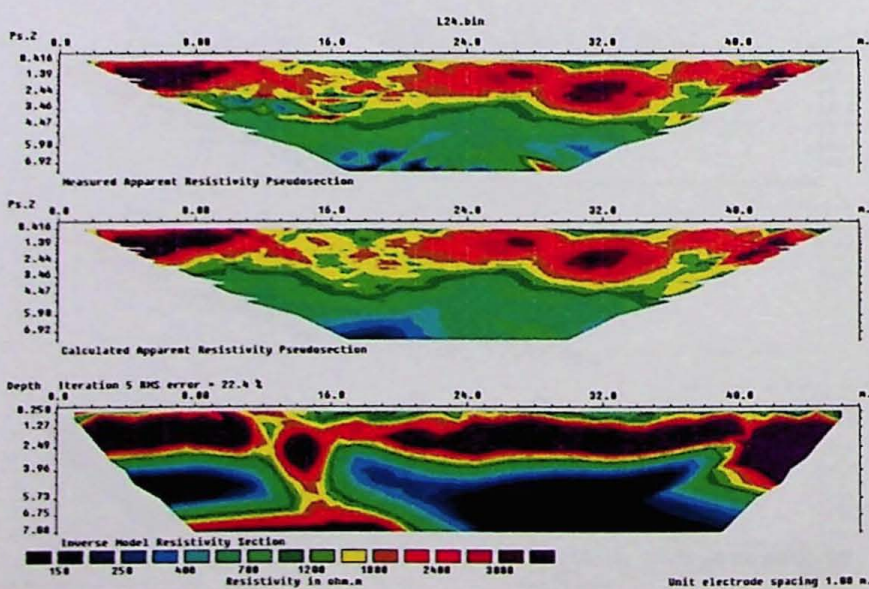
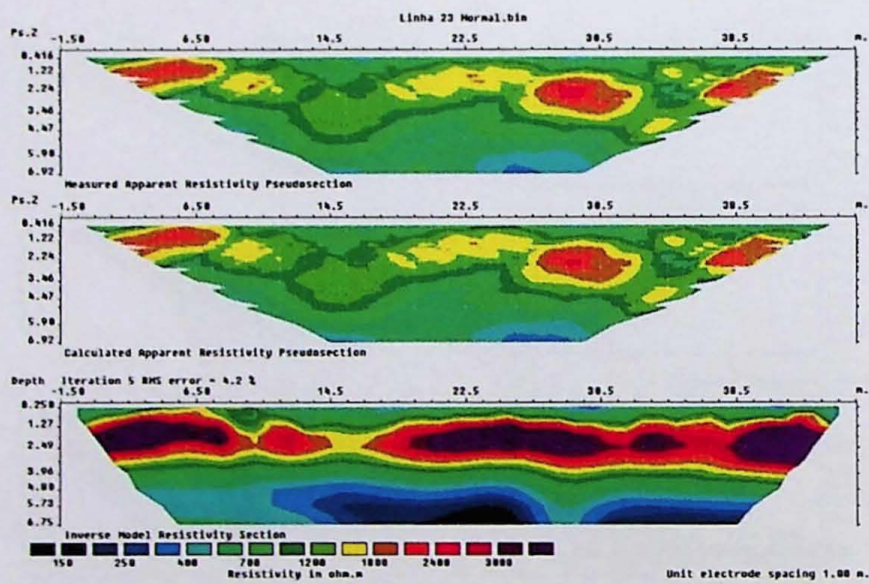
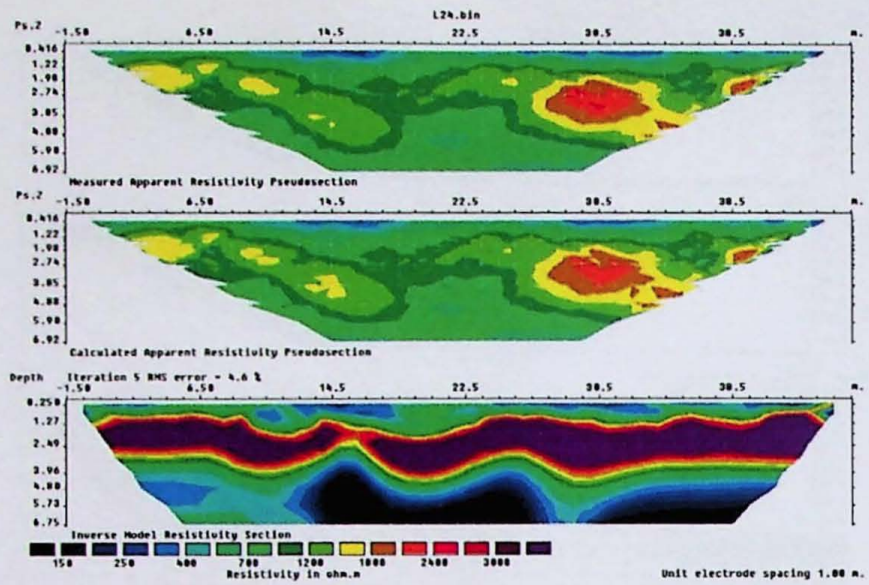
Caminhamento elétrico Linha 21 em C1, C2 e C3, respectivamente



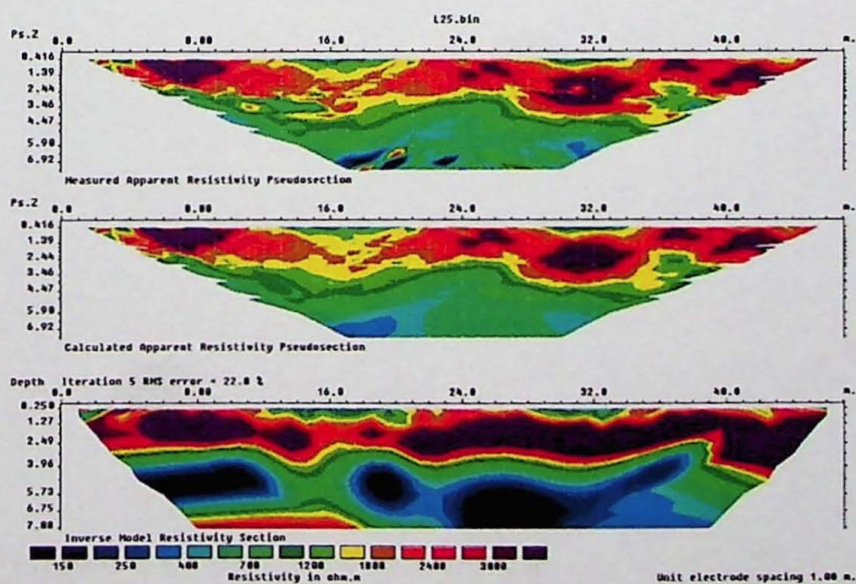
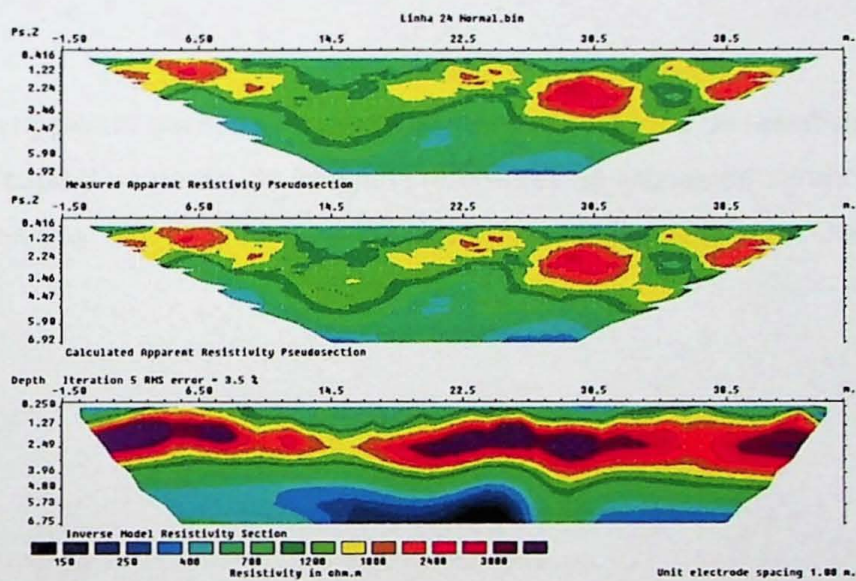
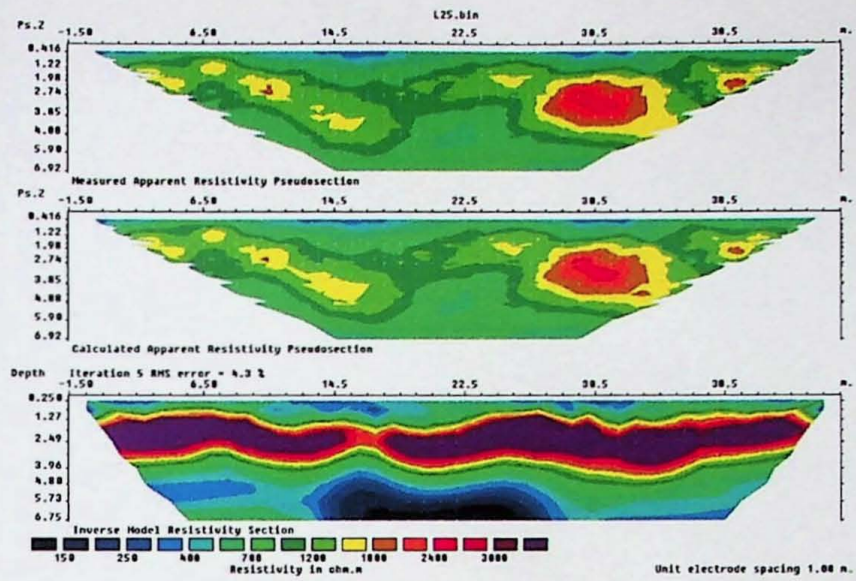
Caminhamento elétrico Linha 22 em C1, C2 e C3, respectivamente



Caminhamento elétrico Linha 23 em C1, C2 e C3, respectivamente



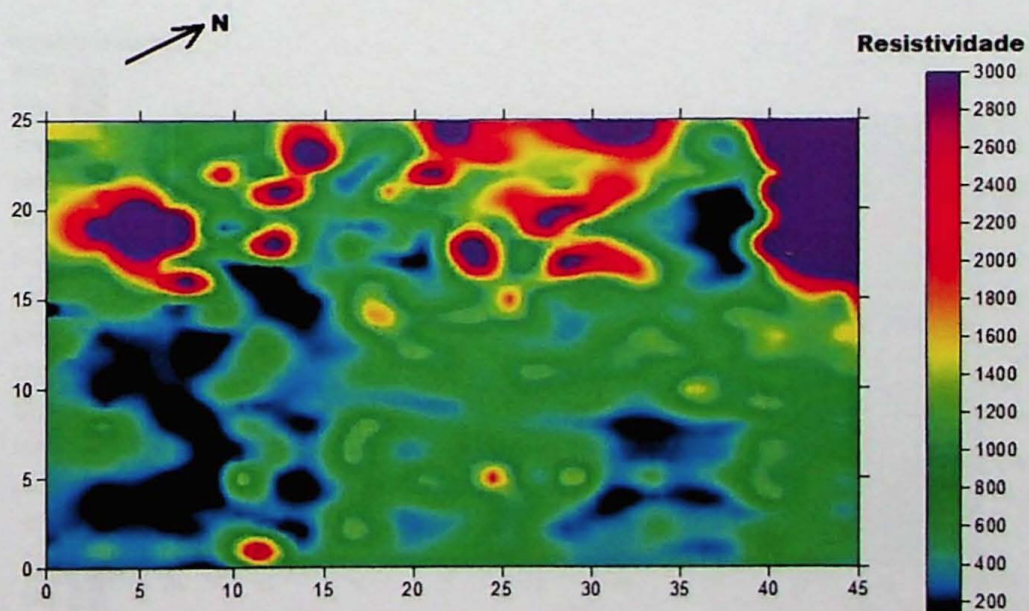
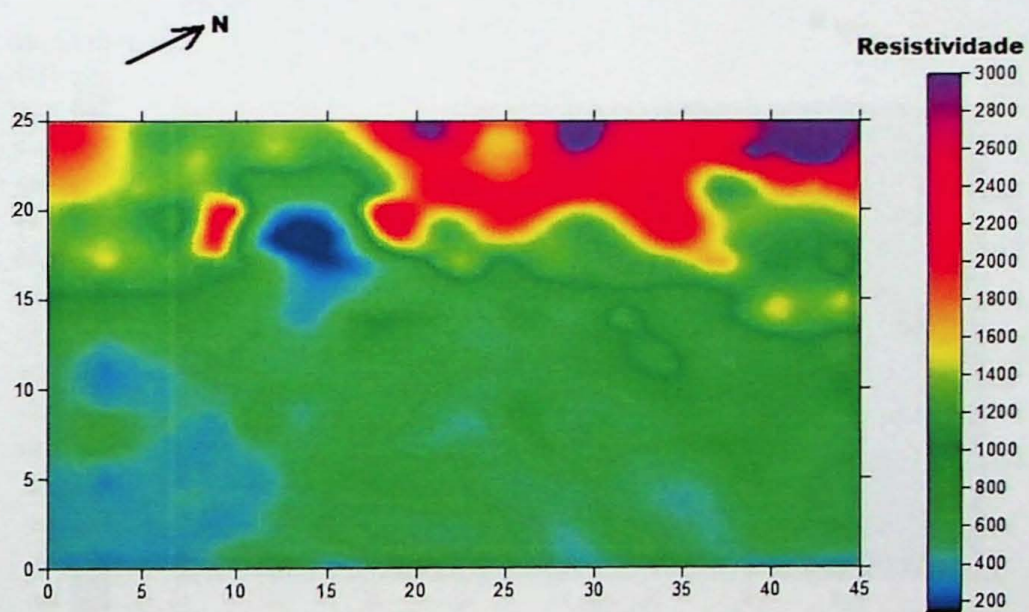
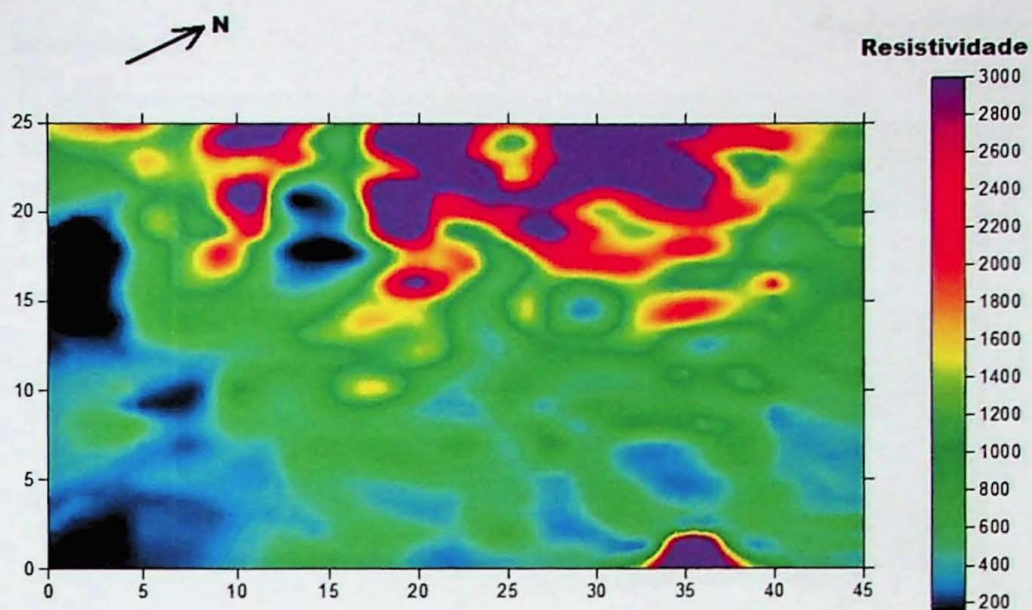
Caminhamento elétrico Linha 24 em C1, C2 e C3, respectivamente



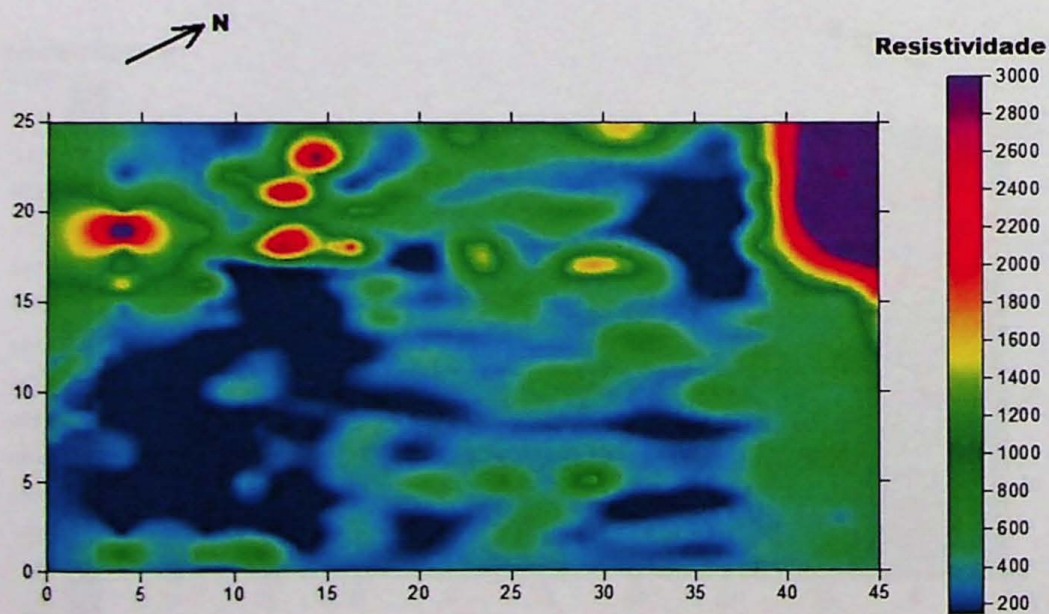
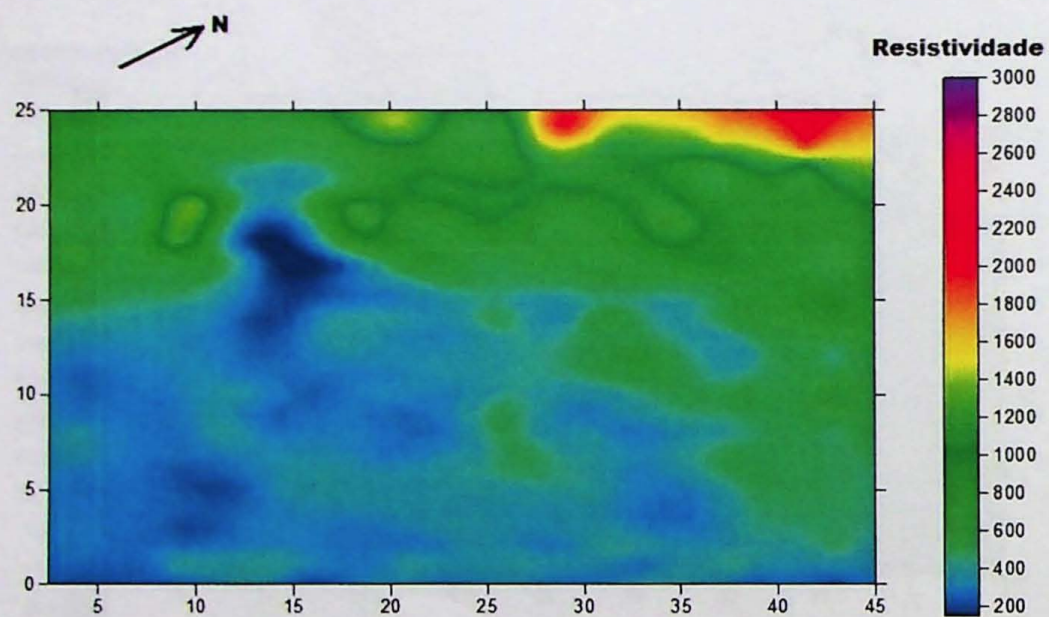
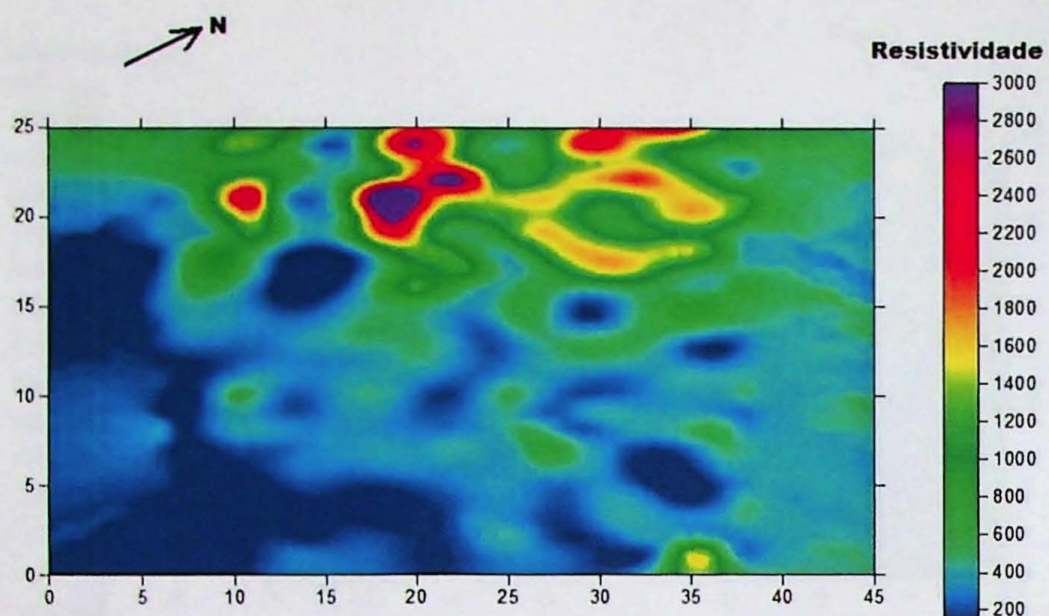
Anexo 4

Cortes em planta gerados no processamento dos dados de resistividade, sendo apresentadas, respectivamente, as imagens referentes às etapas de campo C1, C2 e C3 de cada corte, a 3,2m, 3,9m e 4,9m de profundidade (escala em Ohm.m).

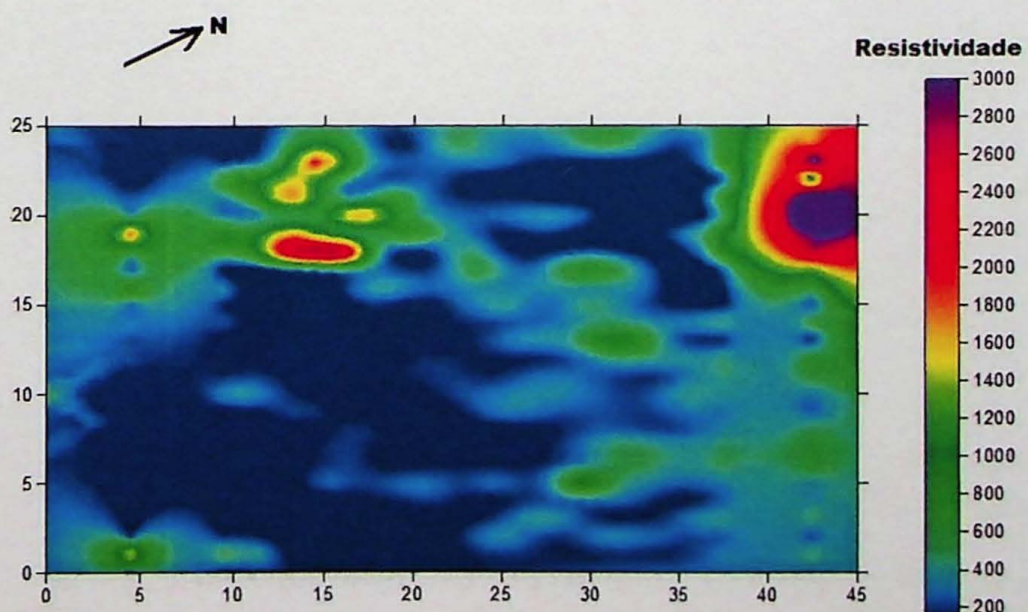
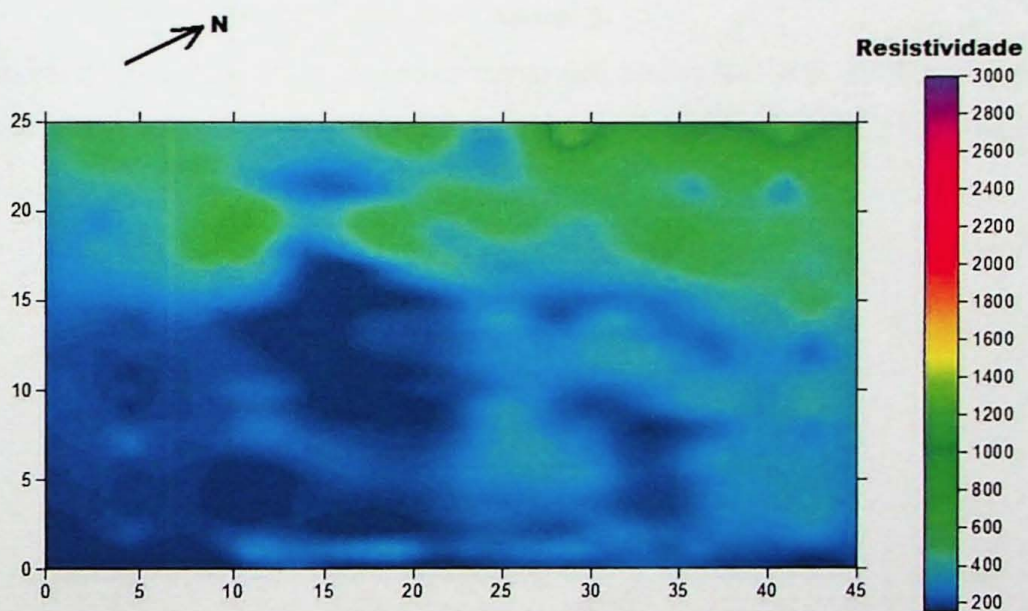
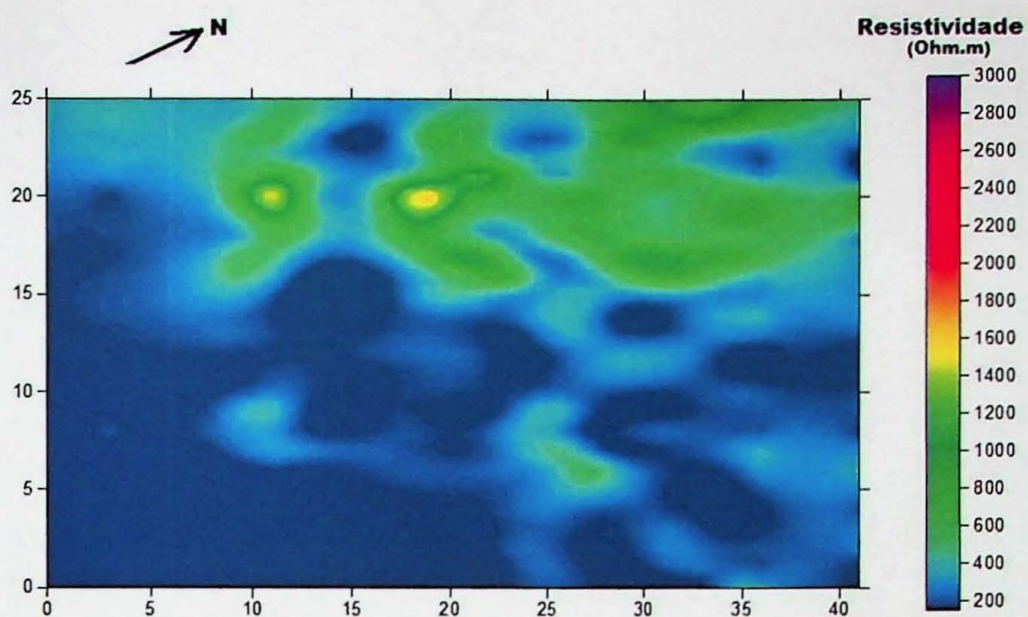
4) Cortes em planta a 3,2m de profundidade, dos campos C1, C2 e C3, respectivamente (escala em Ohm.m).



4) Corte em planta a 3,9m de profundidade, dos campos C1, C2 e C3, respectivamente (escala em Ohm.m).



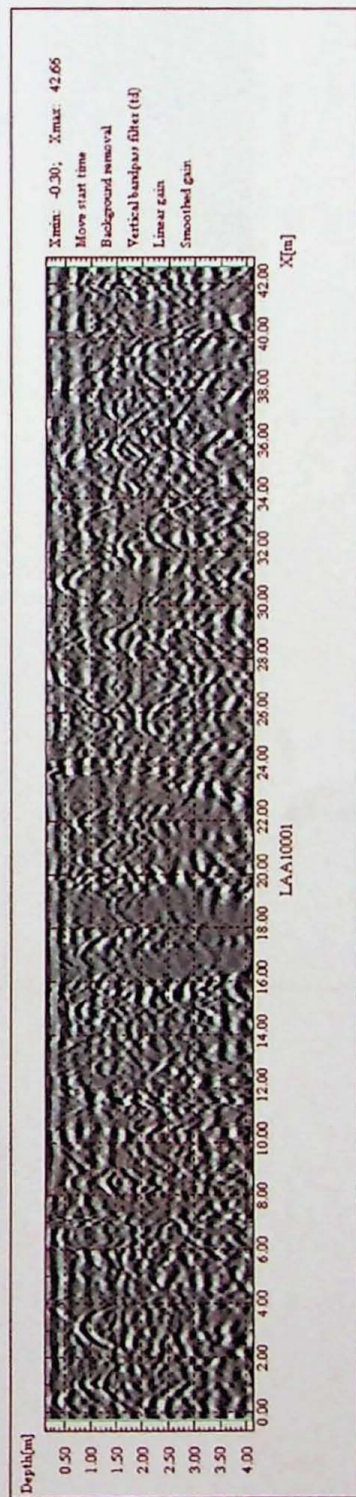
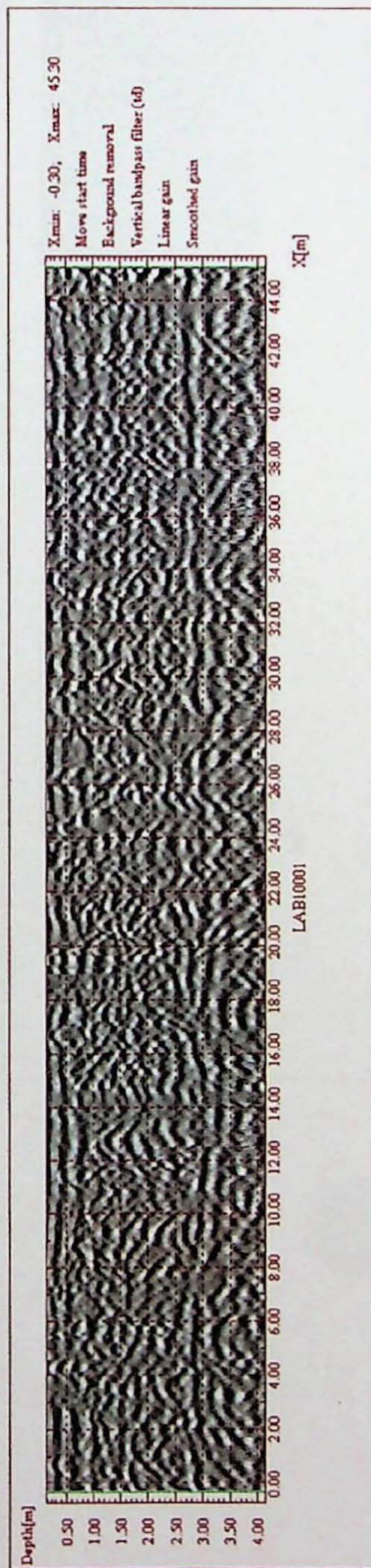
4) Corte em planta a 4,9m de profundidade dos campos C1, C2 e C3, respectivamente (escala em Ohm.m).



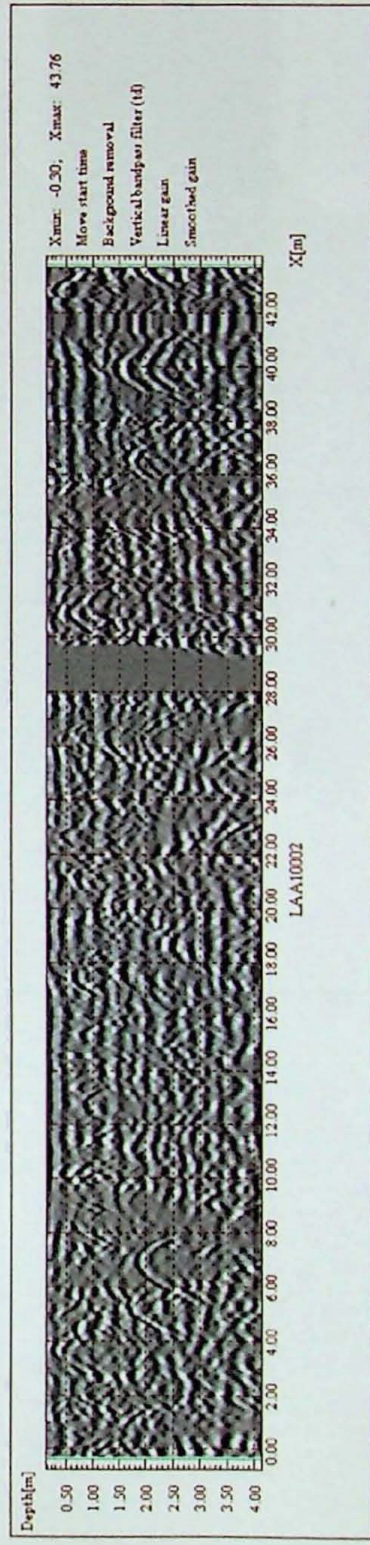
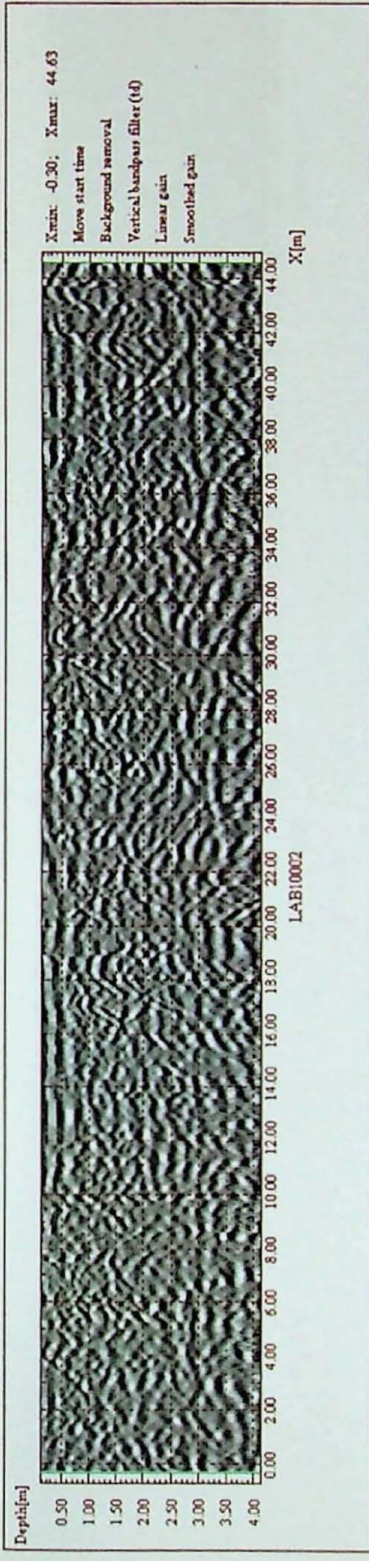
Anexo 5

Perfis verticais gerados no processamento dos dados de GPR, sendo apresentadas, respectivamente, as imagens referentes às etapas de campo C1, C2 e C3 de cada linha.

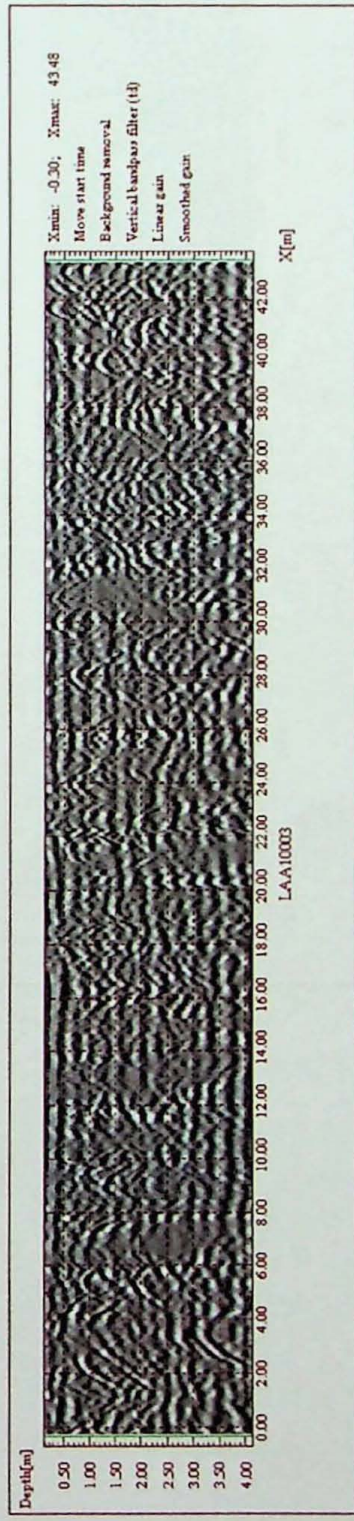
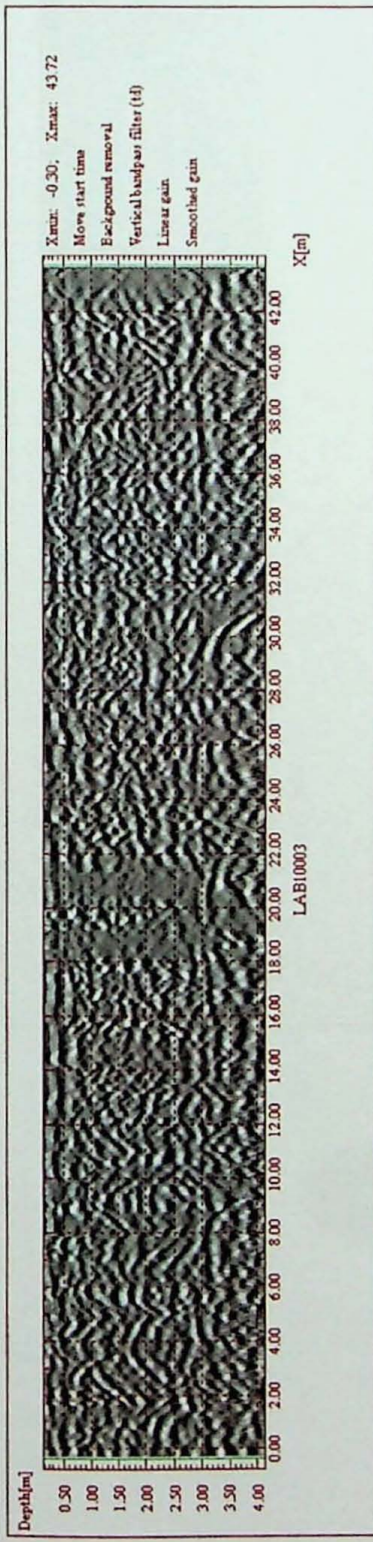
Perfis L00 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



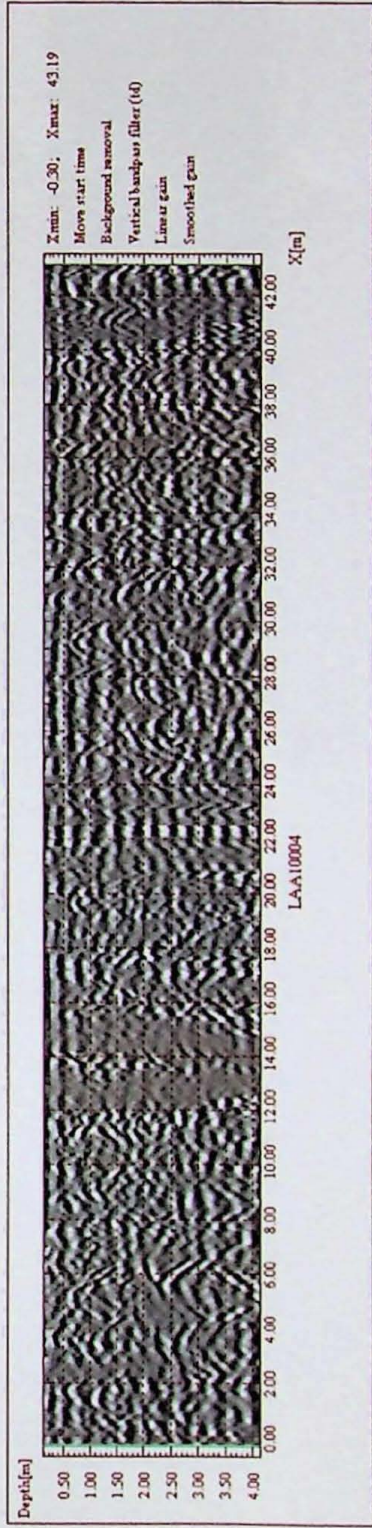
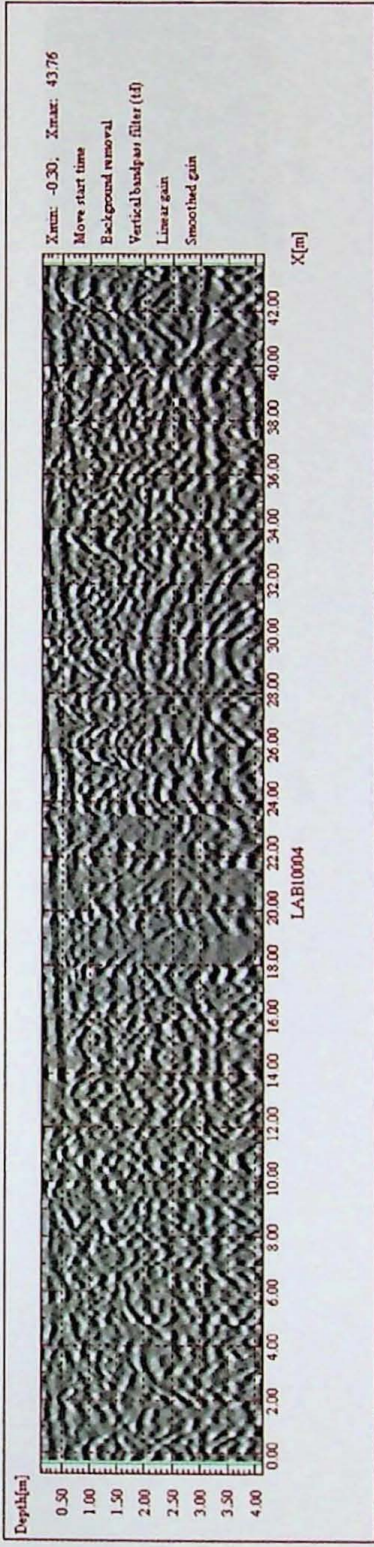
Perfis L01 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



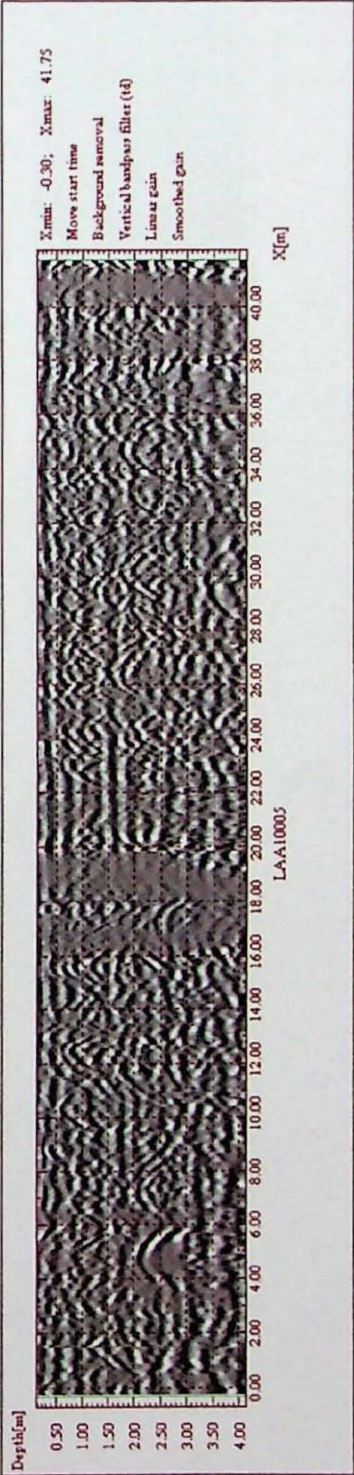
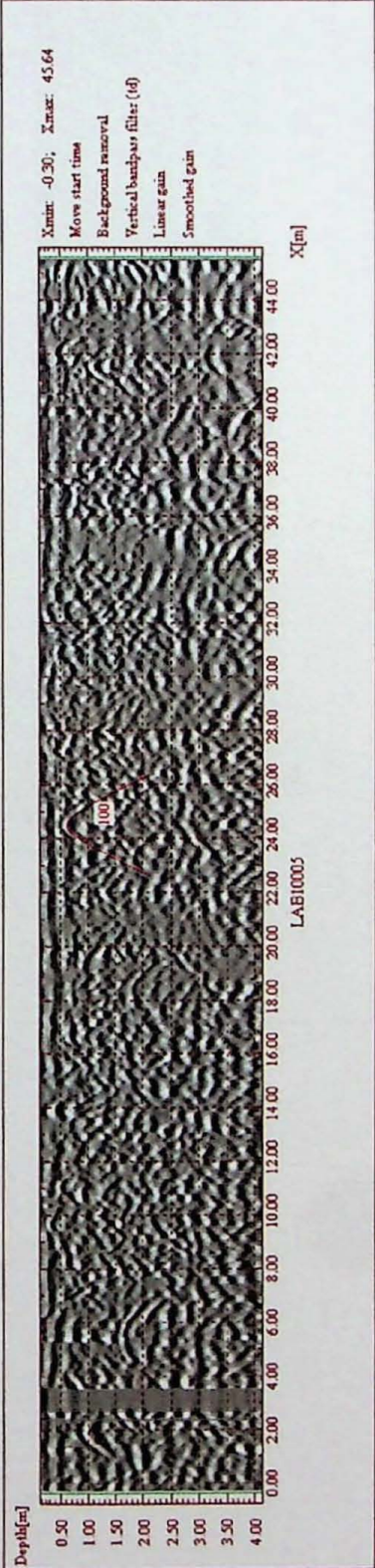
Perfis L02 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



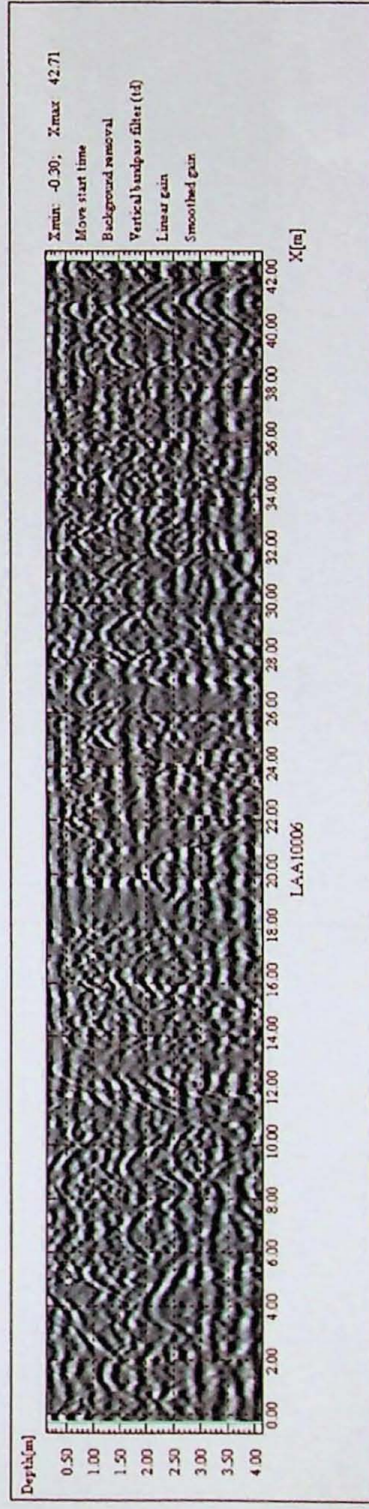
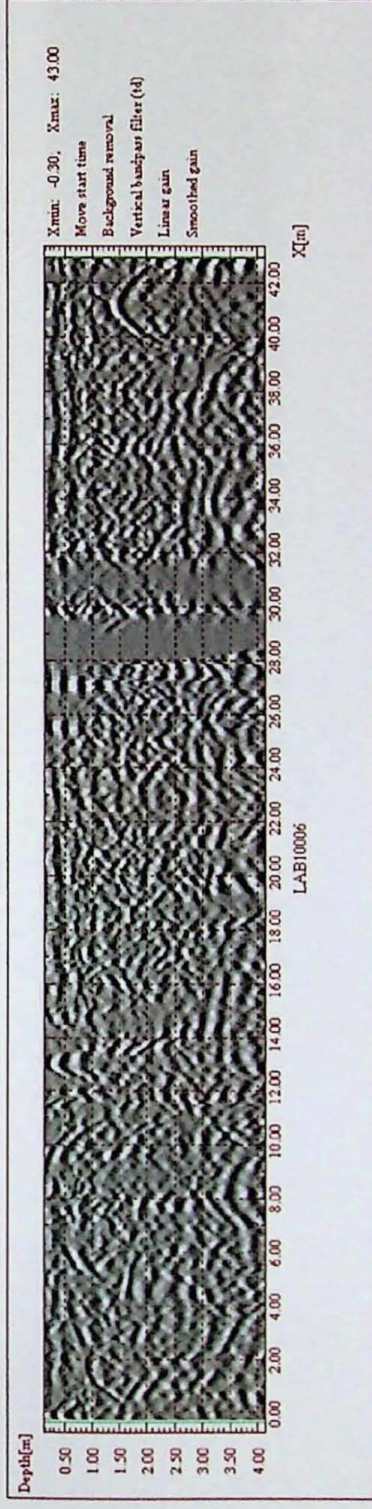
Perfis L03 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



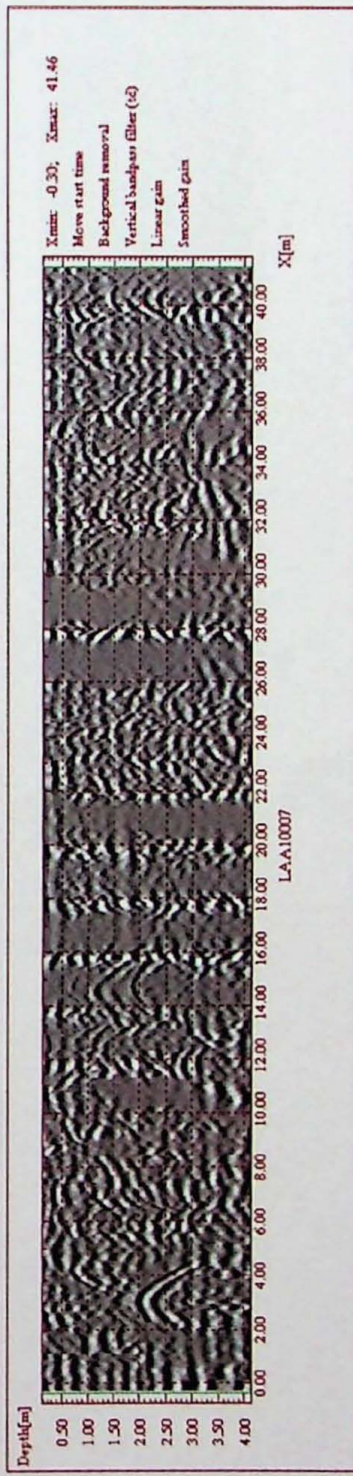
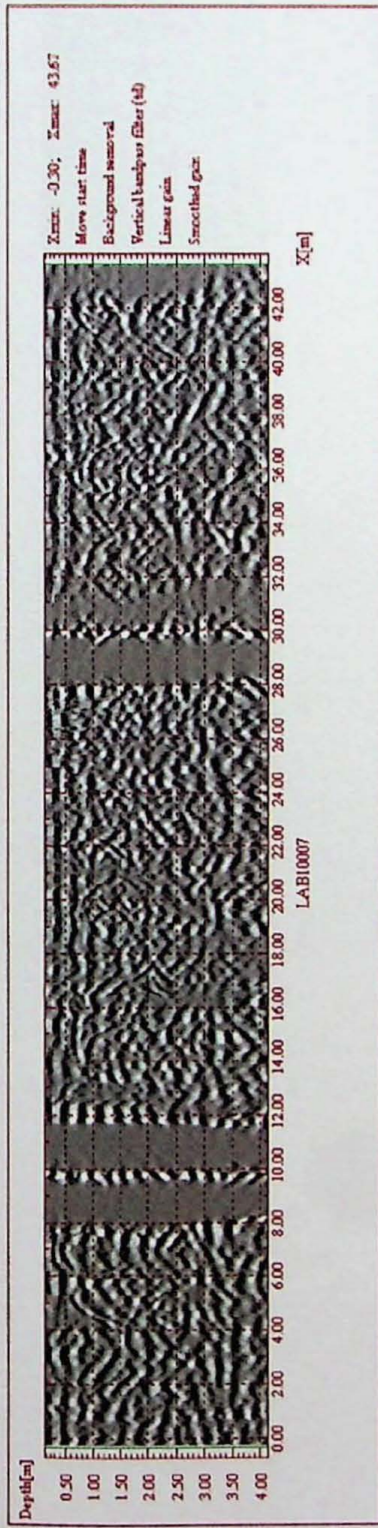
Perfis L04 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



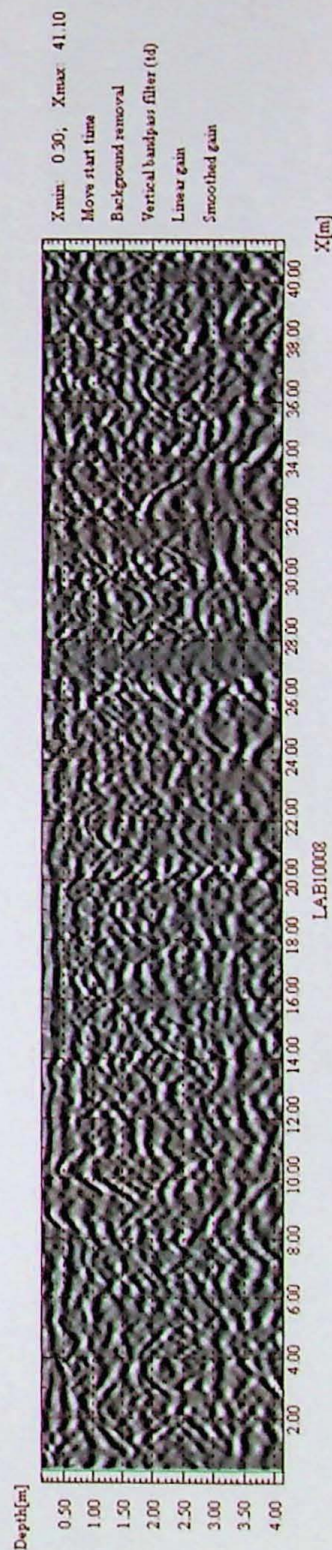
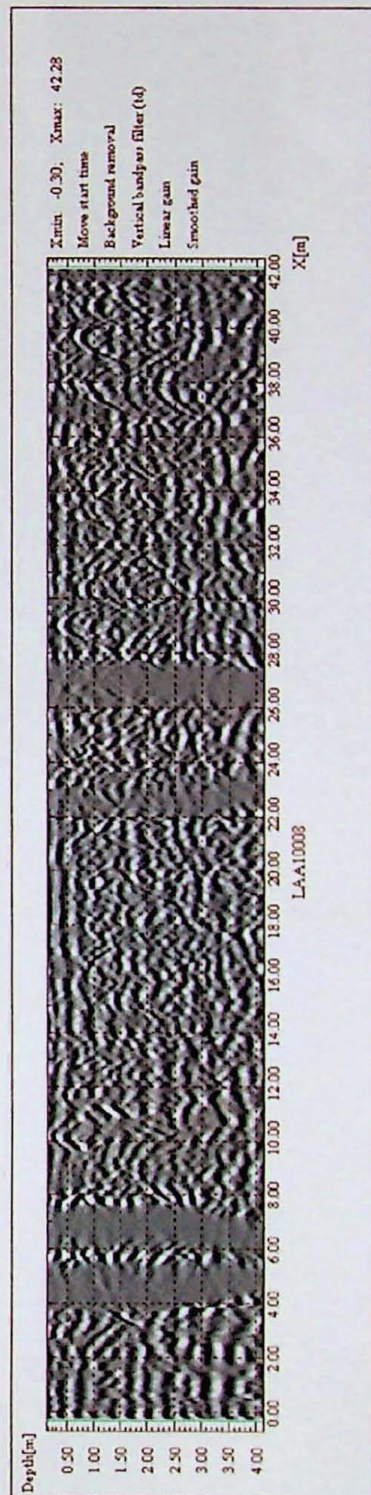
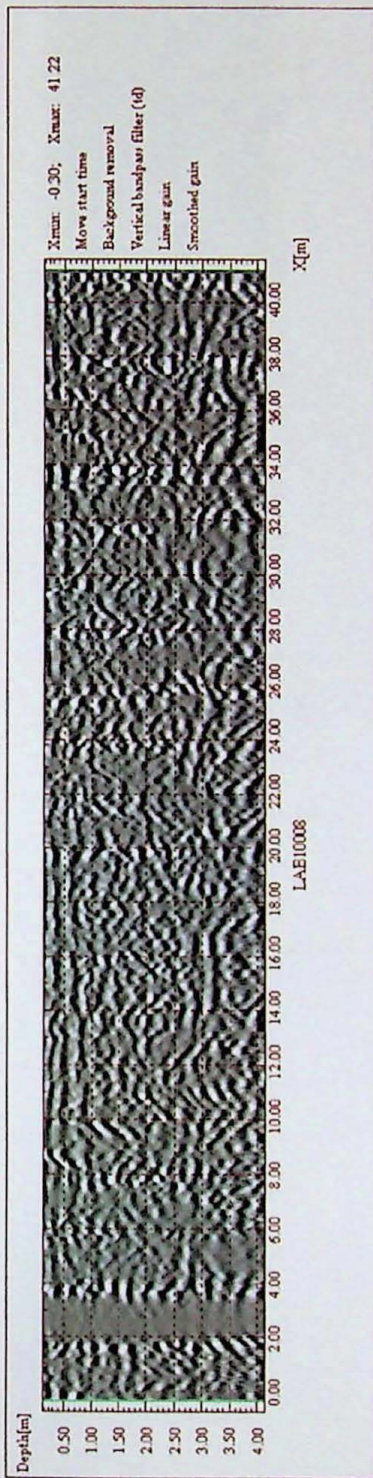
Perfis L05 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



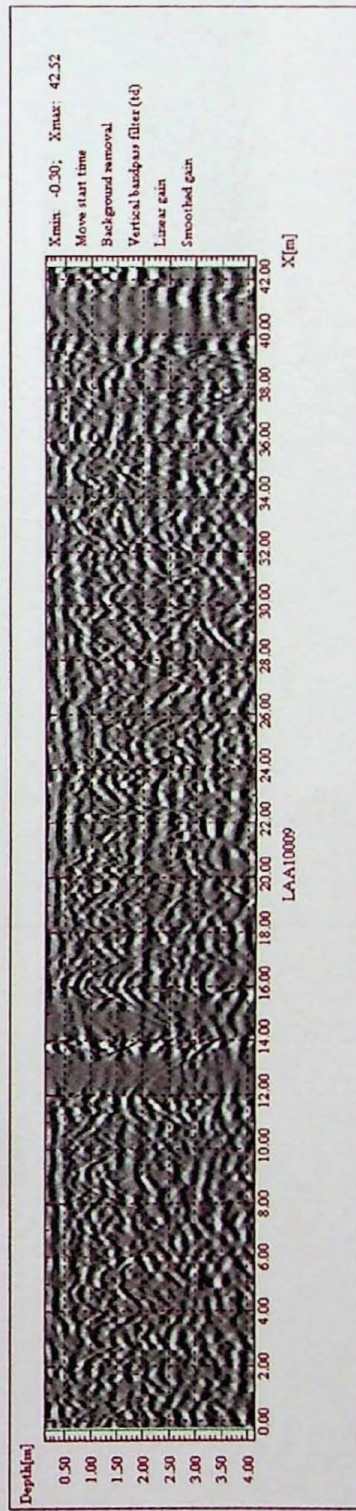
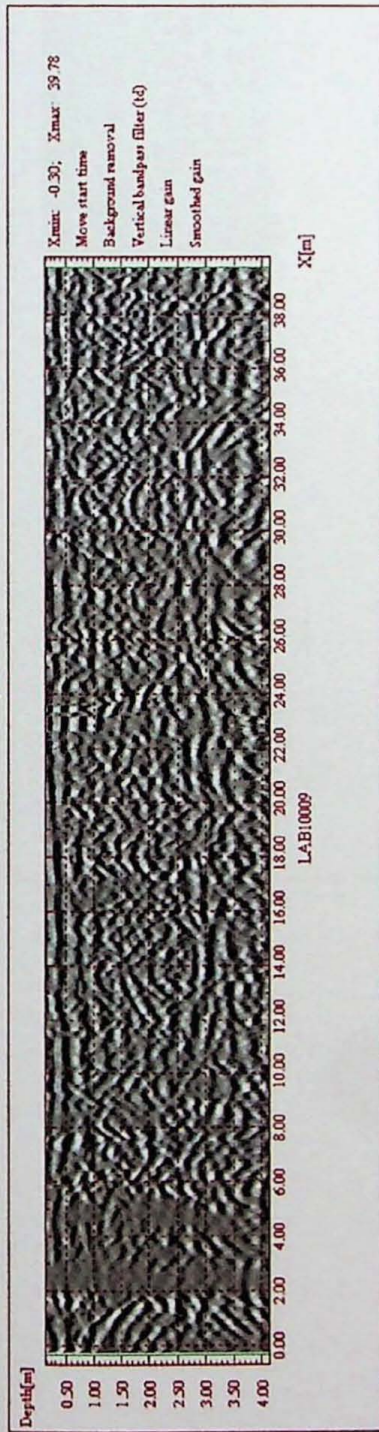
Perfis L06 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



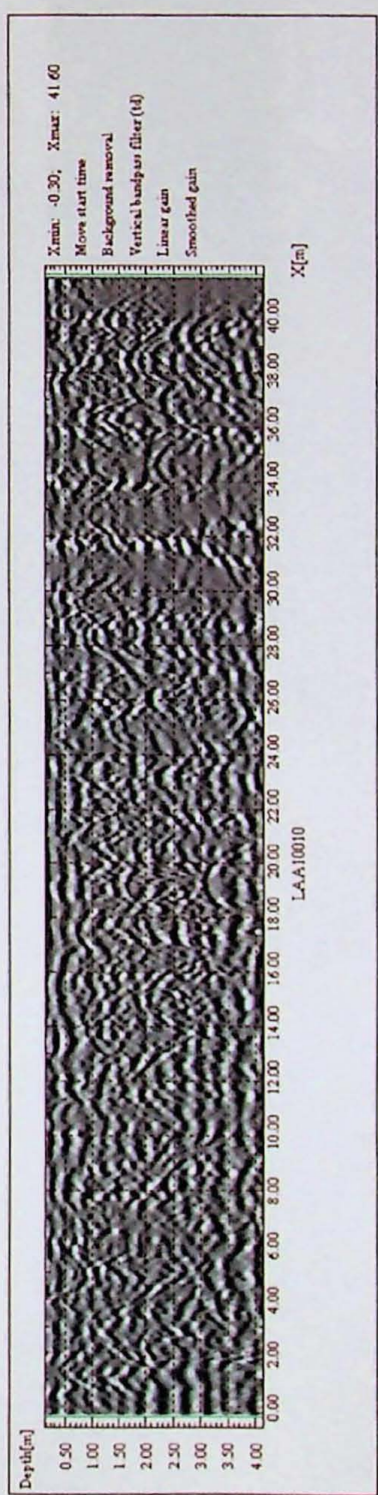
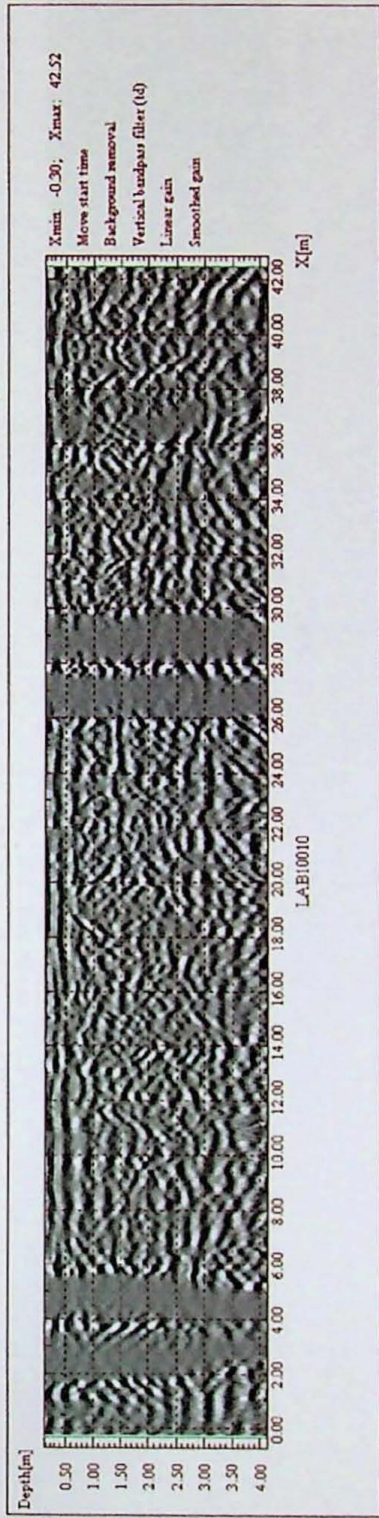
Perfis L07 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



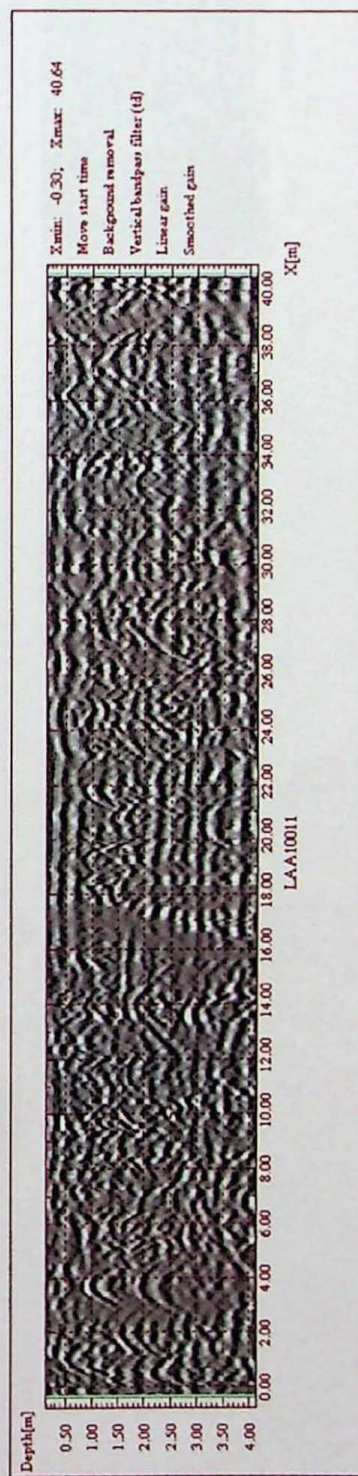
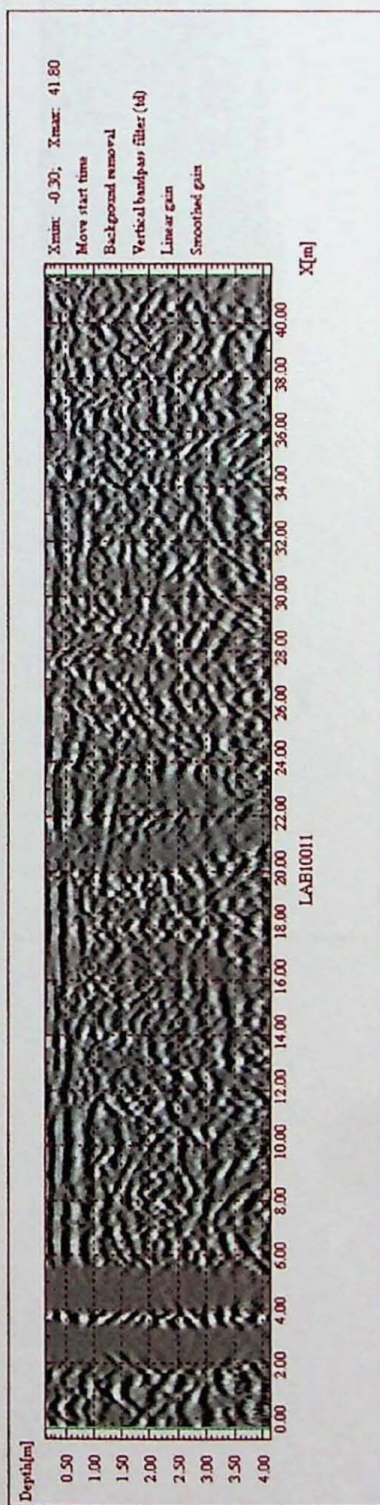
Perfis L08 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



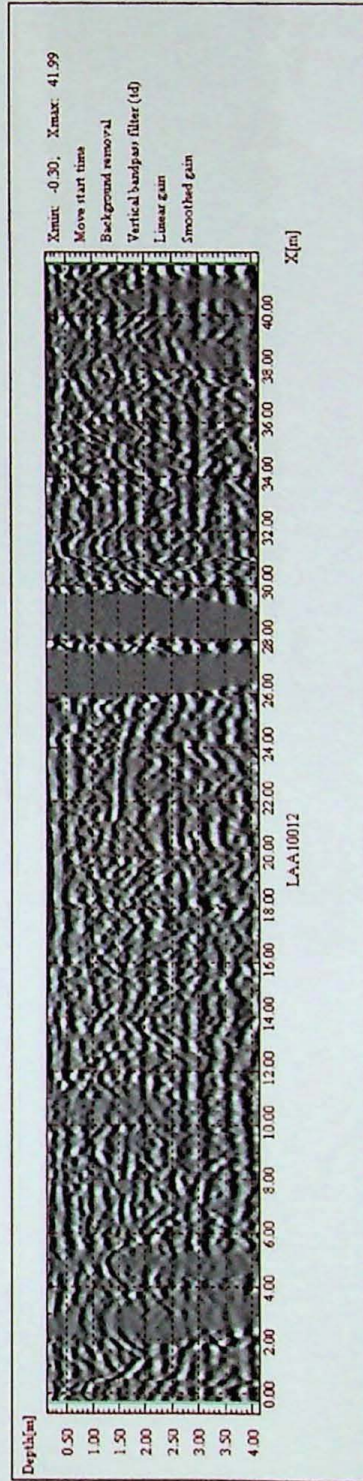
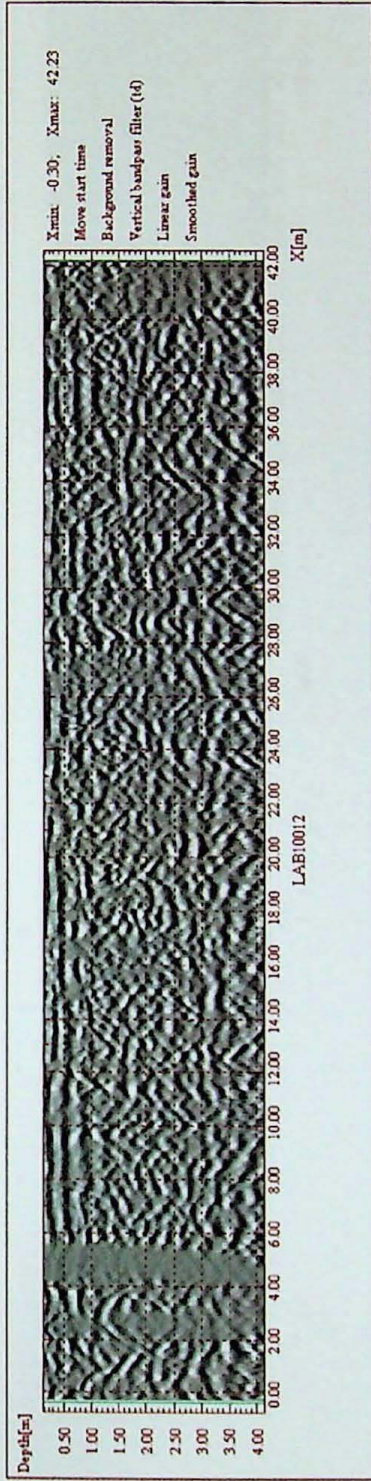
Perfis L09 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



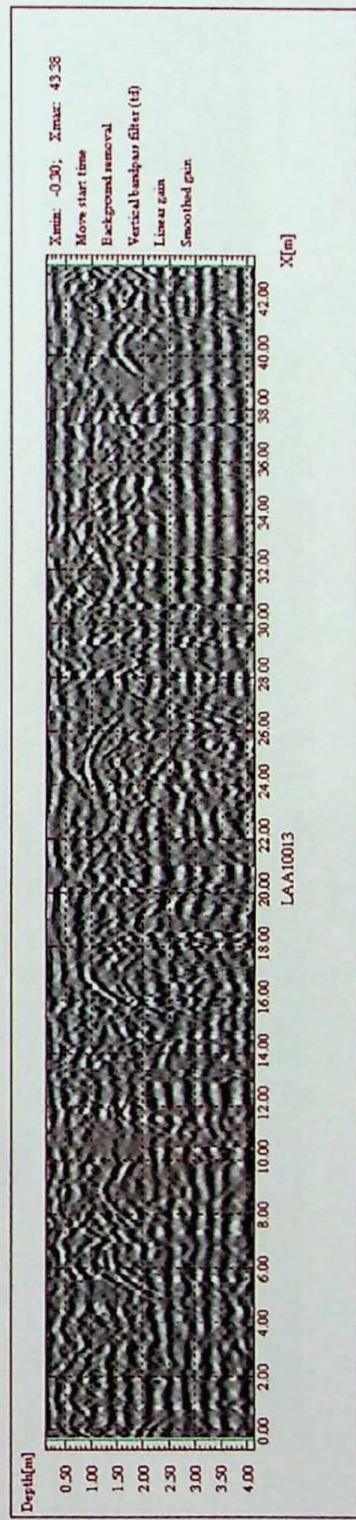
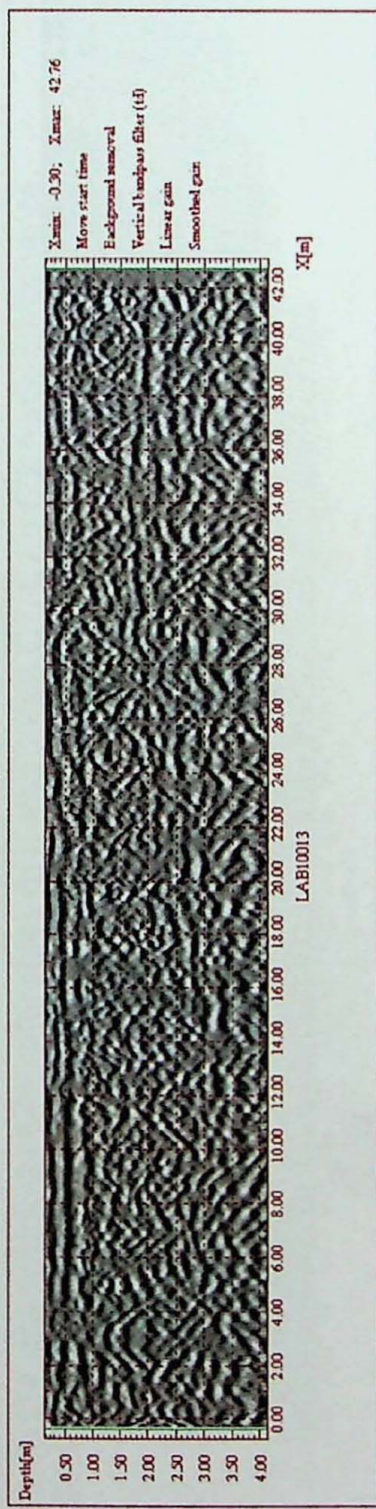
Perfis L10 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



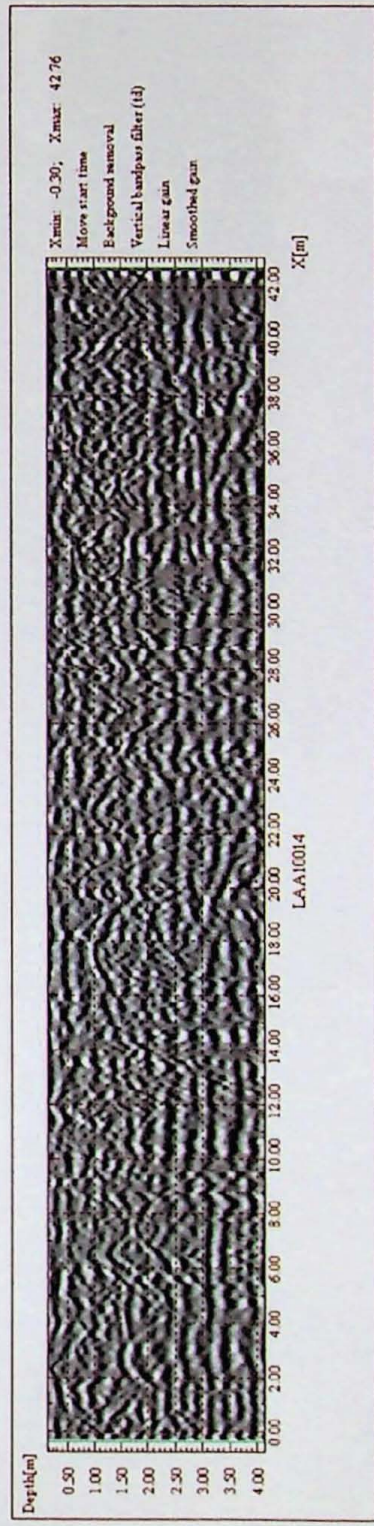
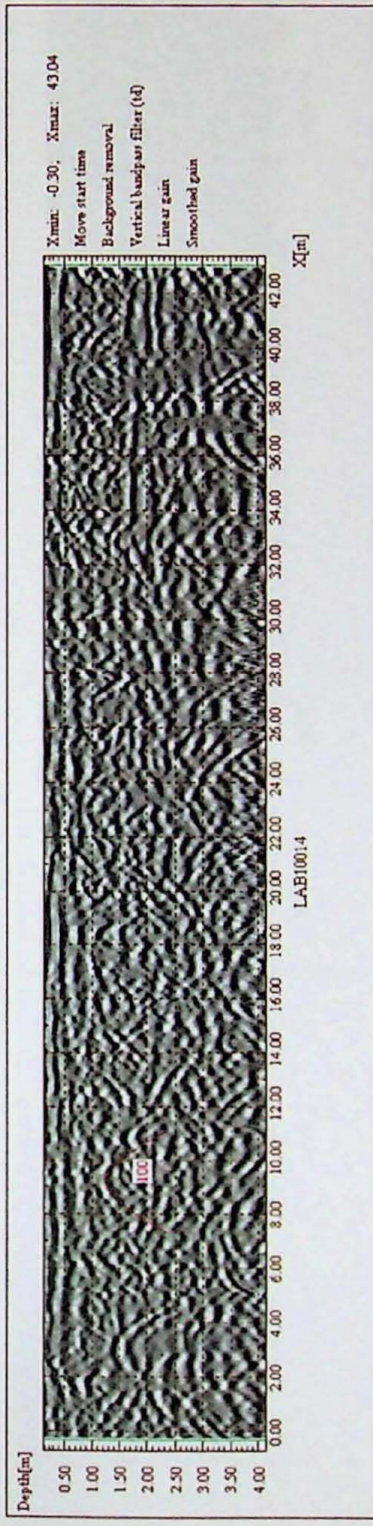
Perfis L11 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



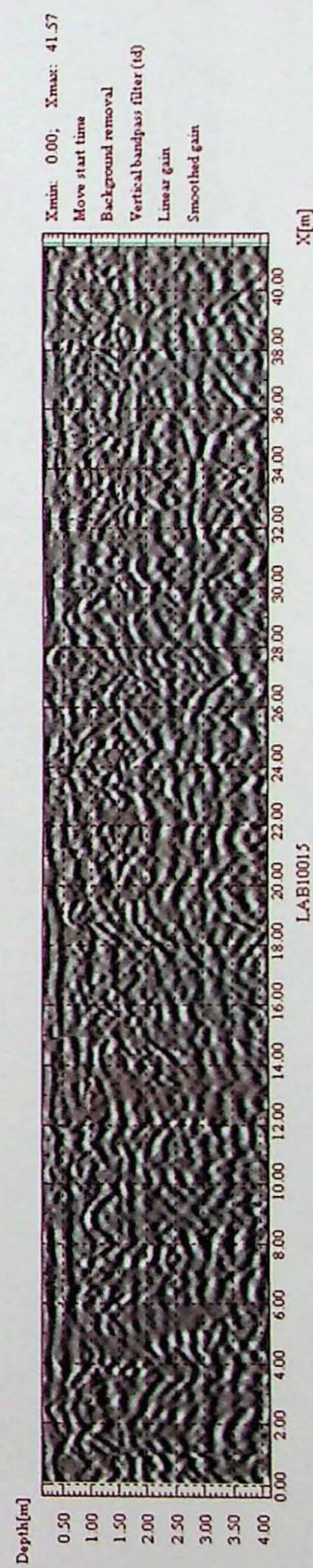
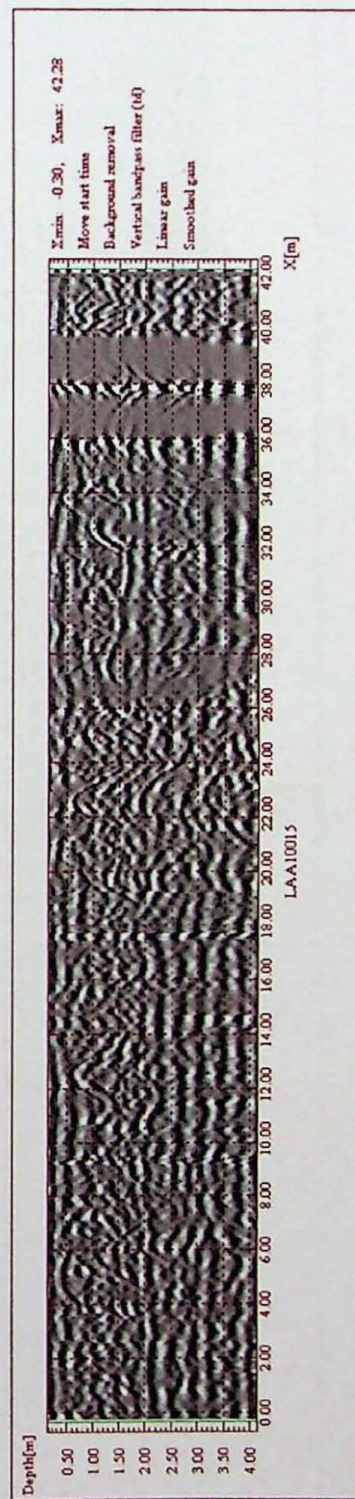
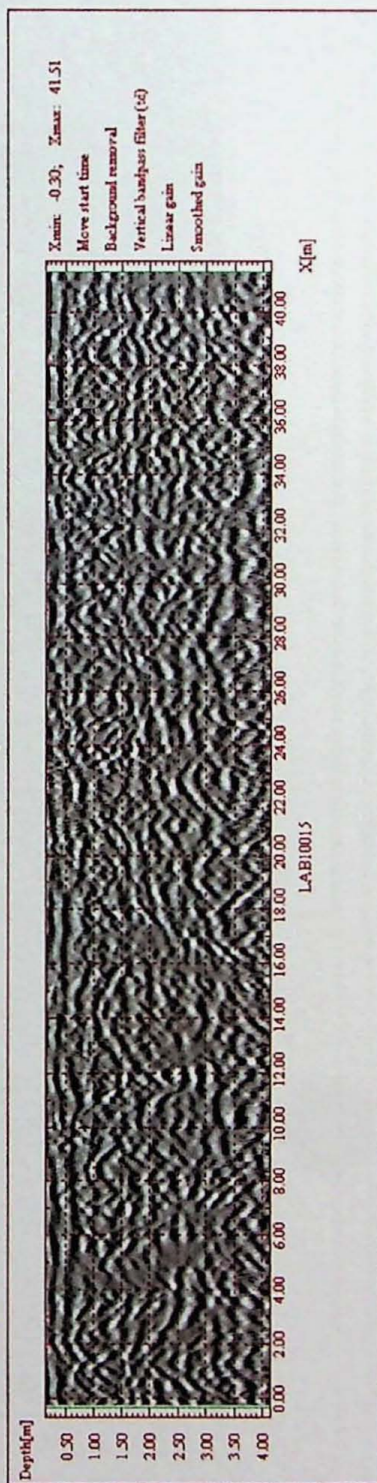
Perfis L12 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



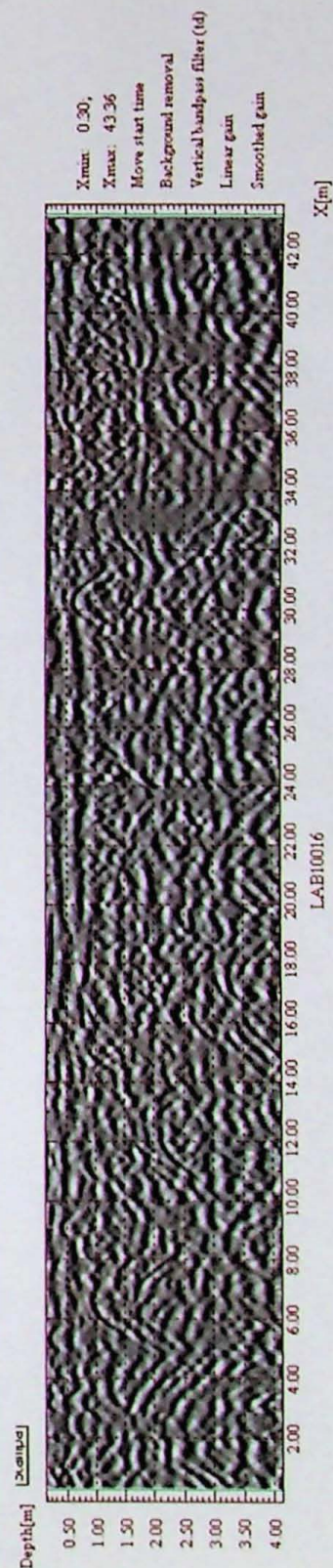
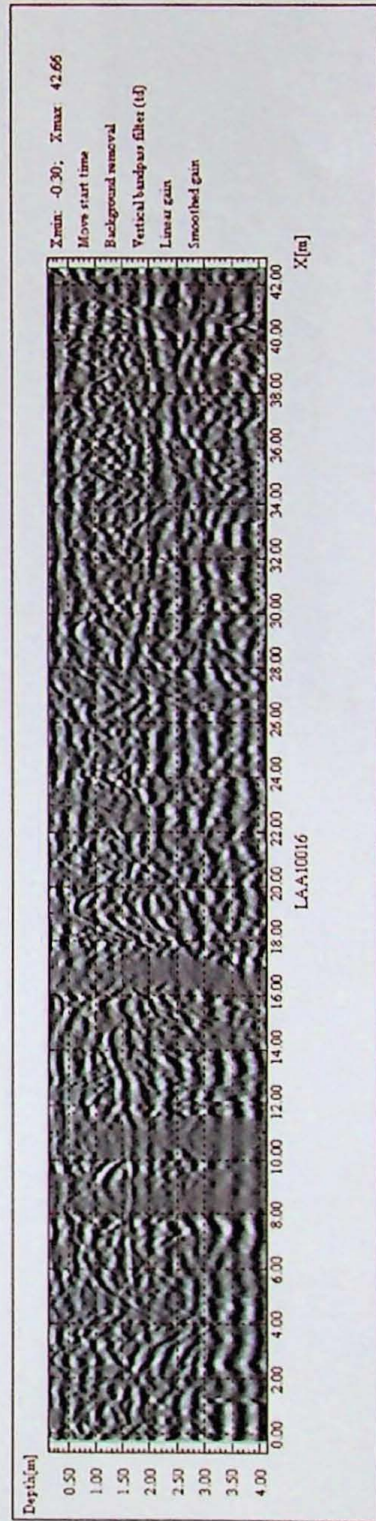
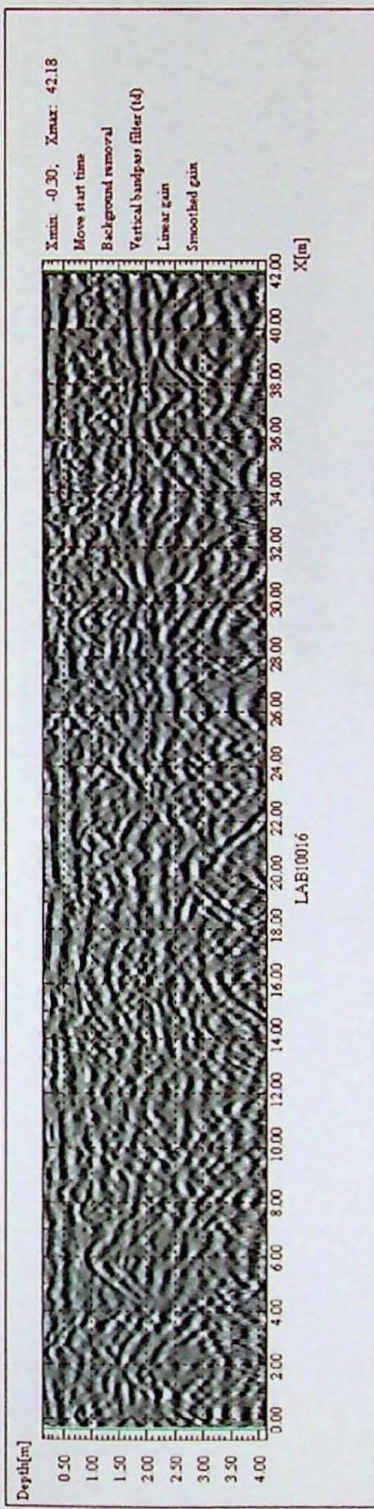
Perfis L13 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



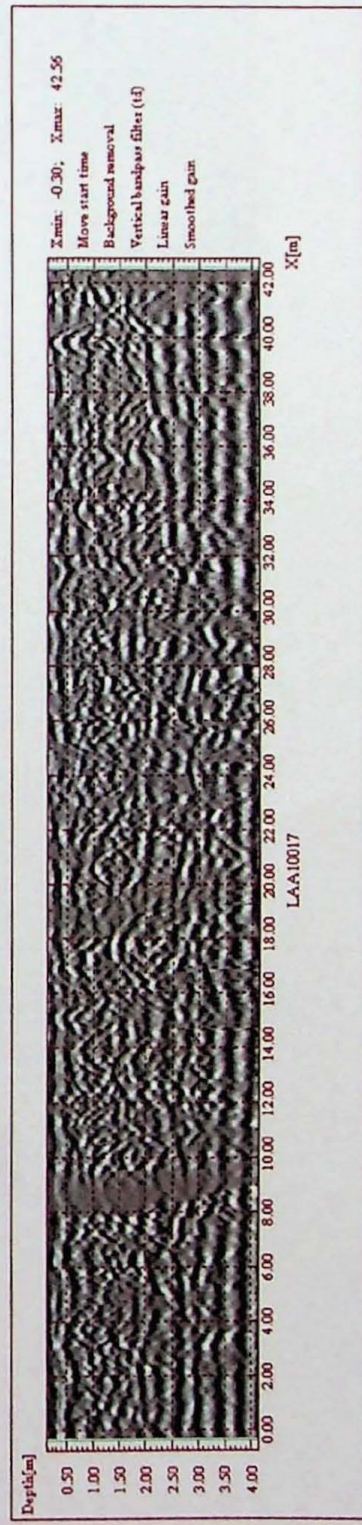
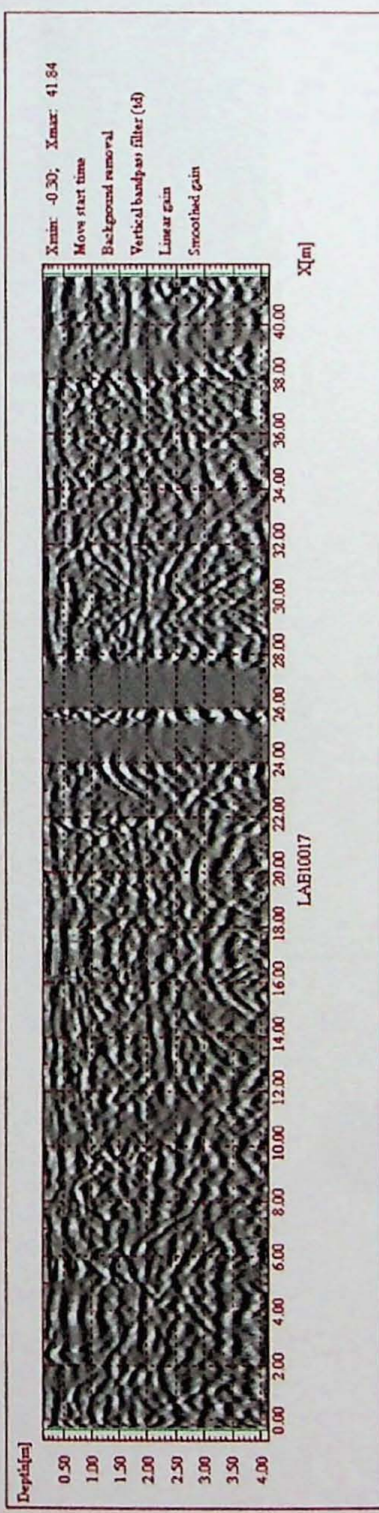
Perfis L14 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



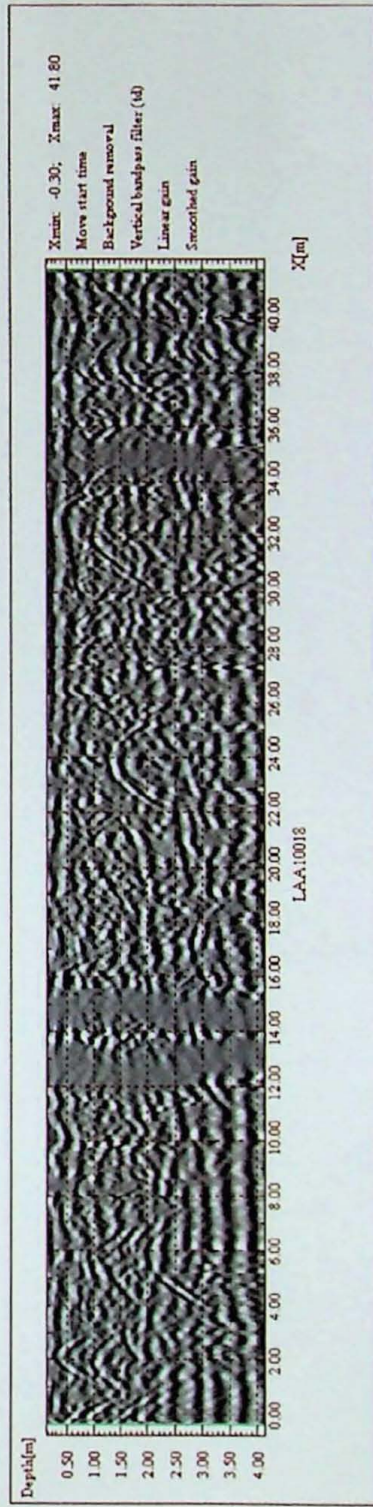
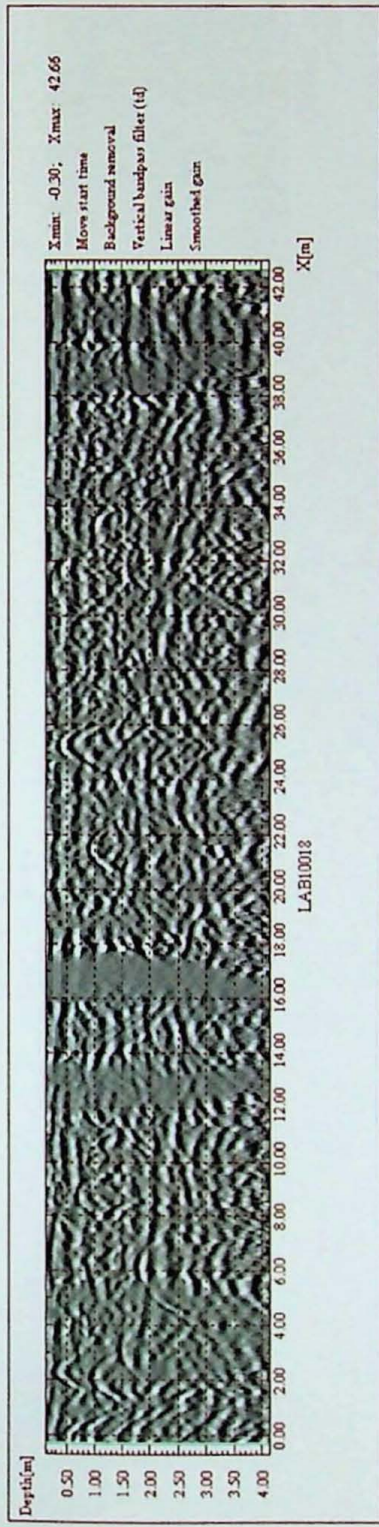
Perfis L15 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



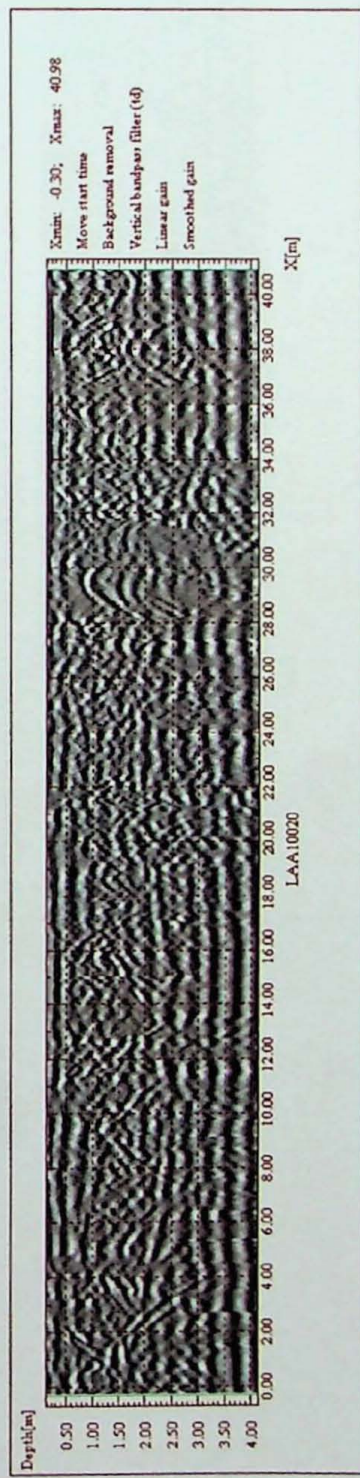
Perfis L16 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



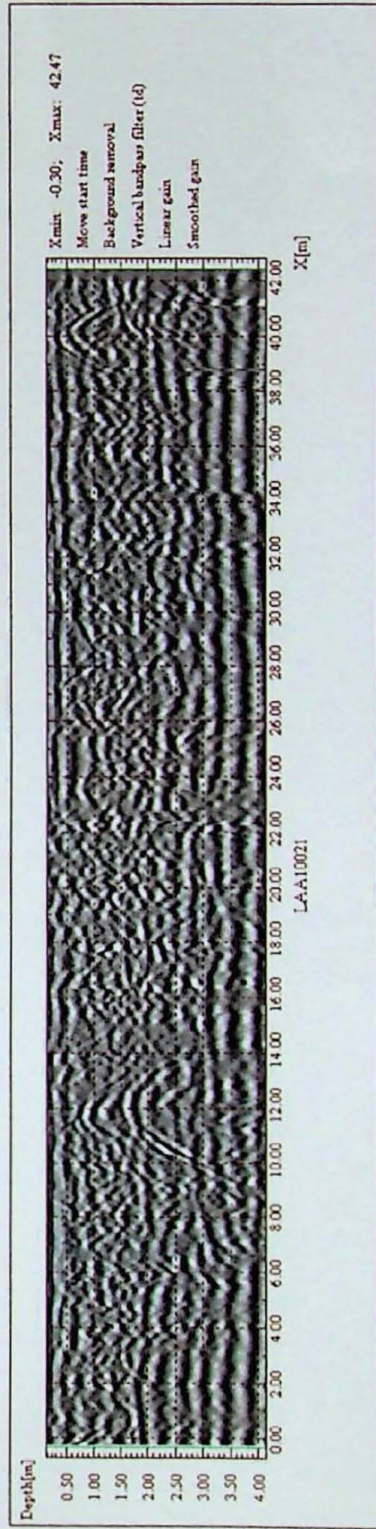
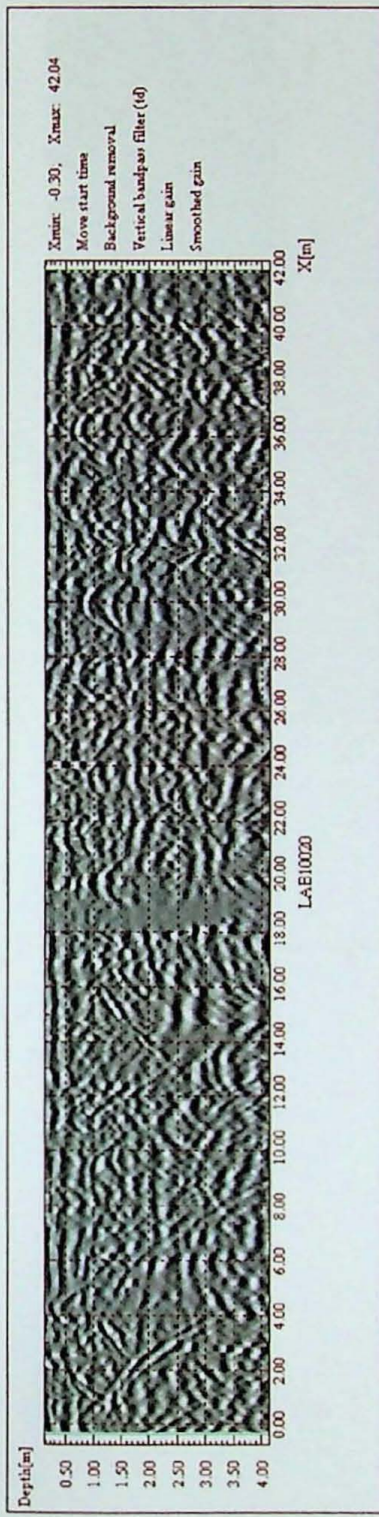
Perfis L17 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



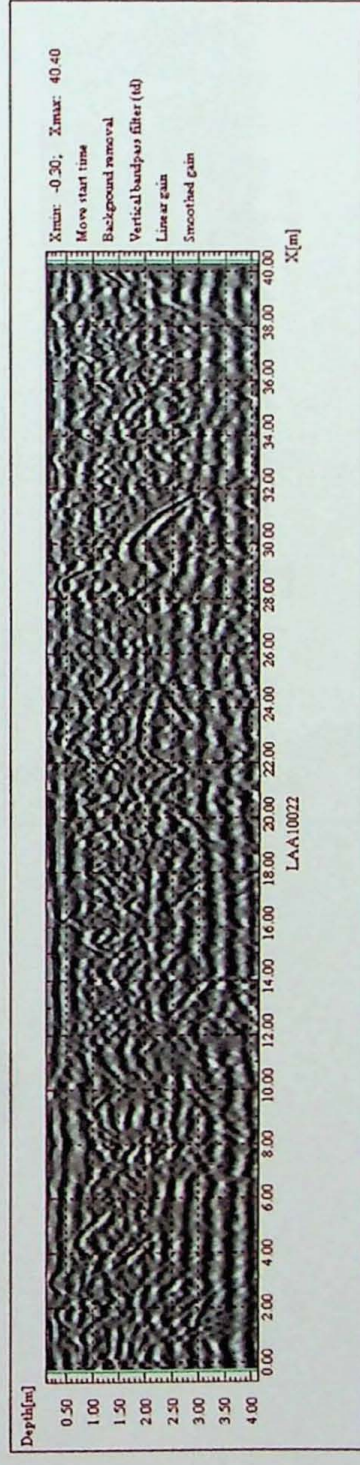
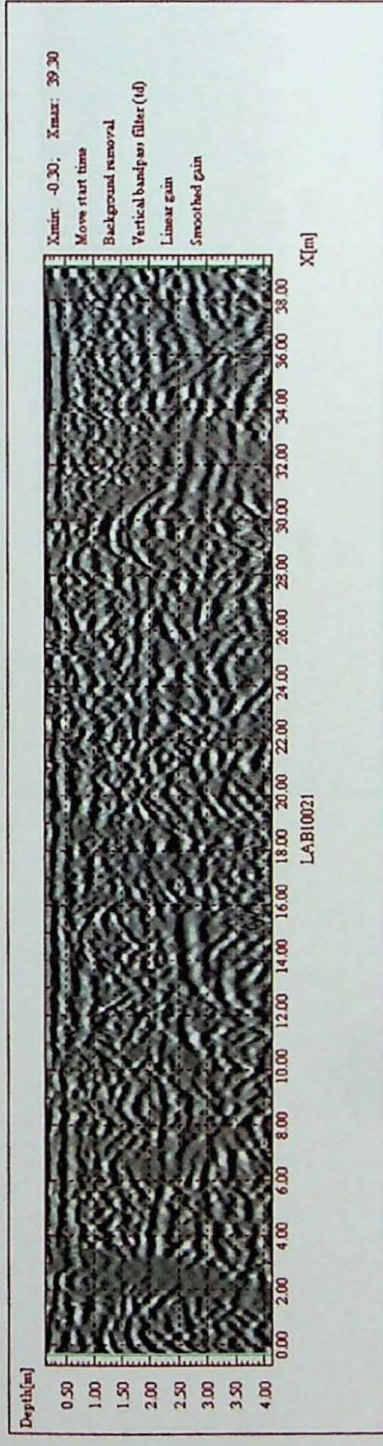
Perfis L18 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



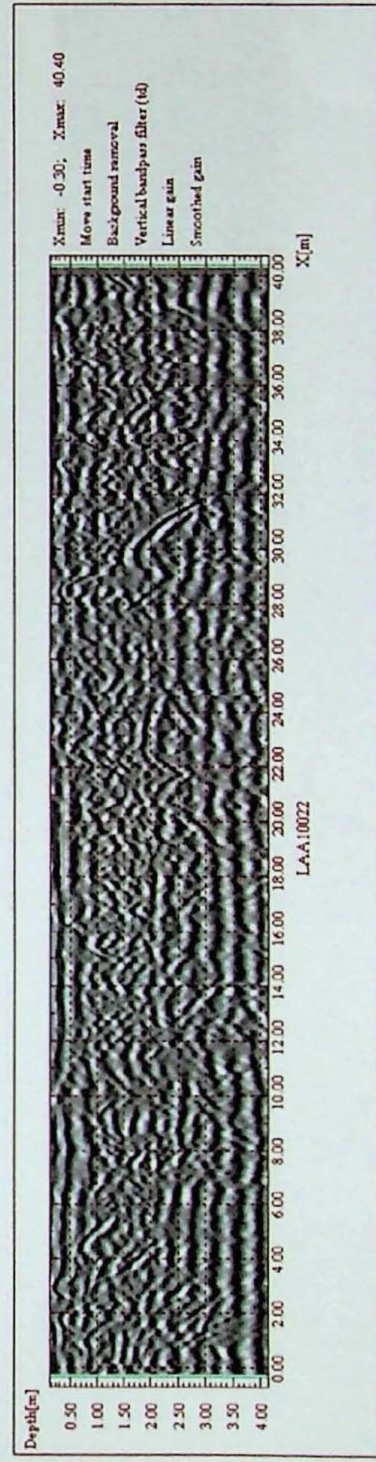
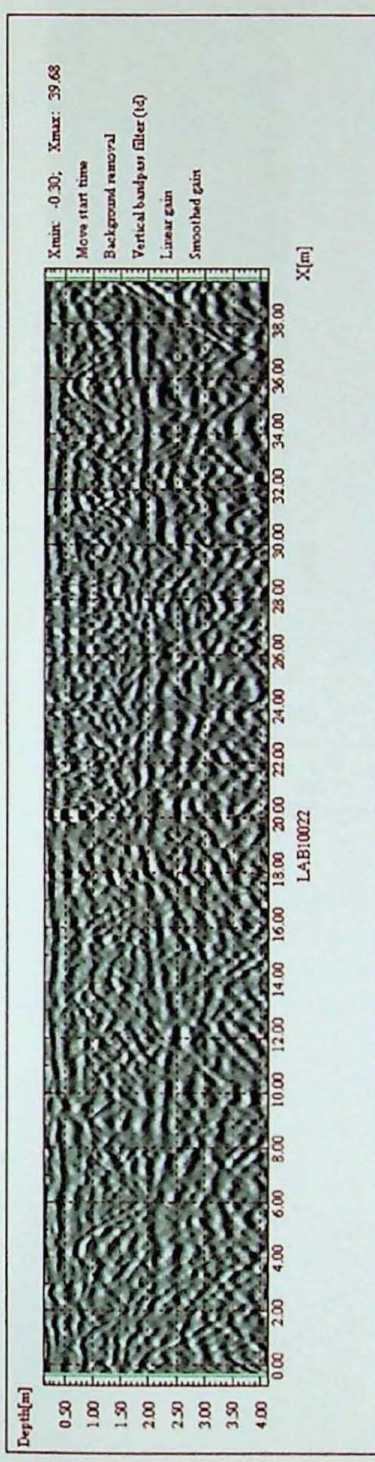
Perfis L19 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



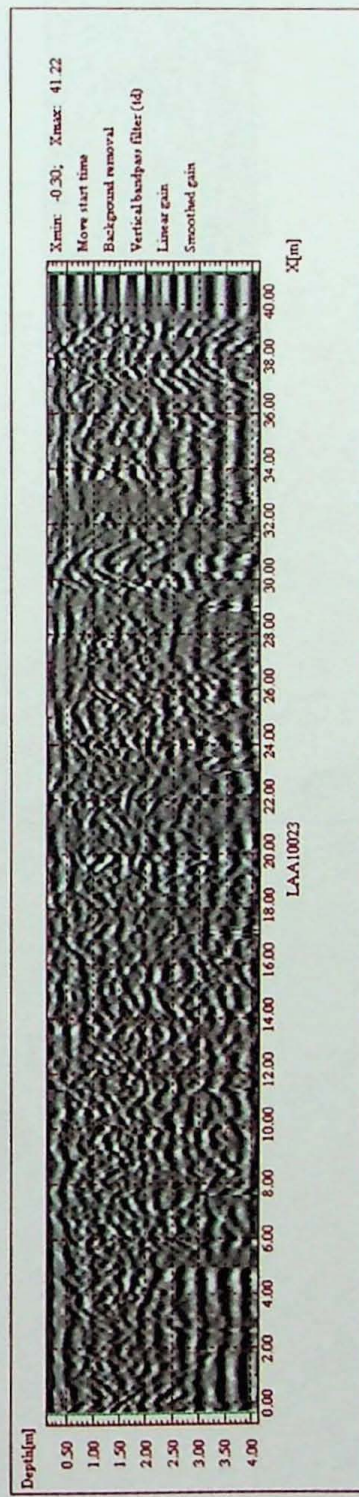
Perfis L20 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



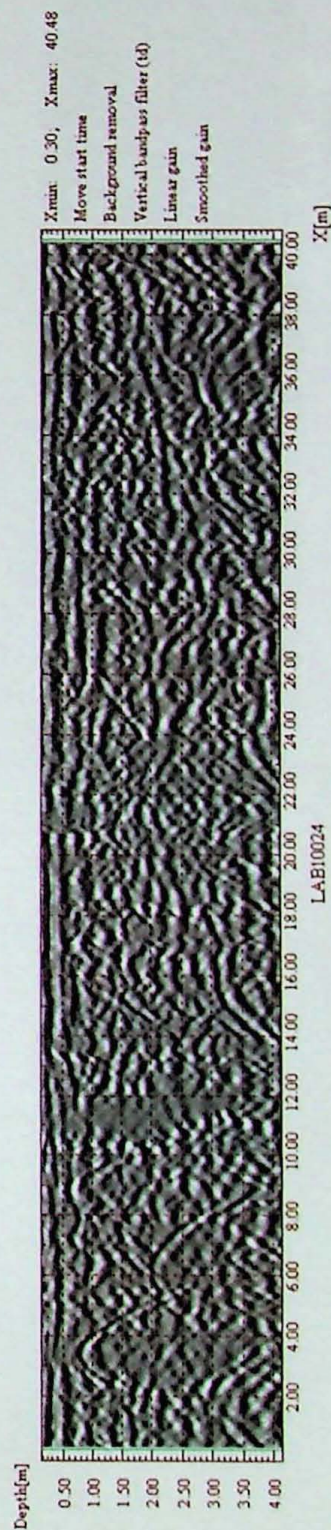
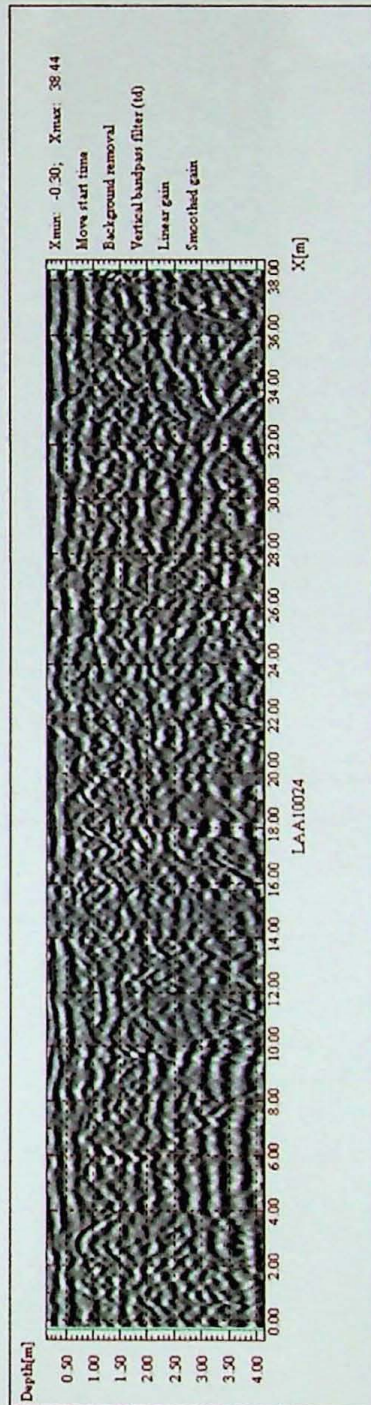
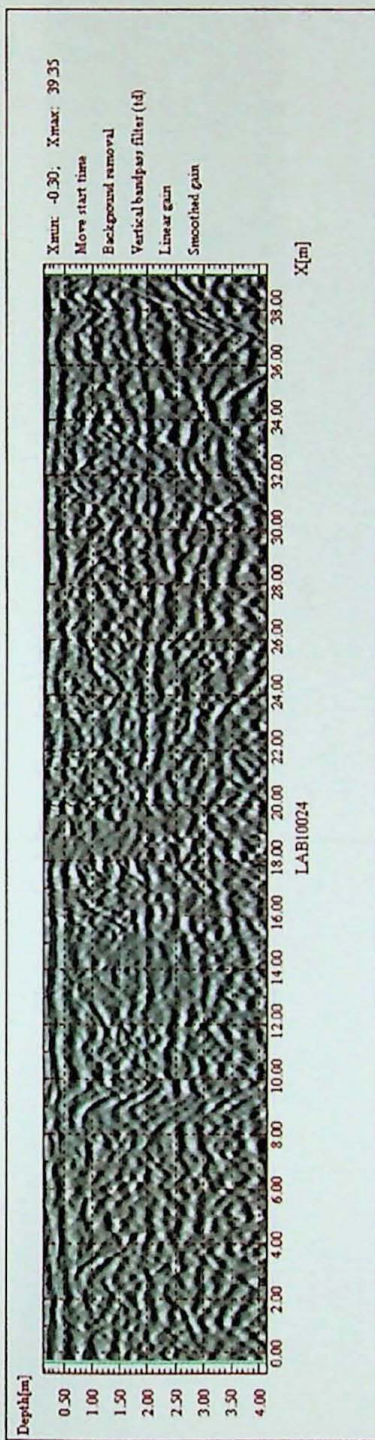
Perfis L21 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



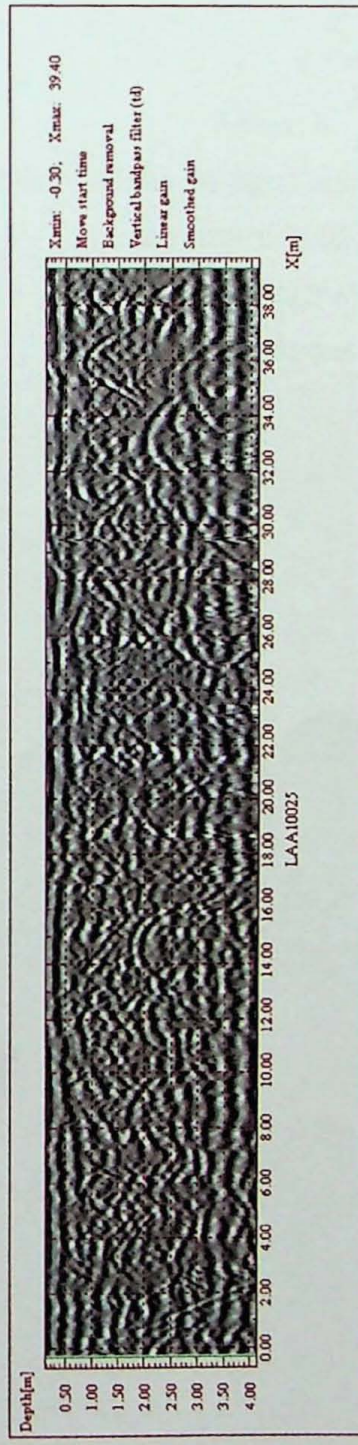
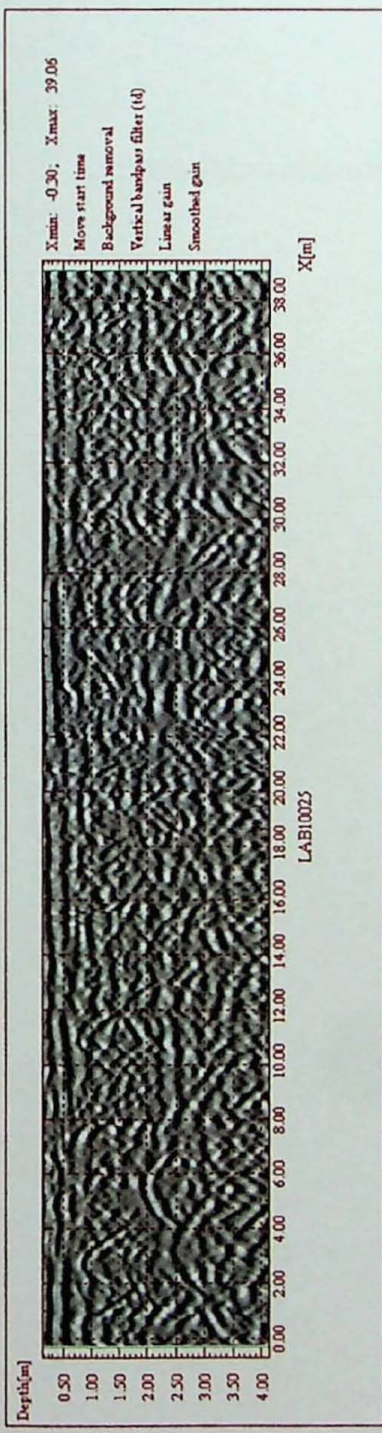
Perfis L22 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



Perfis L23 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



Perfis L24 dos dados de GPR referentes às campanhas C1, C2 e C3, respectivamente.



Anexo 6

Laudos laboratoriais das análises de água subterrânea coletadas no campo C1 -
dezembro 2009.

6A) Ânions

6B) Cátions

6A)



Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS

USP

Solicitante: Fernando Augusto Saraiva

Orientador: Prof. Dr. Fábio
Taioli

Instituto ou Centro de Pesquisas: CEPAS/IGc - USP

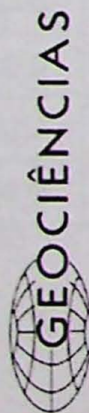
Projeto de Pesquisa: "Estudo Comparativo de Técnicas Geofísicas na Contaminação por
Cemitérios"

Cromatógrafo de Íons DIONEX ICS-90

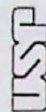
Data de entrada: 10/12/2009

Número de amostras: 17

Ânions	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
Limites de detecção (mg/L)	0,01	0,01	0,001	0,001	0,011	0,01	0,02
PM.01	0,085	1,79	0,002	0,008	1,66	0,037	0,132
PM 02	0,026	1,78	0,003	0,007	1,70	0,027	0,038
PM 03	0,024	1,80	0,003	0,004	1,81	0,016	0,034
PM 04	0,027	1,81	0,004	0,005	1,81	0,016	0,026
PM 05	0,025	1,84	0,005	0,004	1,81	0,024	0,018
PM 06	0,024	1,84	0,005	0,004	1,87	0,018	0,021
PM 07	0,035	1,86	0,003	0,003	2,13	0,046	0,024
PM 08	0,064	1,90	0,004	0,003	1,86	0,028	0,024
PM.09	0,035	1,75	0,004	0,004	1,84	0,026	0,017
PM.10	0,025	1,87	0,005	0,004	1,95	0,025	0,023
PM.11	0,026	1,86	0,004	0,003	1,91	0,037	0,027
PM.12	0,027	1,84	0,006	0,003	1,91	0,036	0,045
PM.13	0,026	1,87	0,003	0,002	1,86	0,036	0,028
PM.14	0,025	1,79	0,005	0,003	1,82	0,023	0,024
PM.15	0,025	1,85	0,005	0,003	1,87	0,037	0,034
PM.16	0,025	1,92	0,005	0,003	1,95	0,057	0,026
PM.17	0,027	1,89	0,005	0,005	1,97	0,048	0,044



Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS



Orientador: Prof. Dr.
Fábio Taioli

Solicitante: Fernando Augusto Saraiva
Instituto ou Centro de Pesquisas: CEPAL

Projeto de Pesquisa: "Estudo Comparativo de Técnicas Geofísicas na Contaminação por Cemitérios"
Absorção Atômica GBC 932B Plus e Fotômetro de Chamas da Micronal
Data de entrada: 10/12/2009
Número de amostras: 17

[illegible]

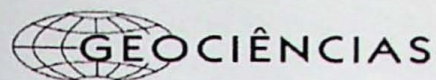
Anexo 7

Laudos laboratoriais das análises de água subterrânea coletadas no campo C2 - maio 2010.

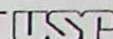
7A) Ânions

7B) Cátions

7A)



Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS



Solicitante: Fernando Augusto Saraiva

Orientador: Prof. Dr.
Fábio Taioli

Instituto ou Centro de Pesquisas: CEPAS/IGc - USP

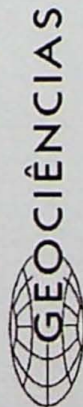
Projeto de Pesquisa: **"Estudo Comparativo de Técnicas Geofísicas na Contaminação por Cemitérios"**

Cromatógrafo de Íons DIONEX ICS-90

Data da coleta: abril/2010

Data de entrada: 02/05/2010

Ânions	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
Limites de detecção (mg/L)	0,01	0,01	0,001	0,001	0,011	0,01	0,02
PM.01	0,016	0,38	0,003	0,009	1,72	0,063	0,055
PM 02	0,045	2,26	0,004	0,008	0,21	0,037	0,085
PM 03	0,030	2,28	0,004	0,007	0,51	0,044	0,045
PM 04	0,027	2,18	0,006	0,006	0,48	0,046	0,027
PM 05	0,028	2,22	0,007	0,007	0,50	0,042	0,084
PM 06	0,029	2,17	0,003	0,006	0,60	0,032	0,045
PM 07	0,028	2,09	0,006	0,006	0,84	0,049	0,029
PM 08	0,034	2,02	0,006	0,007	1,15	0,047	0,024
PM.09	0,037	1,56	0,004	0,006	1,41	0,046	0,046
PM.10	0,027	1,52	0,003	0,006	1,33	0,046	0,048
PM.11	0,046	2,08	0,004	0,006	0,88	0,047	0,058
PM.12	0,038	1,77	0,004	0,006	0,91	0,051	0,056
PM.13	0,032	2,27	0,004	0,006	0,58	0,054	0,053
PM.14	0,035	2,47	0,006	0,006	0,15	0,036	0,030
PM.15	0,039	2,24	0,005	0,006	0,31	0,045	0,038
PM.16	0,046	2,11	0,005	0,005	0,70	0,038	0,040
PM.17	0,043	1,88	0,004	0,006	0,85	0,047	0,045



Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS

USP

Solicitante: Fernando Augusto Saraiva

Orientador: Prof. Dr. Fábio Taioli

Instituto ou Centro de Pesquisas: CEPAS/IGc - USP

Projeto de Pesquisa: "Estudo Comparativo de Técnicas Geofísicas na Contaminação por Cemitérios"

Absorção Atômica GBC 932B Plus e Fotômetro de Chamas da Micronal

Data da coleta: abril/2010

Data de entrada: 02/05/2010

Número de amostras: 17

Cátions	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Cd ²⁺ mg/L	Cu ²⁺ mg/L	Zn ²⁺ mg/L	Al ³⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Fe ^{total} mg/L	Pb ²⁺ mg/L	Cr ^{total} mg/L	Ni ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L
Limites de detecção (mg/L)	0,02	0,003	0,009	0,02	0,002	0,03	0,002	0,02	0,05	0,02	0,04	0,01	0,01
PM 01	0,35	0,18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,022	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,60	0,10
PM 02	2,28	0,81	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,023	0,16	n.d.	n.d.	n.d.	4,90	0,10
PM 03	0,86	0,53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,010	0,21	n.d.	n.d.	n.d.	3,40	0,10
PM 04	0,80	0,52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,034	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,30	0,10
PM 05	1,03	0,55	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	0,021	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,00	n.d.
PM 06	0,81	0,48	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,028	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,40	0,10
PM 07	0,83	0,49	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,025	0,43	n.d.	n.d.	n.d.	3,40	0,10
PM 08	0,70	0,44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,017	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,30	n.d.
PM 09	0,56	0,37	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,022	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2,50	0,10

PM.10	0,64	0,37	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,035	0,09	n.d.	n.d.	n.d.	2,90	n.d.
PM.11	0,56	0,47	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,036	0,03	n.d.	n.d.	n.d.	3,30	n.d.
PM.12	0,59	0,37	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,024	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	3,00	n.d.
PM.13	0,51	0,35	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,042	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,40	n.d.
PM.14	0,70	0,50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,022	0,09	n.d.	n.d.	n.d.	3,50	n.d.
PM.15	0,47	0,27	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,015	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,50	n.d.
PM.16	0,69	0,39	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,019	0,12	n.d.	n.d.	n.d.	3,50	n.d.
PM.17	0,36	0,43	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,018	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	3,20	n.d.

Obs.: n.d. = não detectado

Anexo 8

Laudos laboratoriais das análises de água subterrânea coletadas no campo C3 – julho 2010.

8A) Ânions

8B) Cátions

8A)



Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS



Solicitante: Fernando Augusto Saraiva

Orientador: Prof. Dr. Fábio Taioli

Instituto ou Centro de Pesquisas: CEPAS/IGc - USP

Projeto de Pesquisa: **"Estudo Comparativo de Técnicas Geofísicas na Contaminação por Cemitérios"**

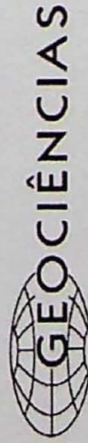
Cromatógrafo de Íons DIONEX ICS-90

Data da coleta: julho/2010

Data de entrada: 28/07/2010

Número de
amostras: 17

Ânions	F ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	HPO ₄ ²⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L
Limites de detecção (mg/L)	0.01	0.01	0.001	0.001	0.011	0.01	0.02
PM.01	0.021	1.89	0.003	0.008	0.62	0.038	0.097
PM 02	0.026	2.71	0.005	0.013	0.09	0.028	0.094
PM 03	0.024	2.61	0.006	0.009	0.13	0.054	0.055
PM 04	0.026	2.48	0.007	0.008	0.21	0.051	0.030
PM 05	0.034	2.28	0.006	0.007	0.42	0.042	0.067
PM 06	0.032	2.25	0.005	0.006	0.30	0.029	0.027
PM 07	0.026	2.14	0.006	0.007	0.40	0.039	0.089
PM 08	0.027	2.07	0.005	0.006	0.72	0.037	0.055
PM.09	0.023	1.50	0.005	0.005	0.93	0.036	0.037
PM.10	0.022	1.40	0.006	0.005	1.11	0.034	0.018
PM.11	0.024	1.75	0.006	0.008	0.75	0.035	0.039
PM.12	0.027	2.00	0.005	0.008	0.45	0.034	0.047
PM.13	0.023	2.40	0.006	0.007	0.05	0.027	0.038
PM.14	0.026	2.69	0.006	0.008	0.05	0.036	0.047
PM.15	0.023	2.40	0.006	0.006	0.02	0.024	0.031
PM.16	0.025	1.98	0.005	0.004	0.16	0.024	0.023
PM.17	0.022	2.33	0.005	0.006	0.26	0.035	0.023



Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS



Solicitante: Fernando Augusto Saraiva

Orientador: Prof. Dr. Fábio Taioli

Instituto ou Centro de Pesquisas: CEPAS/IGc - USP

Projeto de Pesquisa: "Estudo Comparativo de Técnicas Geofísicas na Contaminação por Cemitérios"

Absorção Atômica GBC 932B Plus e Fotômetro de Chamas da Micronal

Data da coleta: julho/2010

Data de entrada: 28/07/2010

Número de amostras: 17

Cátions	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Cd ²⁺ mg/L	Cu ²⁺ mg/L	Zn ²⁺ mg/L	Al ³⁺ mg/L	Mn ²⁺ mg/L	Fe ^{total} mg/L	Pb ²⁺ mg/L	Cr ^{total} mg/L	Ni ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L
Limites de detecção (mg/L)	0.02	0.003	0.009	0.02	0.002	0.03	0.002	0.02	0.05	0.02	0.04	0.10	0.10
PM 01	0.66	0.34	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.06	n.d.	n.d.	n.d.	2.90	n.d.
PM 02	1.08	0.50	<0,009	n.d.	0.024	n.d.	<0,002	0.28	n.d.	n.d.	n.d.	3.70	n.d.
PM 03	0.92	0.50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.004	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.70	n.d.
PM 04	0.94	0.50	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	0.010	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	3.70	<0,10
PM 05	0.81	0.41	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.006	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.70	<0,10

PM 06	0.78	0.43	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.40	<0,10
PM 07	0.79	0.46	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.30	n.d.
PM 08	0.75	0.42	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.20	n.d.
PM.09	0.63	0.35	<0,009	n.d.	n.d.	0.017	n.d.	0.008	0.06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.40	n.d.
PM.10	0.51	0.24	<0,009	n.d.	n.d.	0.032	n.d.	0.017	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.50	n.d.
PM.11	0.59	0.35	<0,009	n.d.	n.d.	0.014	n.d.	0.022	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.90	n.d.
PM.12	0.50	0.31	<0,009	n.d.	n.d.	0.015	n.d.	0.009	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.20	<0,10
PM.13	0.50	0.33	<0,009	n.d.	n.d.	0.013	n.d.	0.019	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.70	n.d.
PM.14	0.80	0.52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.018	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.70	n.d.
PM.15	0.53	0.31	n.d.	n.d.	n.d.	0.012	n.d.	0.023	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.60	<0,10
PM.16	0.66	0.42	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.30	n.d.
PM.17	0.75	0.47	<0,009	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.010	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.40	n.d.

Obs.: n.d. = não detectado

DOAÇÃO _____
<i>TGC-USP</i>
Data: <i>01/02/11</i>

