

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA A  
DETERMINAÇÃO DE MEDIDAS PREVENTIVAS  
EM LOCAL DESTINADO À DISPOSIÇÃO DE  
ATERRO SANITÁRIO, EM TIMBURI, SP.**

Fabiana Andresa Reis da Cruz

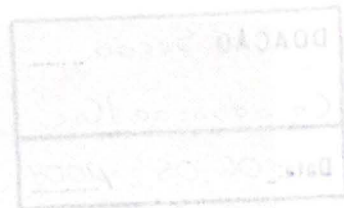
Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2003/22)

TF  
C957  
FAR.a

SÃO PAULO  
2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**Aplicação de métodos geofísicos para a determinação de medidas preventivas em aterro sanitário, em Timburi, SP.**

**Monografia**

**Aluna:** Fabiana Andresa Reis da Cruz

**Orientador:** Prof. Dr. José Domingos

Faraco Galias

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014489

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA A  
DETERMINAÇÃO DE MEDIDAS PREVENTIVAS EM  
LOCAL DESTINADO À DISPOSIÇÃO DE ATERRO  
SANITÁRIO EM TIMBURI, SP**

**FABIANA ANDRESA REIS DA CRUZ**



Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

Prof. Dr. Renato Luiz Prado

Prof. Ian McReath

*Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas*  
*Prof. Dr. Renato Luiz Prado*  
*Prof. Ian McReath*

São Paulo

2003

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer em primeiro lugar à minha mãe que esteve sempre ao meu lado não importasse quão louco fossem os meus desejos, ao meu pai que financiou os meus sonhos e se orgulhou de cada conquista, ao meu amor Maurício pela imensa paciência e carinho, ao meu irmão Fabrício pelo apoio, ao Instituto de Geociências pelo acolhimento, ao Professor e amigo Gallas pela compreensão, confiança e conhecimentos, ao companheiro Fernando, ao Paulinho, ao Prof. Wilson Teixeira e a todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte dessa conquista.

Deixo aqui o meu eterno obrigada!

## Índice

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1) Resumo                                                     | 1  |
| 2) <i>Abstract</i>                                            | 2  |
| 3) Introdução                                                 | 3  |
| 3.1) Processo legal                                           | 3  |
| 3.2) Localização                                              | 4  |
| 3.3) Relevância do projeto                                    | 4  |
| 4) Objetivos                                                  | 5  |
| 5) Fundamentação bibliográfica                                | 5  |
| 5.1) Geologia da área                                         | 7  |
| 5.1.1) Arcabouço estrutural                                   | 7  |
| 6) Metodologia                                                | 8  |
| 6.1) Eletrorresistividade                                     | 7  |
| 6.1.1) Sondagem elétrica vertical                             | 9  |
| 6.1.2) Caminhamento elétrico                                  | 10 |
| 6.1.2.1) Arranjo dipolo-dipolo/Pseudo-seções de resistividade | 10 |
| 6.2) Potencial espontâneo                                     | 12 |
| 6.3) Equipamentos                                             | 13 |
| 7) Desenvolvimento do trabalho                                | 15 |
| 7.1) Cronograma proposto                                      | 15 |
| 7.2) Atividades realizadas no período                         | 16 |
| 7.2.1) Programas utilizados                                   | 19 |
| 8) Interpretação e discussão dos dados                        | 19 |
| 9) Conclusão                                                  | 30 |

**10) Referências bibliográficas**

**31**

**11) Anexos**

**33**

## 1) Resumo

No Brasil, é bastante comum que a disposição de resíduos sólidos domésticos seja feita em lixões. No entanto, a forma mais adequada para disposição final destes dejetos é a instalação de aterros sanitários planejados. Os lixões, seja nas pequenas ou grandes cidades, acarretam uma série de contaminações do solo e, ainda mais grave, também as águas subterrâneas. Levando à expansão dos estudos acerca das possibilidades de diagnósticos e remediação de áreas contaminadas.

O presente trabalho de formatura vem expor a importância de métodos indiretos, como a geofísica aplicada, na área ambiental, diagnosticando e delimitando plumas de contaminação, e elaborando estudos que precedem à implantação de aterros sanitários.

Em parceria com a prefeitura de Timburí município do interior paulista foi possível elaborar e executar um projeto que beneficiasse não só o trabalho de formatura mas principalmente o Município. Este trabalho integra o processo de desativação do lixão da cidade e da transferência da disposição dos resíduos sólidos do município para um aterro sanitário situado em um outro local previamente estudado e tratado adequadamente para o recebimento destes resíduos.

O objetivo principal deste trabalho foi a aprendizagem e aplicação de metodologias geofísicas para a determinação de parâmetros que possibilitem o estabelecimento de ações e medidas preventivas num local destinado à disposição de resíduos sólidos urbanos – um aterro sanitário, caracterizando a área escolhida, como apta ou não para a implementação de aterro sanitário.

Foram utilizados os métodos geoeletricos (eletrorresistividade e potencial espontâneo), que têm sido utilizados em casos ambientais com excelentes resultados (GALLAS, 2000).

## **2) Abstract**

The most appropriate way to discard domestic solid waste is in sanitary landfills. Otherwise, in Brazil, it is very common to place the domestic waste in dumps. It is well known that this kind of disposal pollutes both the soil and groundwater.

The increasing public concern on the problems caused by dumps has increased the need to develop new techniques of diagnosis and remediation of contaminated sites.

This paper aims at presenting the importance of indirect methods of investigation, e.g. applied geophysics, to access environmental problems. This investigation may be used in the diagnosis and delimitation of environmental contaminations and, in addition, can be used in the studies preceding the installation of a new sanitary landfill.

The study presented in this report was developed with the support of the Timburi municipality and to help the community in the deactivation of an old dump and the selection of a site to establish a new sanitary landfill.

The main objective of this work was the training and application of geophysical methods to determine the suitability of a probable site to install a sanitary landfill. In addition, the study aimed at suggesting preventive actions to avoid soil and groundwater contamination.

Geoelectrical methods (electroresistivity and self-potential) have been successfully used on environmental studies (GALLAS, 2000) were also used in this study.

### 3) Introdução

A preocupação com a contaminação do solo e, por consequência da água, tem expandido os estudos acerca das possibilidades de diagnósticos e remediação de áreas contaminadas.

As constantes ocorrências de disposição inadequada de resíduos sólidos em áreas consideradas impróprias constituem uma realidade que, a cada dia, torna-se mais freqüente no Brasil, causando a poluição do solo, água e ar.

Além dos resíduos propriamente ditos, a migração de chorume, no solo e na água, pode levar ao seu comprometimento através da contaminação por compostos orgânicos e íons metálicos. O chorume, que é um contaminante extremamente persistente, surge logo após a disposição dos resíduos em aterros sanitários/lixões, podendo perdurar por décadas, mesmo se este for desativado, e exige ações corretivas que duram vários anos para que se remedie a contaminação.

A geofísica tem se mostrado muito eficiente, não só diagnosticando e delimitando plumas de contaminação, mas também elaborando estudos que precedem à implantação de aterros sanitários.

#### 3.1) Processo legal

Deve-se ter o cuidado durante um processo de implantação de um aterro sanitário com o cumprimento de normas e exigências estabelecidas pelos órgãos ambientais.

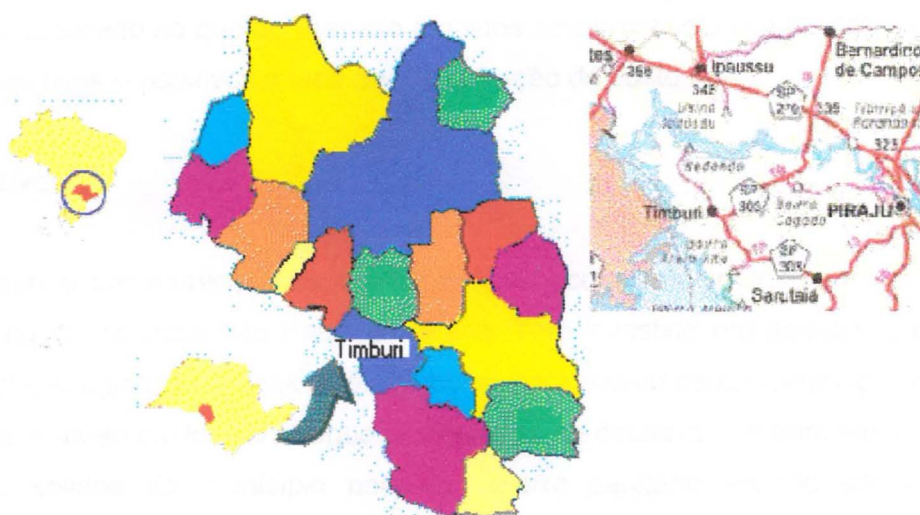
Uma das exigências mínimas previstas para o pedido de licença para a operação de Aterro Sanitário é o Estudo Prévio de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – (RIMA), documentos que devem ter elaboração prévia à instalação do empreendimento e que visam subsidiar a tomada de decisão sobre a viabilidade ambiental do projeto proposto.

As tecnologias de tratamento de resíduos estão em constante evolução. A busca de alternativas, no âmbito mundial, para soluções que não priorizem o solo como depositário final dos resíduos, indicam que uma Política Nacional de Resíduos Sólidos não deva se preocupar em descrever metodologias de tratamento ou de destinação/disposição final.

A escolha de área para disposição de resíduos, além das medidas de proteção do solo e dos mananciais, deve considerar o plano diretor do município, a expectativa de crescimento populacional, as características geográficas e de produção industrial dos municípios, que deve ser feita com o apoio do órgão fiscalizador, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Estas variáveis são, por sua natureza, elementos que requerem avaliação de curto, médio e longo prazo.

A escolha da área deve ser feita sobre aspectos como a geologia, pela distribuição espacial e características do substrato, das litologias, principais feições estruturais e as características dos solos na região estudada, principalmente quanto ao teor de argila e espessuras. Estas características são essenciais para se classificar um terreno em próprio ou não para a implantação de um aterro sanitário.

### 3.2) Localização



**Figura 1** .Localização e acessos ao município de Timburi. Imagem obtida no site [www.citybrazil.com.br](http://www.citybrazil.com.br).

O Município de Timburi Localiza-se no centro-sul do Estado de São Paulo, a aproximadamente 358km da capita e faz limites com os Municípios de Piraju, Ipaussu, Fartura, Sarutaiá e também com a cidade de Ribeirão Claro no Estado do Paraná. O rio Itararé é a divisa natural entre os dois estados (represa de Xavantes).

O acesso ao município pode ser feito pela rodovia Castelo Branco e rodovia Raposo Tavares.

### 3.3) Relevância do Projeto

A relevância deste projeto se dá pelos excelentes resultados que a geofísica aplicada vem obtendo não só na área de prospecção mineral, mas também na área ambiental e na prospecção de água subterrânea. O emprego da geofísica em tais situações tem demonstrado que seu uso minimiza custos (menos sondagens, por exemplo) e caracteriza de forma adequada, direções de fluxos, profundidade do nível d'água, espessura de solo/rocha alterada, presença de fraturas/falhamentos, tipos litológicos etc.

A escolha da área se deve ao fato de já haver um Projeto de pesquisa em andamento, desenvolvido pelo doutorando Fernando Saraiva, pelo CEPAS (Centro Pesquisa de Águas Subterrâneas), que tem sido apoiado pela prefeitura do município de Timburí, fornecendo toda a infra-estrutura necessária para diversos tipos de levantamentos.

O Projeto CEPAS e este Trabalho de Formatura tiveram suas despesas diretas (combustível, hospedagem, refeições e fornecimento de ajudantes braçais para os trabalhos de geofísica) custeadas pela Prefeitura Municipal de Timburí que, como contrapartida, terá acesso aos resultados e interpretações obtidas com os trabalhos.

Cabe ressaltar também, a grande importância de projetos de interesse mútuo entre municípios/comunidade e Universidade, pois a universidade e o aluno têm um projeto de pesquisa custeado no que diz respeito a gastos adicionais e a comunidade/município obtém resultados úteis e objetivos a uma pequena fração do custo real.

#### **4) Objetivos**

Timburí é um município do interior paulista, com aproximadamente 2 mil habitantes, situado na divisa entre São Paulo e Paraná. Tem investido em pesquisas para levantar o potencial geológico, hidrogeológico e também para avaliar as contaminações causadas pelo lixo que situa-se em local inadequado. Pretende-se desativá-lo e transferir a disposição dos resíduos sólidos do município para um aterro sanitário situado em um outro local previamente estudado e tratado adequadamente para o recebimento destes resíduos.

Este trabalho teve como objetivo principal a aprendizagem e aplicação de metodologias geofísicas para a determinação de parâmetros que possibilitem o estabelecimento de ações e medidas preventivas em um local destinado à disposição de resíduos sólidos urbanos – um aterro sanitário.

Os parâmetros possíveis de serem estimados pelos métodos geofísicos que foram empregados são: fraturas e falhamentos que facilitem a percolação de fluidos pela rocha, determinação das direções preferenciais de fluxos d'água, profundidade do nível d'água, espessura de solo e rocha alterada, tipos litológicos.

Para isso foram utilizados os métodos geoeletricos (eletroresistividade e potencial espontâneo), que têm sido utilizados em casos ambientais com excelentes resultados (GALLAS, 2000).

#### **5) Fundamentação Bibliográfica**

Os métodos geofísicos são aplicados na geologia em diversas áreas, na área ambiental, na hidrogeologia, geologia de engenharia e na prospecção mineral.

Uma das vantagens principais da aplicação das técnicas geofísicas em relação aos métodos tradicionais de investigação de subsuperfície, como por exemplo a sondagem, é a rapidez na avaliação de grandes áreas com o custo relativamente baixo.

Na geologia ambiental, a geofísica pode ser aplicada no diagnóstico dos problemas criados pela ocupação e exploração humana ao meio físico (BATES & JACKSON, 1984). Na avaliação da presença da contaminação em profundidade, o emprego desses métodos está voltado à localização de valas contendo resíduos, investigação da contaminação disseminada no solo e nas águas subterrâneas, detecção de tambores e tanques enterrados, e determinação de vazamentos em tanques ou dutos (GRETSKY *et al.*, 1990).

Na hidrogeologia, a geofísica pode ser aplicada a melhor exploração da água subterrânea em benefício do homem, podendo caracterizar o lençol subterrâneo, determinando o nível freático e do fluxo subterrâneo, detecção de fraturamentos no caso de rochas cristalinas, e a potencialidades de aquíferos.

Na geologia de engenharia, pode ser utilizada em diversas aplicações, em caráter preventivo e investigativo, por exemplo detectando anomalias geofísicas no corpo das barragens, observando a existência ou não de percolações anômalas de água.

Na prospecção mineral, a geofísica auxilia na busca de bens minerais de interesse.

Segundo Gallas (2000), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas em 1998, realizou levantamentos geofísicos na área de várzea adjacente a um lixão no município de São Bernardo do Campo, denominado lixão de Alvarenga, buscando identificar através de contrastes nas propriedades físicas medidas, indicações que pudessem ser correlacionáveis à pluma de contaminação proveniente desse lixão, e também determinar direções preferenciais de fluxos d'água, poluídas pelo chorume. Para isso foram utilizados levantamento conjunto de polarização induzida (IP), potencial espontâneo (SP) e eletrorresistividade.

Segundo AQUINO, 2000, a CETESB vem realizando pesquisa sobre a contaminação das águas subterrâneas pela indústria Sulfabrás S. A Indústria Química, instalada no distrito industrial de Araras, através de monitoramento de poços de abastecimento próximos à indústria. Além da infiltração, também foi detectado problema com a estocagem inadequada dos resíduos. Em 2000, foram iniciados os levantamentos geofísicos eletromagnéticos abrangendo toda a área suspeita de contaminação utilizando-se sistema eletromagnético EM-34-3XL, objetivando identificar o foco principal da contaminação na área industrial e seus arredores. Posteriormente aumentou-se a área do levantamento visando estabelecer limites da contaminação do solo e água subterrânea.

MENDES (1987) utilizando os métodos de eletrorresistividade e eletromagnético indutivo, mapeou áreas de contaminação de aterros sanitários e das áreas de infiltração na vizinhança da poluição ou contaminação de águas subterrâneas e áreas com infiltração e vazamentos de produtos e efluentes industriais.

Utilizando sondagens elétricas e caminhamentos eletromagnéticos métodos geofísicos da eletrorresistividade e eletromagnético indutivo, DEHAINI (1995) estudou casos de contaminação de águas subterrâneas, quando a fonte poluente é de predominância orgânica, e questionável. Os objetivos foram a avaliação da detectabilidade dos métodos geofísicos em fontes de poluição diferentes, determinar os constituintes químicos e suas concentrações nos efluentes, que poderiam estar relacionados com as anomalias produzidas e definir a sensibilidade do método.

### **5.1) geologia da área**

No Município de Timburí, SP, afloram rochas da bacia do Paraná, sendo que foram observadas em campo as Formações Serra Geral e Botucatu.

A Formação Botucatu é formada praticamente por arenitos de ambiente eólico de granulometria de fina a média, uniforme, e grãos bem selecionados (IPT, 1981) e exibe grandes extratos cruzados, que pode atingir até 100 metros. Segundo IPT (1981), localmente intercalam-se, sobretudo nas partes inferiores da formação, corpos lenticulares de arenitos heterogêneos, de granulação média os grossos, depositados em meio subaquoso, que passam a arenitos conglomeráticos com seixos de quartzo e quartzito.

E a Formação Serra Geral é conjunto de rochas basálticas mesozóicas, constitui grande manifestação de vulcanismo continental fissural do planeta.

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral são constituídas na parte inferior por vulcânicas básicas, que são sobrepostas por derrames de andesitos e andesito-basaltos, aparecendo no topo derrames de rochas ácidas. As rochas vulcânicas, por sua vez, repousam concordantemente sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu ou contêm muitas vezes intercalados níveis de arenitos *intertrap*, sugerindo contemporaneidade entre o magmatismo e os depósitos eólicos.

#### **5.1.1) Arcabouço Tectônico-Estrutural**

O arcabouço estrutural da bacia mostra que os elementos de direção NW-SW são caracterizados por zonas retilíneas com concentração de falhas e diques, formando extensas zonas de falhas. e para alguns autores, existem evidências que indicam que estes lineamentos são, no mínimo, mais antigos que os lineamentos de direção NE-SW de idade brasileira.

A identificação das direções estruturais para nw-se no embasamento da bacia, é um ponto de muita discussão. essas estruturas, com predominância no arco de ponta grossa ocorrem seccionando transversalmente a faixa móvel ribeira, de direção ne-sw, conjugando as rochas do embasamento dessa região.

## 6) Metodologia

Foram utilizados equipamentos de propriedade da Universidade de São Paulo, disponíveis no Instituto de Geociências.

Os métodos geofísicos utilizados foram os da eletrorresistividade (Caminhamento Elétrico com arranjo dipolo-dipolo e Sondagem Elétrica Vertical com arranjo Schlumberger) e potencial espontâneo (SP) (com técnicas dos potenciais), sendo os métodos geoelétricos mais utilizados em aplicação de prospecção de água subterrânea e detecção de contaminantes.

| Propriedade física medida      | Métodos de prospecção     |
|--------------------------------|---------------------------|
| Resistividade elétrica         | Eletrorresistividade      |
| Diferença de potencial natural | Potencial Espontâneo (SP) |

### 6.1) Eletrorresistividade

No método geofísico de eletrorresistividade obtém-se de forma indireta o valor da resistividade dos materiais geológicos em subsuperfície.

Os arranjos eletródicos para a medição da eletrorresistividade são escolhidos e dimensionados de acordo com os objetivos a serem atingidos e até mesmo pelas peculiaridades da área do ensaio. Tais medidas são feitas induzindo uma corrente elétrica ao subsolo, através de uma fonte artificial, utilizando um par de eletrodos em contato galvânico com o solo. Mede-se então o potencial estabelecido pelo fluxo de corrente por meio de outro par de eletrodos determinando assim a resistividade efetiva ou aparente.

Nesta metodologia podem ser utilizadas duas técnicas para aquisição dos dados, bem como diferentes arranjos eletródicos, que visam o estudo das heterogeneidades laterais (falhas, diques) como verticais (meios estratificados) das resistividades (GALLAS, 2000). Essas técnicas são: a sondagem elétrica vertical (SEV) e/ou caminhamento elétrico.

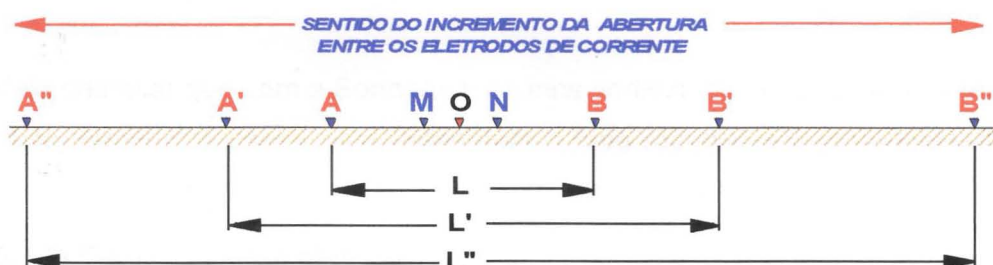
Nesse projeto foram utilizados o arranjo Schlumberger, que é um arranjo eletródico usado para a execução de sondagens elétricas verticais e dipolo-dipolo no caminhamento elétrico de resistividade, que é uma técnica de investigação horizontal, em uma ou várias profundidades, aproximadamente constantes, a partir de medidas tomadas na superfície.

### 6.1.1) Sondagem elétrica vertical

A SEV (Sondagem Elétrica Vertical), é utilizada para investigações das variações de resistividade elétrica com a profundidade, abaixo do ponto de interesse.

As medidas são efetuadas usando-se quatro eletrodos, dois para transmissão de corrente (A e B) e dois de potencial (M e N) para medidas de  $\Delta V$ , alinhados num mesmo perfil, sendo mantida a relação  $AB/MN \geq 5$ .

A abertura do AB varia de acordo com a profundidade investigada, pois quanto maior é a abertura maior a profundidade alcançada, que normalmente situa-se entre  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{1}{10}$  de AB, o que depende das litologias subjacentes. O centro é fixo e a abertura entre os eletrodos MN deve ser mantida constante o máximo possível.



**Figura 2.** Arranjo Schlumberger (figura original de GALLAS, 2000)

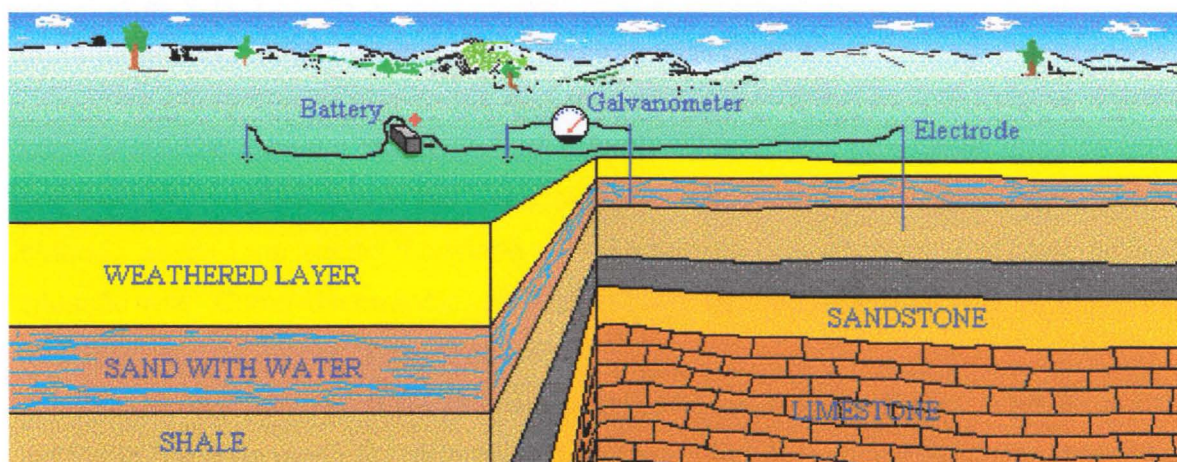
A resistividade determinada é um valor aparente, resultado da contribuição de todo o pacote investigado, que geralmente é heterogêneo.

Os parâmetros utilizados para o cálculo da resistividade são valores de  $\Delta V$ ,  $I$  e  $K$ , onde o  $K$  é uma fator geométrico que depende das distâncias do quadripolo ABMN,  $I$  é a corrente utilizada e  $\Delta V$  é o valor da diferença de potencial medida, pela fórmula:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

O ponto de plotagem das medidas é o ponto médio O entre M e N, sendo os resultados apresentados sob a forma de curvas de resistividade, plotados em gráficos bi-logarítmicos. A interpretação dessas curvas fornece um modelo geoeletrico sob o ponto investigado, em camadas plano-paralelas com espessuras e valores de resistividade elétrica.

Com este modelo pode-se correlacionar com o perfil estratigráfico local, obtendo assim informações quanto à espessuras e profundidades das litologias presentes em subsuperfície (figura3).



**Figura 3** – Exemplo de aplicação da eletrorresistividade. retirado do site: [www.origins.swau.edu/papers/geologic/lava/gifs/fig2.html](http://www.origins.swau.edu/papers/geologic/lava/gifs/fig2.html)

Vale destacar que com a Sondagem elétrica vertical, além de obter a caracterização de litologias, também é usada para determinar o topo rochoso e a profundidade do nível d'água.

#### **6.1.2) Caminhamento elétrico**

O caminhamento elétrico (resistividade), é uma técnica de investigação horizontal, em uma ou em várias profundidades, aproximadamente constantes, a partir de medidas tomadas na superfície do terreno.

A finalidade desta técnica é estudar as variações laterais da resistividade do subsolo, sendo muito adequado para detectar contatos geológicos verticais ou inclinados, mineralizações, diques, fraturamentos e/ou falhamentos e outros corpos ou estruturas que se apresentem como heterogeneidades laterais destes parâmetros. Pode ser também utilizado na caracterização de aquíferos e de depósitos de areias e cascalhos, delineando os seus limites.

As investigações efetuadas pelo caminhamento resistividade geralmente são feitas ao longo de perfis e os resultados obtidos se relacionam entre si através de um estudo em planta a uma profundidade determinada, ou ainda, através de seções com várias profundidades de investigação. Os arranjos utilizados para a execução desta técnica são variados, porém o mais utilizado é o dipolo-dipolo.

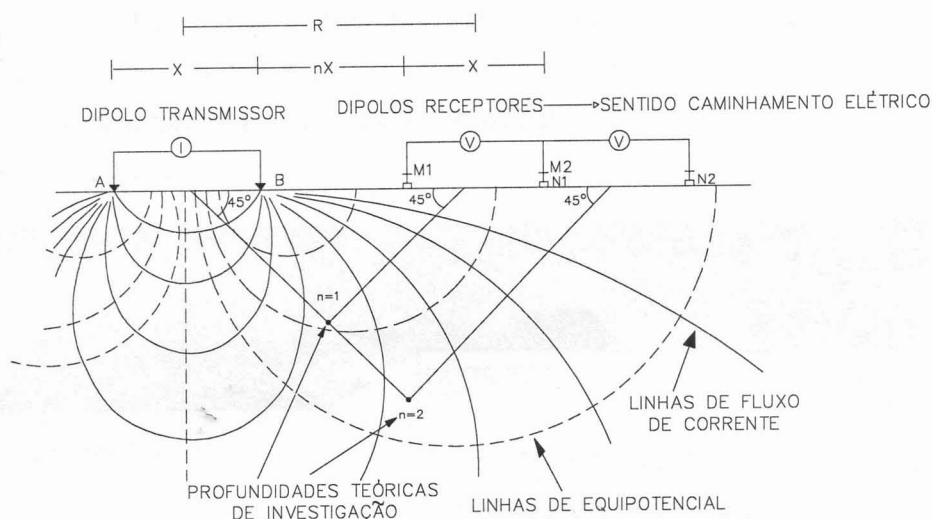
##### **6.1.2.1) Arranjo dipolo-dipolo/Pseudo-seções de resistividade**

As pseudo-seções são assim chamadas porque os dados obtidos de diferentes níveis de investigação não correspondem aos valores reais dos parâmetros de cada camada

investigada e referem-se a valores aparentes de resistividade. De forma semelhante, as profundidades na seção vertical são também apenas qualitativas.

Na interpretação dos dados das pseudo-seções obtém-se informações qualitativas sobre a posição espacial dos corpos em subsuperfície e, mais raramente, pode-se estimar o seu mergulho. Esses dados das pseudo-seções, são submetidos a processos de inversão obtendo assim uma seção modelada de resistividade que em tese, é a mais próxima da situação real. Como decorrência, as informações são tão mais precisas quanto melhor a definição de uma anomalia resistividade.

O arranjo eletródico utilizado neste trabalho foi o dipolo-dipolo, e neste arranjo, os eletrodos A e B de envio de corrente e os eletrodos M e N de potencial ou de recepção, são alinhados sobre um mesmo perfil. O arranjo é definido pelos espaçamentos  $X = AB = MN$ . A profundidade de investigação cresce com R e teoricamente corresponde a  $\frac{1}{2} R$  (Figura 4).



**Figura 4** - Caminhamento Resistividade/Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo. (Original de GALLAS, 2000).

Comumente, as medidas são realizadas em várias profundidades de investigação, isto é,  $n = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ , e atribuídas na intersecção das linhas que partem a  $45^\circ$  dos centros de AB e MN.

A cada estação, os dois dipolos são deslocados a uma distância igual a X, e os dados obtidos são plotados nas posições  $n = 1, 2, 3, \dots$  e interpolados, gerando uma pseudo-seção de resistividade aparente.

O valor da resistividade elétrica é calculado pela mesma fórmula utilizada na sondagem elétrica vertical:

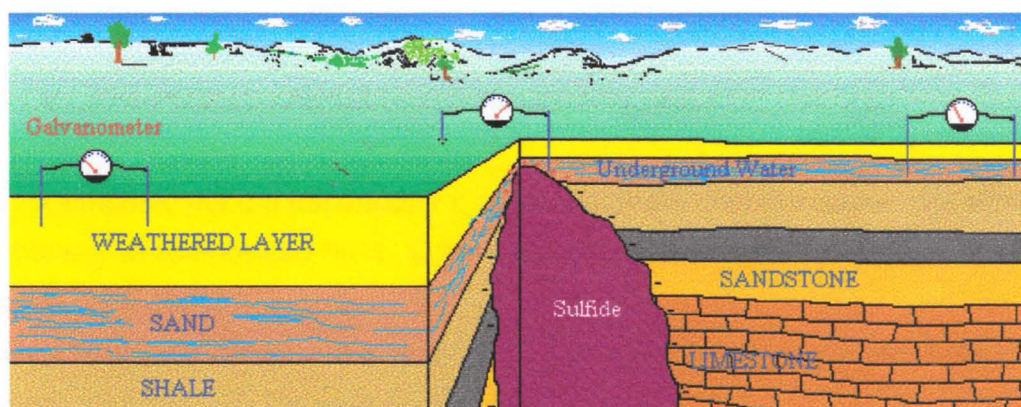
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

$$\text{Onde } k = \frac{2\pi}{\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n+2}}$$

## 6.2) Potencial espontâneo

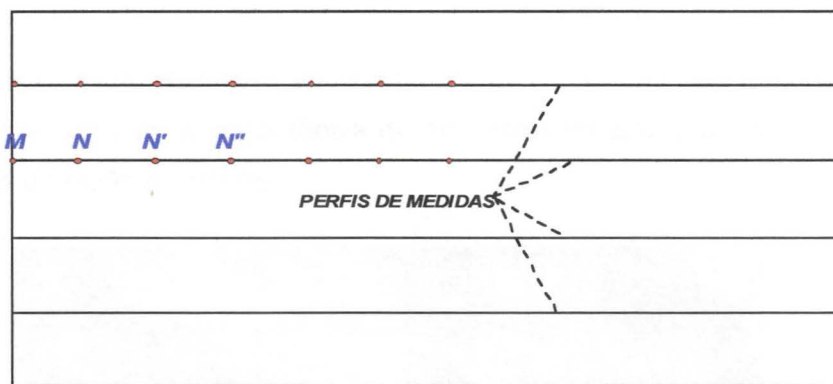
O potencial espontâneo (SP), é um método de campo natural onde não há fonte transmissora de sinal e baseia-se no fato de que mesmo na ausência total de campo elétrico criado artificialmente, é possível medir uma diferença de potencial entre eletrodos introduzidos no terreno. Normalmente, os instrumentos utilizados são eletrodos, cabos condutores e milivoltímetro.

No caso ambiental, o método tem sua principal aplicação no estudo dos movimentos da água em subsuperfície sendo as anomalias de SP geradas pelo fluxo de fluidos, de calor ou de íons no subsolo. Pode também ser utilizado na prospecção mineral, onde anomalias negativas estão relacionadas à presença de corpos de sulfetos maciços que se comportam como condutores (Figura 5).



**Figura 5**– Exemplo de aplicação do método do potencial espontâneo, site: [www.origins.swau.edu/papers/geologic/lava/gifs/fig2.html](http://www.origins.swau.edu/papers/geologic/lava/gifs/fig2.html)

Vários são os tipos de configurações que podem ser utilizadas para um levantamento de campo SP, porém nesse projeto a opção foi por uma técnica muito utilizada, que é técnica dos potenciais ou base fixa (figura 6). Nesta técnica, um dos eletrodos é mantido em uma base (estação-base) fixa, enquanto o outro percorre os pontos de medidas nos perfis ou malha de levantamento. Conecta-se um dos pólos do instrumento de medidas à base fixa enquanto o outro pólo é conectado ao eletrodo móvel, que é deslocado. Adota-se que o pólo negativo do instrumento refere-se à base, enquanto que o positivo é conectado ao eletrodo itinerante.



**Figura 6.** Configuração da Técnica dos Potenciais (Original de GALLAS, 2000).

### 6.3) Equipamento

#### → Eletrorresistividade

Nos métodos de eletrorresistividade, tanto na sondagem elétrica vertical quanto no caminhamento elétrico, foi utilizado um resistímetro ABEM *Terrameter* de modelo SAS300C e um módulo acessório *Booster*. E outros acessórios importantes para a montagem dos arranjos eletródicos, como fios de conexão, trena, eletrodos metálicos.

- Resistímetro ABEM *Terrameter* modelo SAS300C (foto 1):

Composto por um transmissor e um receptor em uma única unidade, alimentado por uma bateria de composição NiCd. O transmissor emite uma corrente de valor fixo, que pode variar de 0,2 a 500 mA.

A leitura feita pelo receptor é a razão  $\Delta V / I$ , sendo que  $\Delta V$  é a medida da diferença de potencial e  $I$  a corrente induzida ao terreno.



**Foto 1** - Resistímetro ABEM *Terrameter* SAS 300C.

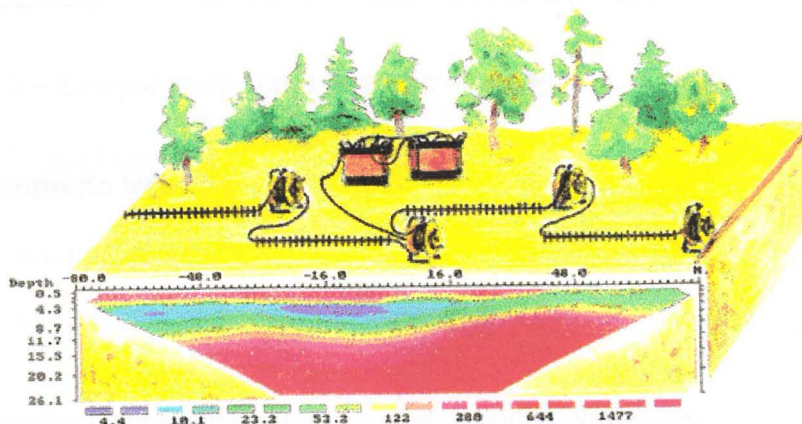
- *Booster ABEM Terrameter SAS 2000 (foto 2)*

Possibilita o aumento da potência do equipamento SAS300C de 32 para 400 W, e visa a melhoria da razão sinal/ruído.



**Foto 2 - Booster ABEM Terrameter SAS 2000**

A montagem do arranjo/equipamento pode ser disposto no campo como pode ser visto na figura abaixo



**Figura 7 – Exemplo de disposição dos equipamentos em campo, destacando o uso do terrameter, booster e bobinas. Fonte do site [www.geophysicsgpr.com](http://www.geophysicsgpr.com).**

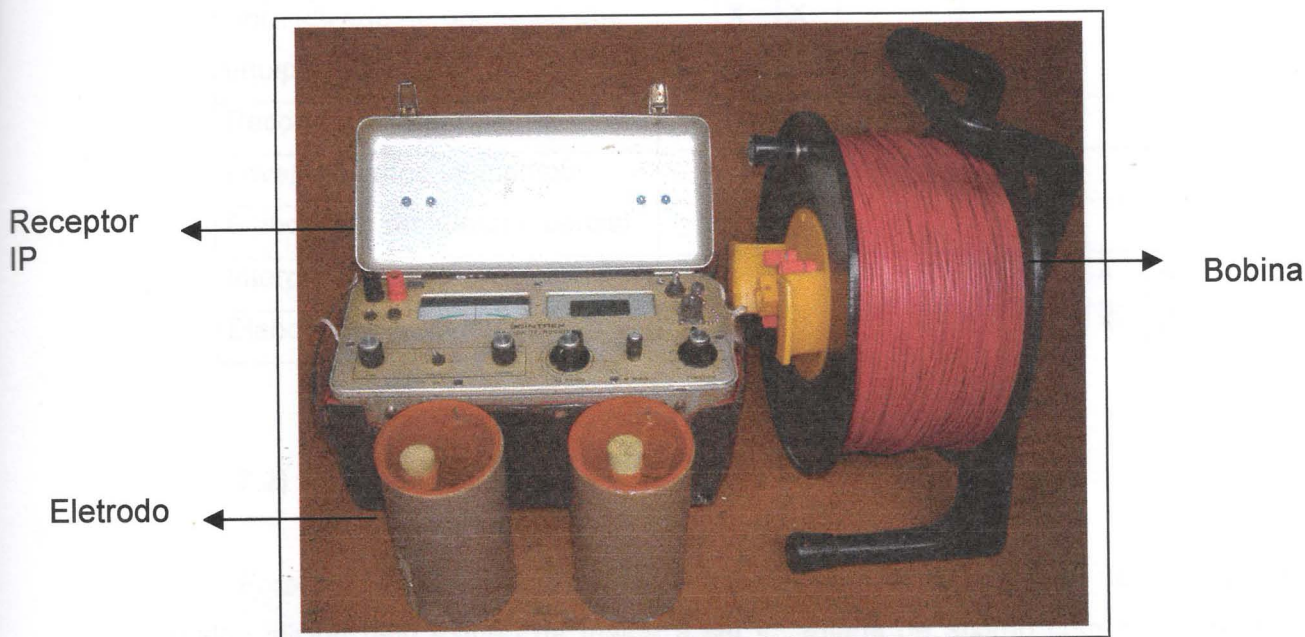
#### → *Potencial espontâneo (foto 3)*

No método do potencial espontâneo, como se trata de um método de campo natural, não há necessidade de uma fonte transmissora.

Utiliza-se eletrodos constituído de um recipiente de fundo poroso contendo metal mergulhado em solução saturada de um sal do próprio metal (Cu em  $\text{CuSO}_4$  ou Ag em  $\text{AgCl}$ ), cabos condutores bem isolados e milivoltímetro com precisão de 1mV.

Estes eletrodos foram confeccionados no próprio Instituto de Geociências , de forma artesanal.

Para as medidas de potencial espontâneo foi empregado o receptor IP, fabricação canadense Scintrex, que possui um sistema com precisão de 1mV para medidas de SP.



**Foto 3** – Equipamentos para levantamentos Potencial Espontâneo.

## **7) Desenvolvimento do trabalho**

### **7.1) Cronograma de atividades**

Foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- Levantamento bibliográfico referente aos métodos geofísicos;
- Elaboração de um projeto inicial e proposição do mesmo ;
- Aprendizado na operação dos equipamentos utilizados por cada método;
- Reconhecimento da área levantada, bem como levantamento de estudos prévios ;
- Levantamento de campo com utilização dos métodos propostos;
- Elaboração de relatório parcial de progresso do Trabalho de Formatura;
- Tratamento e Interpretação de dados obtidos em campo e formulação de resultados ;
- Elaboração e apresentação da monografia de formatura, resumo.

| Mês                                      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Atividade                                |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| Compilação Bibliográfica                 | X | X | X | X | X | X | X |   |    |    |
| Elaboração de projeto inicial            | X | X |   |   |   |   |   |   |    |    |
| Aprendizado na operação dos equipamentos |   | X | X |   |   |   |   |   |    |    |
| Reconhecimento da área                   |   |   | X |   |   |   |   |   |    |    |
| Levantamentos de campo                   |   |   |   | X | X |   |   |   |    |    |
| Elaboração de relatório parcial          |   |   |   |   |   | X | X |   |    |    |
| Interpretações                           |   |   |   | X | X | X | X | X | X  |    |
| Elaboração da Monografia                 |   |   |   |   |   |   | X | X | X  | X  |

## 7.2) Atividades realizadas

Foram realizados trabalhos de campo nos dias 07, 08, 09 e 10 de abril de 2003. O trabalho iniciou pelo estudo da malha a ser levantada de acordo com os dados da área escolhida para a disposição do aterro sanitário (foto 4).

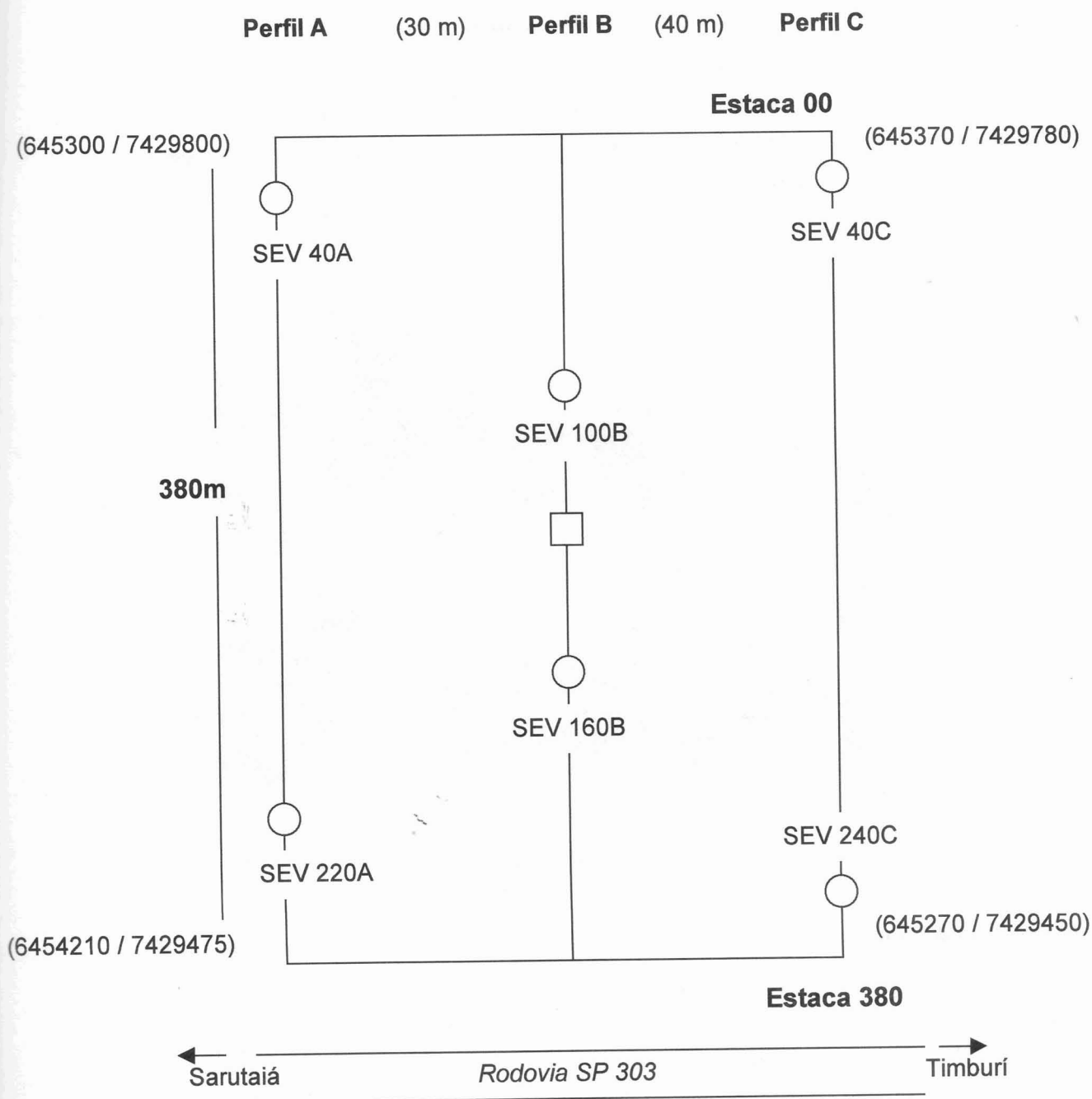


**Foto 4** – Escolha e marcação dos perfis de levantamento de dados.

Essa área se localiza na rodovia SP 303 próximo a entrada da cidade de Timburí-SP, numa fazenda local de nome Dominicana.

Foram escolhidos três perfis longitudinais e paralelos cobrindo toda a extensão do terreno, dispostos 30 e 40 metros um do outro.

O posicionamento da malha foi baseado em mapa (1:2 000) e medidas de GPS.



**Figura 8 .** Esboço da malha de levantamento de campo

Nos pontos no esboço localizados por círculos, foram executados Sondagens Elétricas Verticais (SEVs),

Ao longo dos perfis a, b e c e nos mesmos pontos de medidas do caminhamento elétrico, foram tomadas as medidas de potencial espontâneo a cada 20m. Sendo que estes Iniciaram na estaca 00 m e terminaram na estaca 380m, num total de 380 metros lineares de extensão.

A área total do levantamento foi de 70 X 380 metros, ou seja, 26.600 m<sup>2</sup>.

Durante o reconhecimento da área foi observada a presença de uma drenagem bem marcada, que está posicionada entre as estacas 260 e 300m na linha C, entre as estacas 250 e 310m na linha B e entre as estacas 270 e 310m na linha A.

Depois de escolhida a malha de realização dos trabalhos passou-se ao aprendizado de operação dos equipamentos utilizados pelos métodos geofísicos.

No caminhamento elétrico foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo com medidas de 20 em 20 metros, ou seja, espaçamento entre eletrodos de 20 metros e 5 níveis de investigação em profundidade (foto 5).



**Foto 5** – Equipe de campo durante o levantamento de dados de caminhamento elétrico.

Foram executadas seis sondagens elétricas verticais nas estacas 40m (perfil A e perfil C), 100m (Perfil B), 160m (Perfil B), 220m (Perfil A), 240m (Perfil C). Foi utilizado o arranjo Schumberger, com abertura máxima entre os eletrodos igual a 400 metros na Sev 100B.

No método do potencial espontâneo foi utilizado o arranjo/técnica dos potenciais ou base fixa.

Os levantamentos foram distribuídos da seguinte maneira:

Linha A – estaca 0 a 380 = 380 m;

Linha B – estaca 0 a 380 = 380 m;

Linha C 0 estaca 0 a 340 = 340 m;

SEV 40A – extensão AB = 300m;

SEV 40C – extensão AB = 300m;

SEV 100B – extensão AB = 400m;

SEV 160B – extensão AB = 300m;

SEV 220A – extensão AB = 200m;

SEV 240C – extensão AB = 250m;

Malha de SP = aproximadamente 26.600 m<sup>2</sup>.

Posteriormente, os dados coletados no levantamento de campo foram inseridos em programas específicos para cada um dos tipos de levantamento.

### **7.2.1) programas utilizados**

- Para a sondagem elétrica vertical - Schlumberger Automatic Analysis inversão 1-D e definição do modelo geoeletrico.
- Para o caminhamento elétrico – Surfer v. 8.0 para a construção automatizada das curvas de isovalores de resistividade elétrica aparente das pseudo-seções levantadas e blocos diagramas dos níveis escolhidos. R2DINV32 (Geoelectrical Imaging 2D & 3D, M. H. Loke) para inversão dos dados, e determinação de modelos bi-dimensionais de resistividade. (“imageamento” elétrico - Griffiths and Barker, 1993).
- Para o potencial espontâneo – Foi utilizado o programa Surfer v. 8.0 para a construção de um mapa de linhas de isovalores.

## **8) Interpretação e discussão dos dados**

### **SEV**

Os gráficos bi-log plotados pelo programa de inversão de dados - Schlumberger Automatic Analysis, mostram que as curvas de resistividade apresentam um certo padrão em todos os levantamentos, onde pode-se observar 4 camadas bem definidas com distribuição de resistividades  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$ .

As profundidades das camadas são:

Camada 1 → 2,7 – 4,14 metros

Camada 2 → 9,7 – 19,8 metros

Camada 3 → 47,9 - 68 metros

Camada 4 → Não se estima.

A camada 1 é considerada como “solo seco”.

A camada 2 constitui um espesso pacote de rocha alterada, ou seja, de basalto intemperizados, provavelmente seco.

A camada 3 foi caracterizada como sendo basalto são, correspondente ao basalto da Formação Serra Geral, o que pode ser avaliado por ser um material bem resistivo.

A camada 4 caracteriza-se por resistividade baixa, podendo ser interpretado como arenito correspondente ao arenito da Formação Botucatu.

Os gráficos de interpretação das SEV-s estão abaixo apresentadas e os dados de campo estão nos anexos (anexo 1).

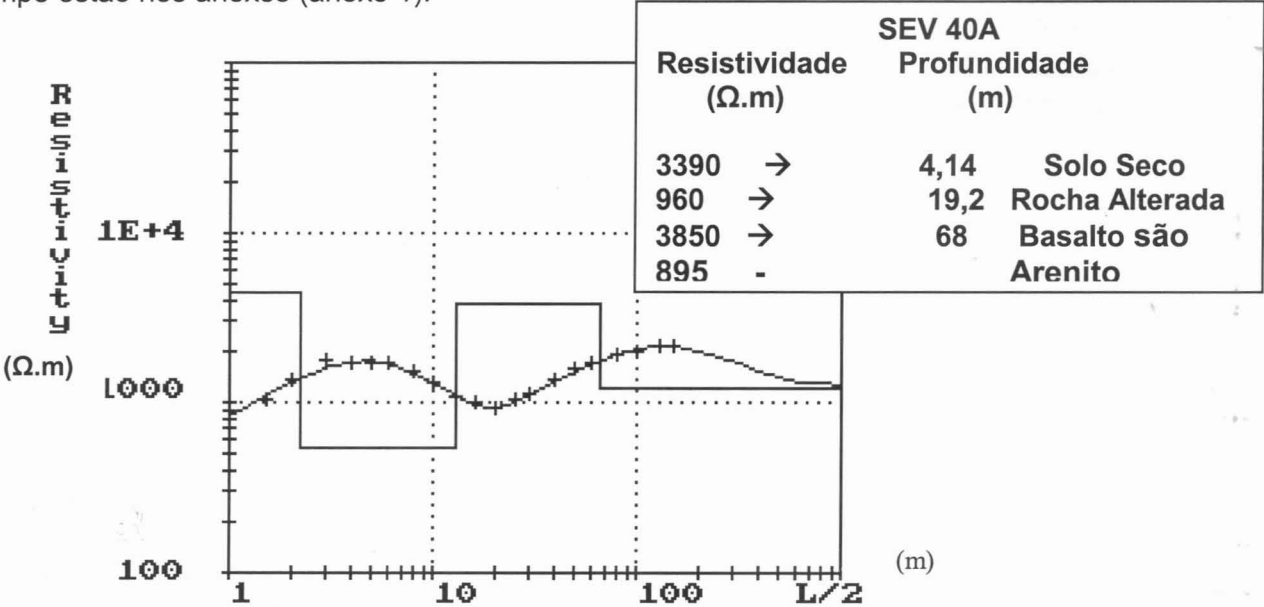


Figura 9 – Gráfico bi-logarítmico de sondagem elétrica vertical – 40A e sua interpretação.

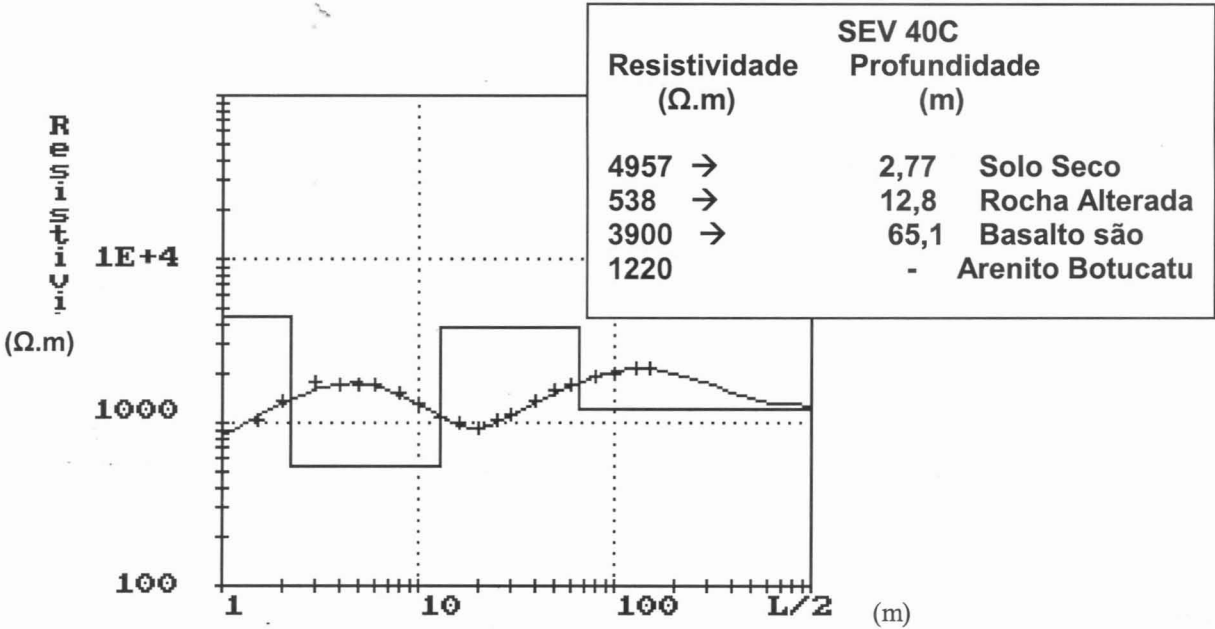


Figura 10 – Gráfico bi-logarítmico de sondagem elétrica vertical – 40C e sua interpretação.

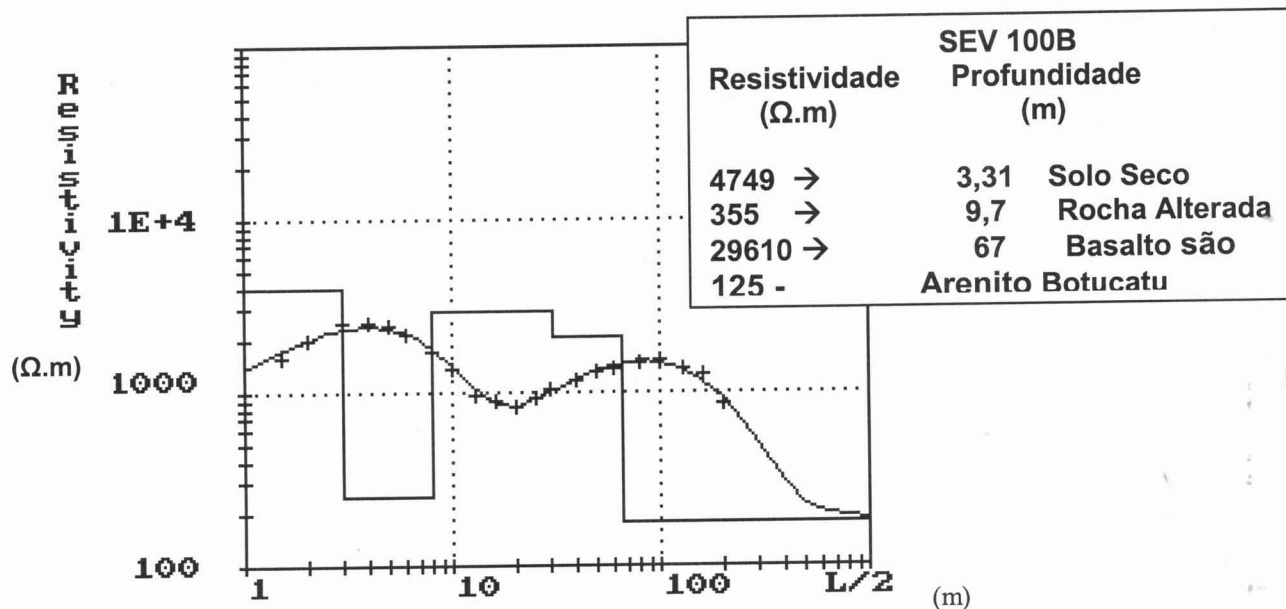


Figura 11 – Gráfico bi-logarítmico da Sondagem elétrica vertical – 100B e interpretação.

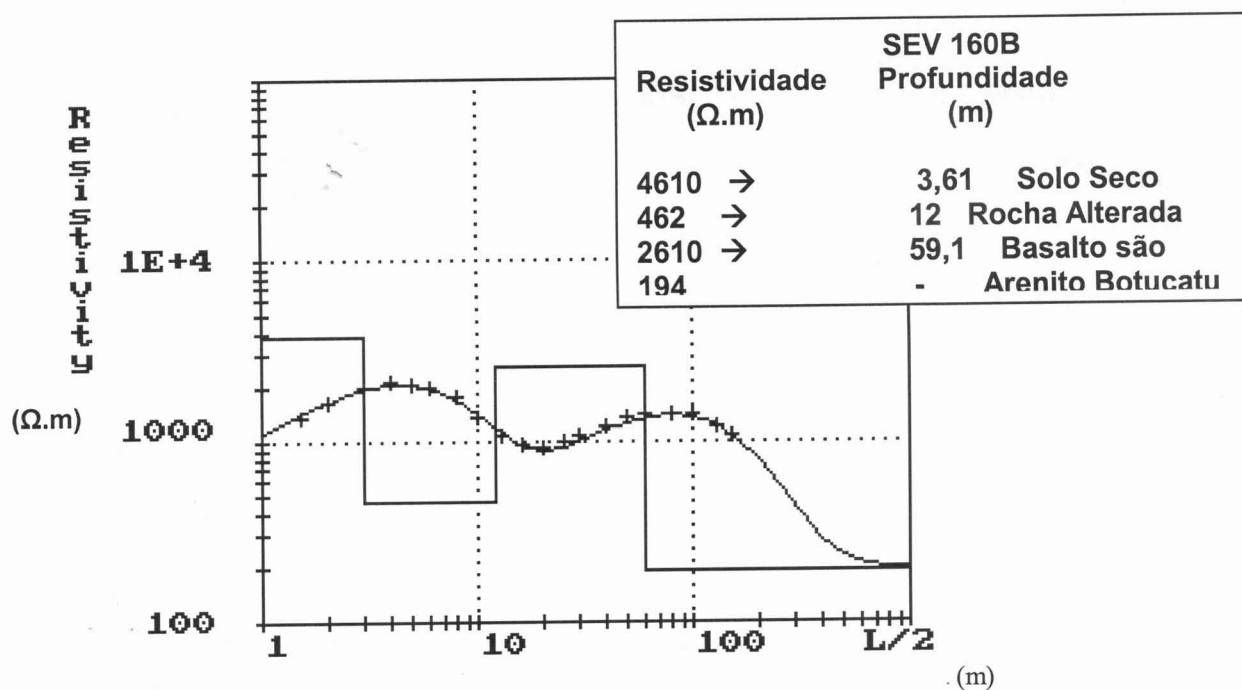
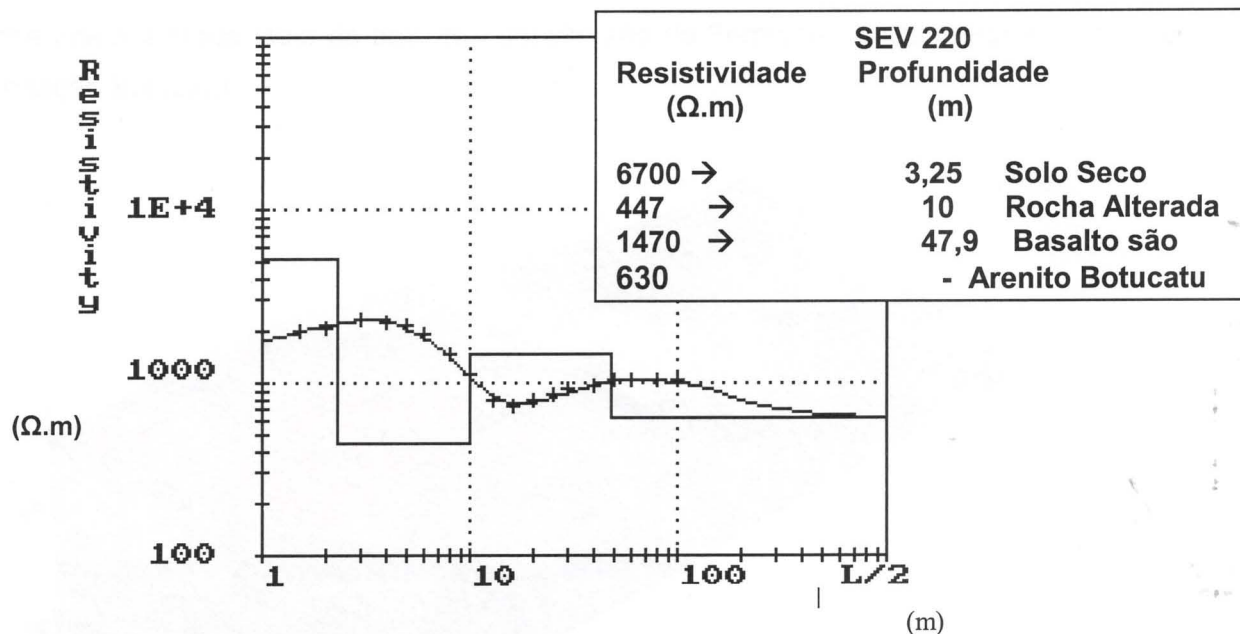
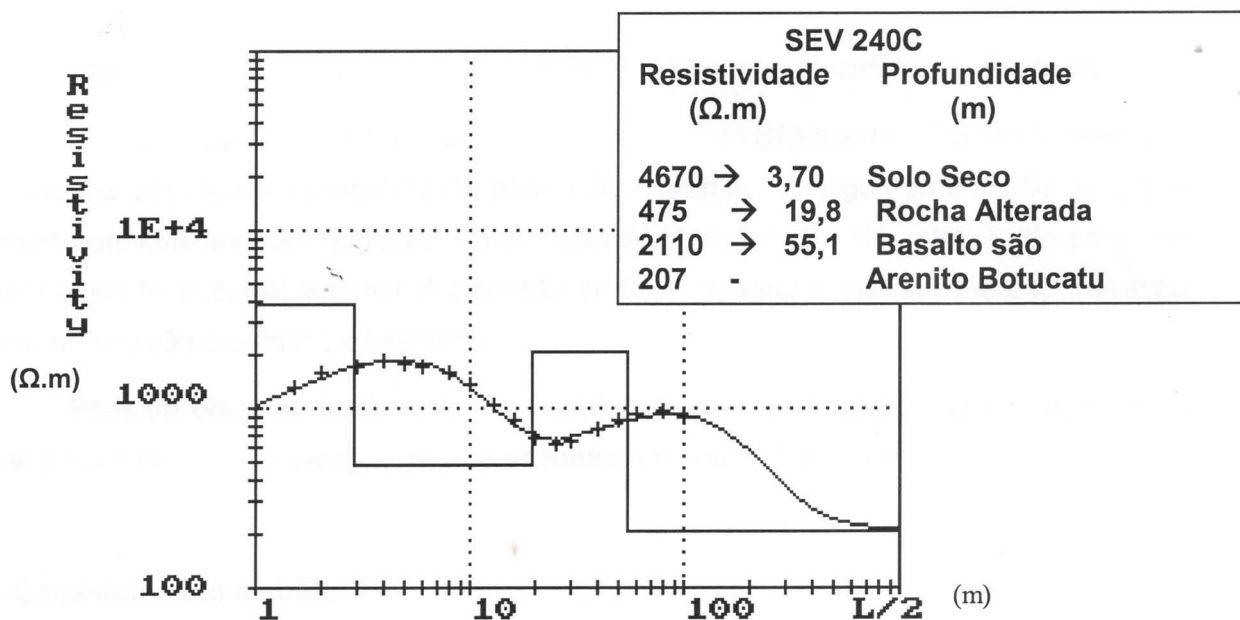


Figura 12 – Gráfico bi-logarítmico de Sondagem elétrica vertical – 160B e sua interpretação.



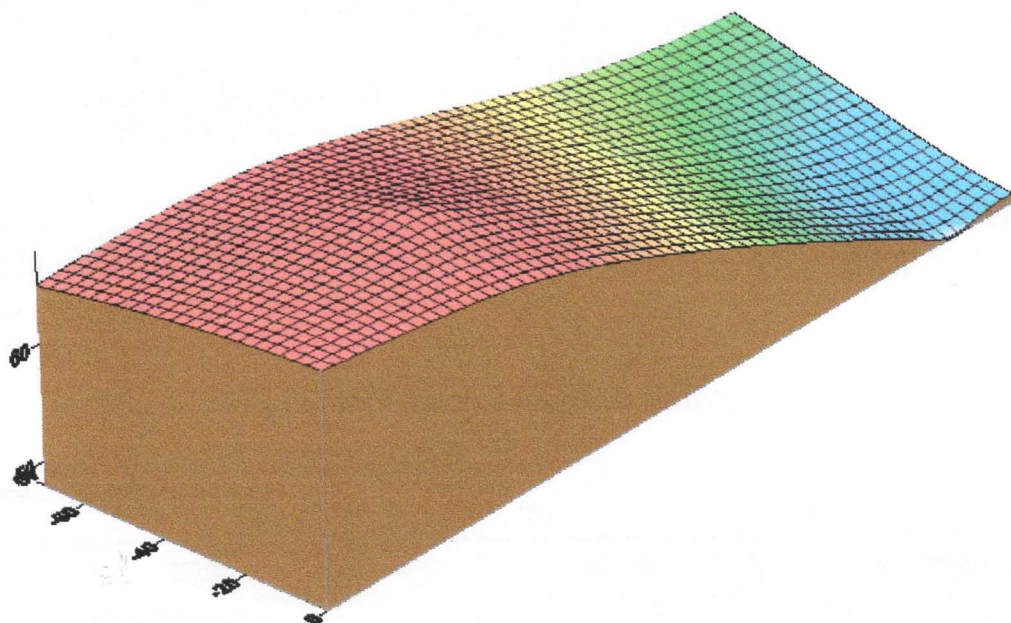
**Figura 13** – Gráfico bi-logarítmico de sondagem elétrica vertical – 220A. E sua interpretação



**Figura 14** – Gráfico bi-logarítmico de sondagem elétrica vertical – 240C. E sua interpretação.

Foram interpretados 4 estratos geoeletricos, e pôde-se determinar o topo do arenito Botucatu (figura 15) em cada uma das SEVs. Com os dados obtidos nesses extratos pode-se correlacionar com a geologia local, sendo a primeira camada de solo, a segunda

rocha intemperizada (solo de basalto), basalto são da Formação Serra Geral e arenito da Formação Botucatu.



**Figura 15** – Boco diagrama representando o topo do Botucatu/base do basalto.

Não foi possível a identificação do nível d'água, nas SEVs e também não foram feitas sondagens que estavam programadas para o doutorado do geólogo Fernando Saraiva, que seriam aproveitadas para enriquecer o trabalho de formatura. Porém, através do potencial espontâneo foi possível determinar a direção do fluxo de água subterrânea que tem direção geral em direção à estrutura detectada.

Pode-se observar também que a estrutura não está encaixada na drenagem para qual o fluxo de água converge, mas se encontra um pouco deslocada.

#### → Caminhamento elétrico

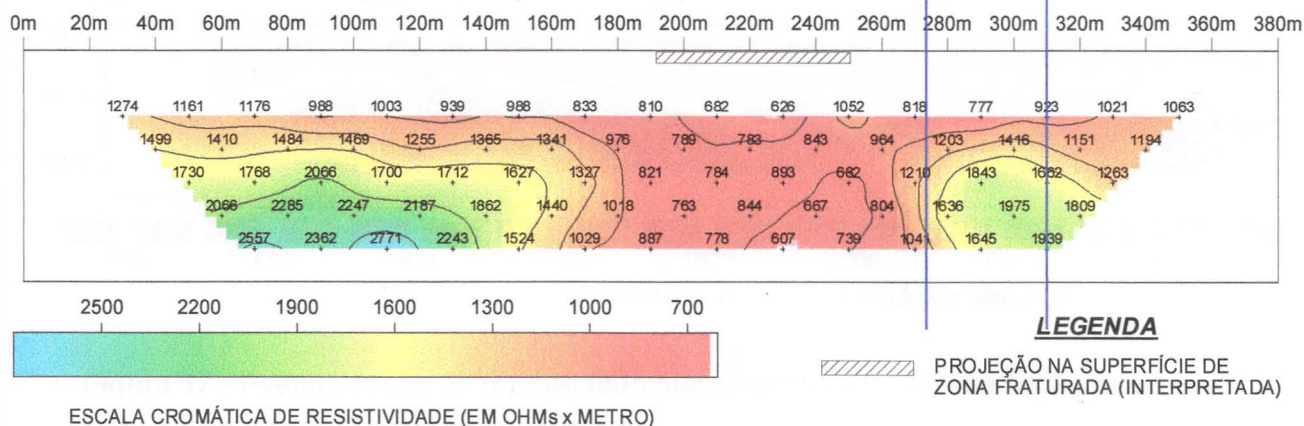
Os dados obtidos em campo dos perfis de caminhamento elétrico, estão apresentados em tabelas no anexo (anexo 2) e estão plotados em pseudo-seções de resistividade aparente, e seções modeladas, obtendo-se assim um modelo geoeletrico por este processamento. Esses modelos podem, ser diretamente comparados com o dado real de campo.

Na pseudo-seção de resistividade aparente da linha A (figura 16), está clara a presença de uma estrutura entre as estacas 170m e 250m e pode ser mais bem caracterizada a sua dimensão na seção modelada abaixo.

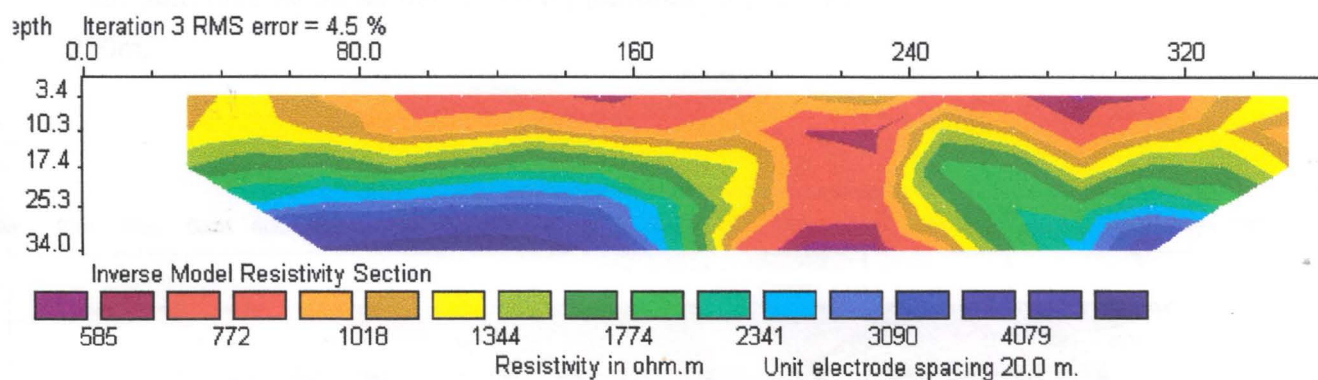
## LINHA A

Drenagem

### PSEUDO-SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE



### SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE



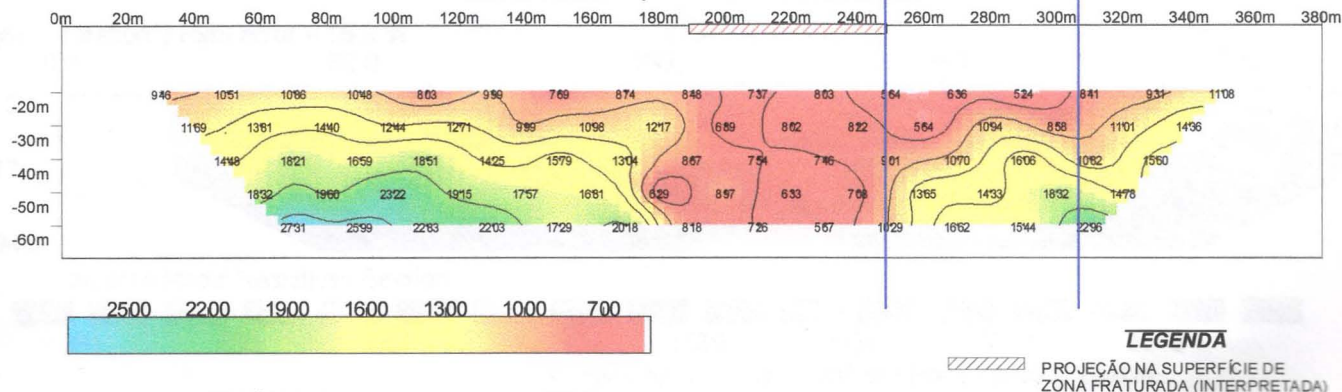
**Figura 16** - Pseudo-seção de resistividade aparente da linha A e sua seção modelada.

Já na pseudo-seção da linha B (figura 17) essa estrutura está presente entre as estacas 190m e 250m, o que segue a mesma localização.

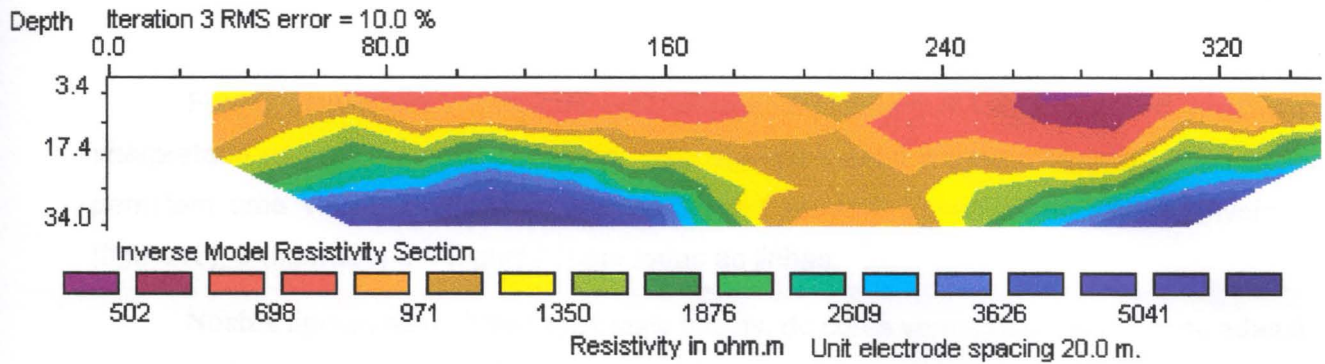
## LINHA B

Drenagem

### LINHA B - PSEUDO-SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE



# SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE



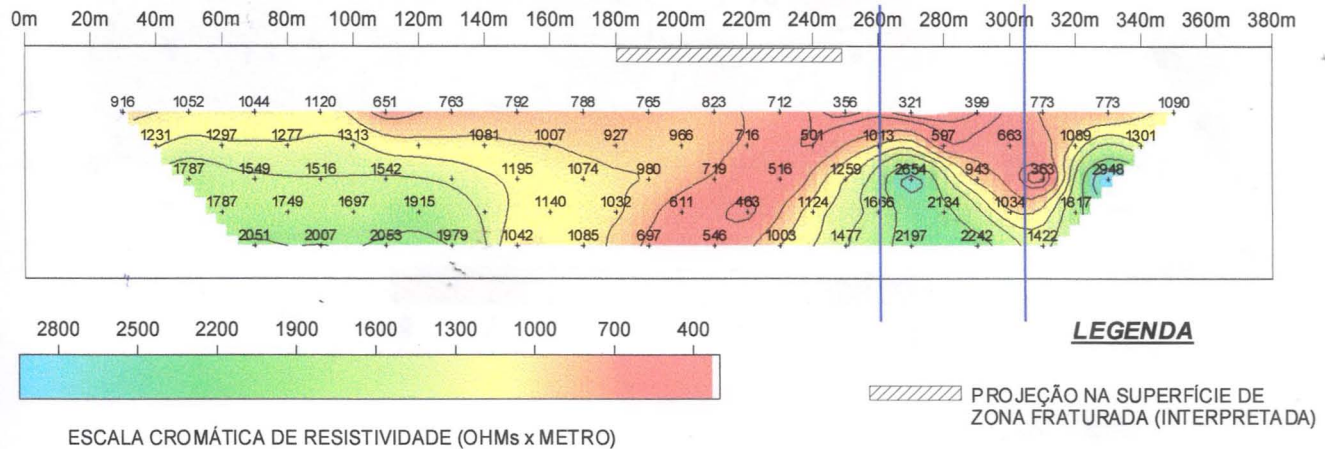
**Figura 17** - Pseudo-seção de resistividade aparente da linha B e sua seção modelada

Na linha C (figura 18) fica um pouco menos evidente a presença dessa zona fraturada, mas ainda se percebe uma perturbação das iso-linhas entre as estacas 180m e 250m.

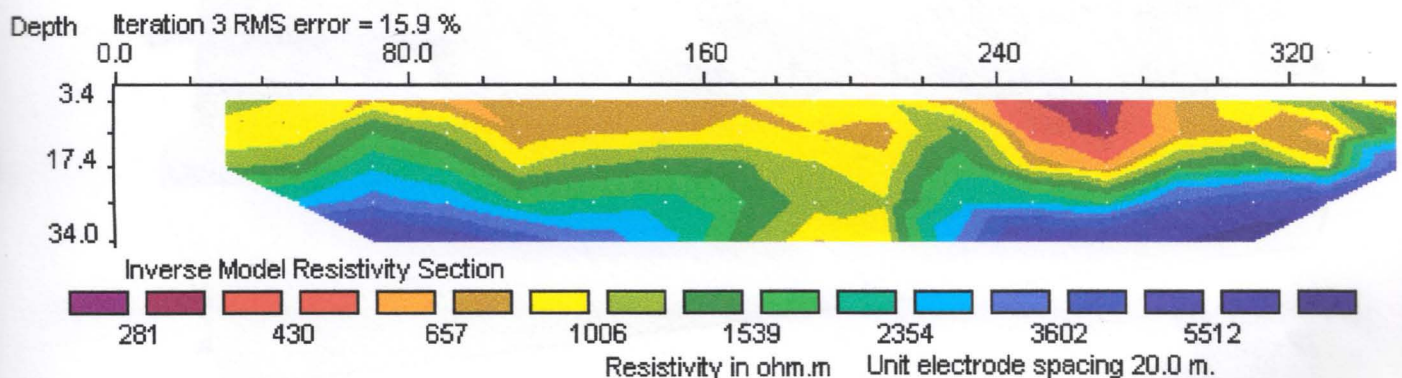
## LINHA C

Drenagem

### LINHA C - PSEUDO-SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE



### SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE



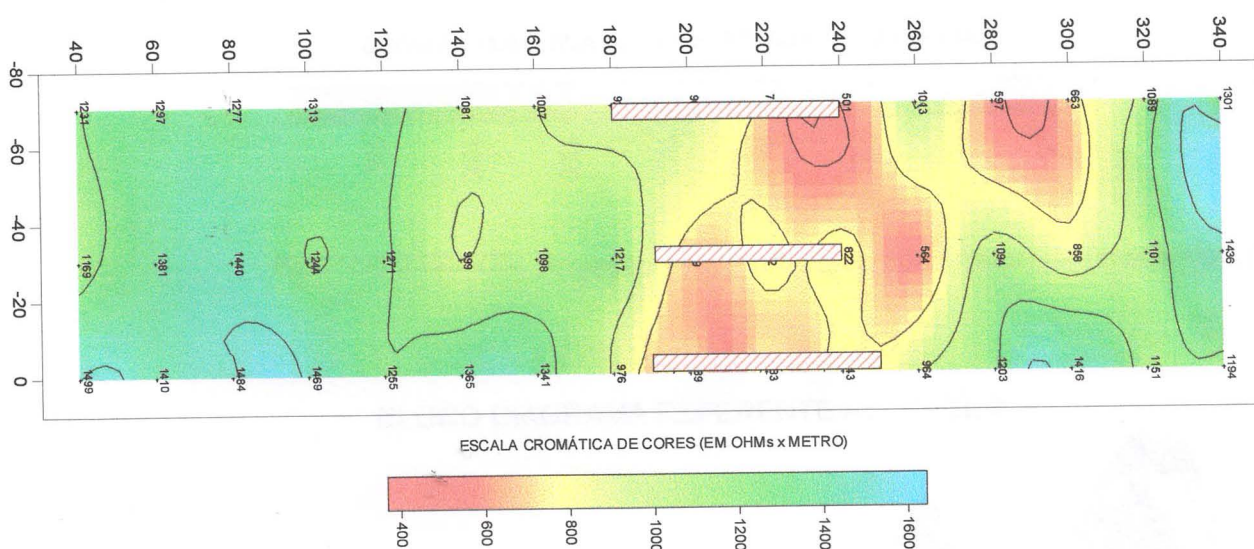
**Figura 18** - Pseudo-seção de resistividade aparente da linha C e sua seção modelada

Foram escolhidos níveis que melhor representassem e localizassem a estrutura interpretada como uma zona fraturada, disposta em mapas e blocos diagramas 3D, que permitem uma visualização em planta da zona fraturada. Esses níveis são os níveis 2 (figura19), 3 (figura20) e 4 (figura21) em todas as linhas.

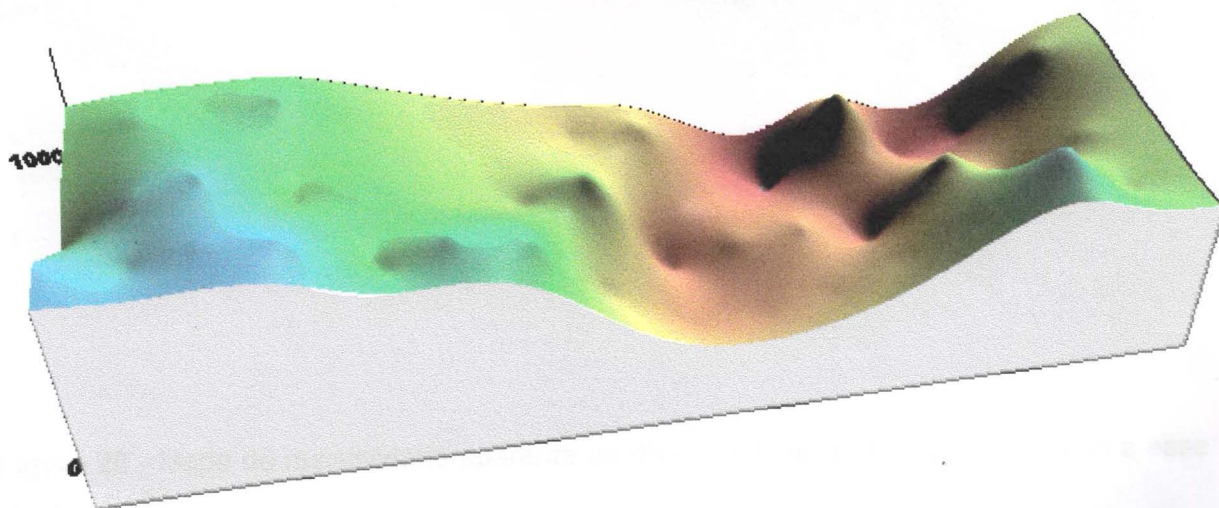
Nestas figuras as resistividades mais baixas, de cores vermelhas, estão associadas à presença da possível zona de fraturamento/falhas detectadas ao longo das linhas ensaiadas. Essas fraturas estão representadas em planta por retângulos achurados em vermelho.

## NÍVEL 2

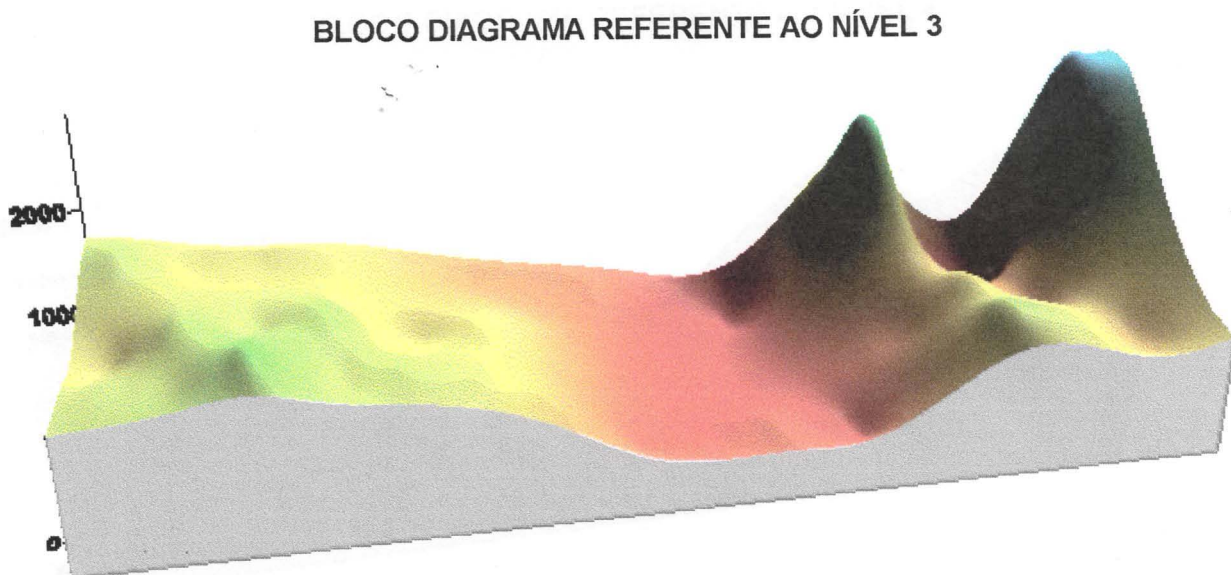
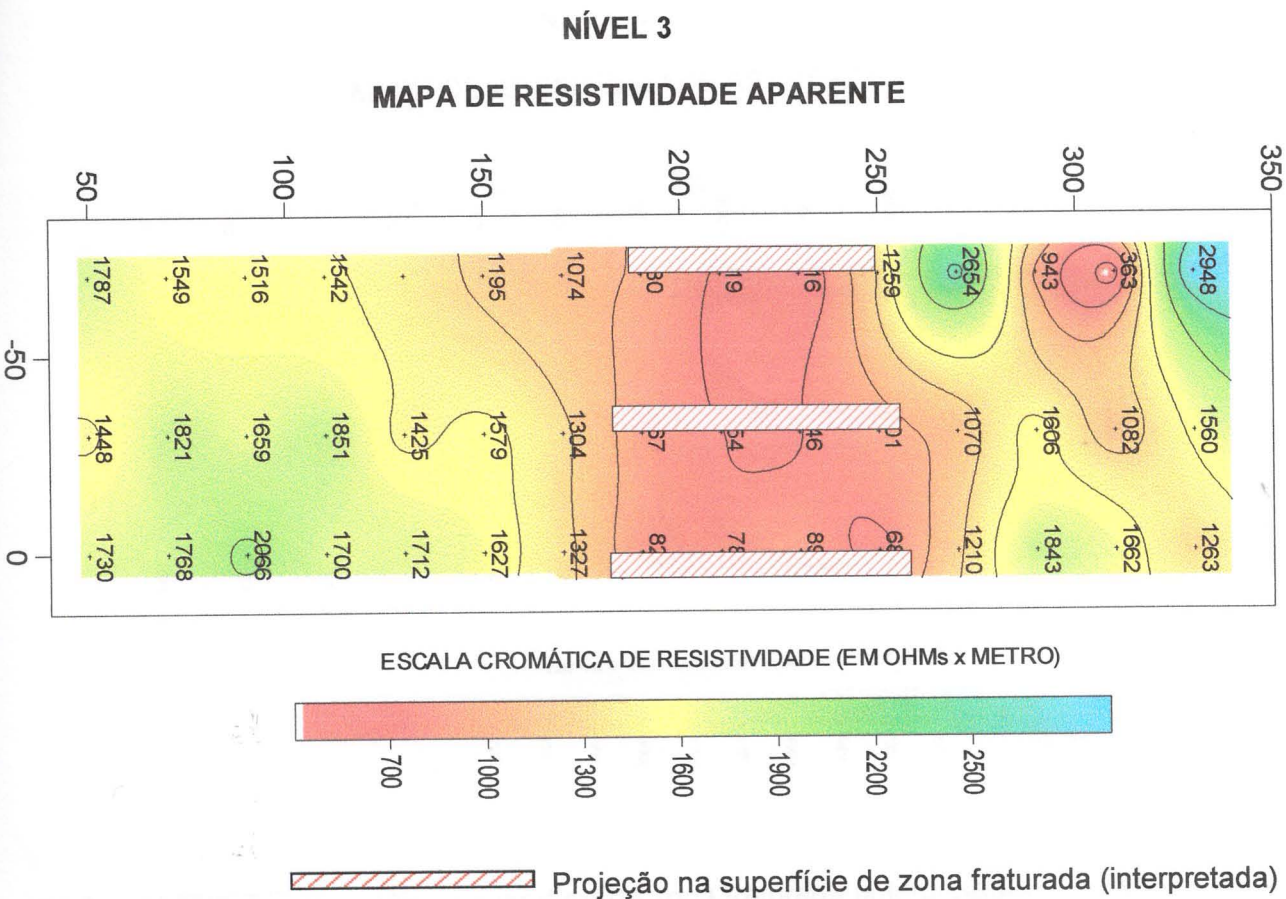
### MAPA DE RESISTIVIDADE APARENTE



### BLOCO DIAGRAMA REFERENTE AO NÍVEL 2



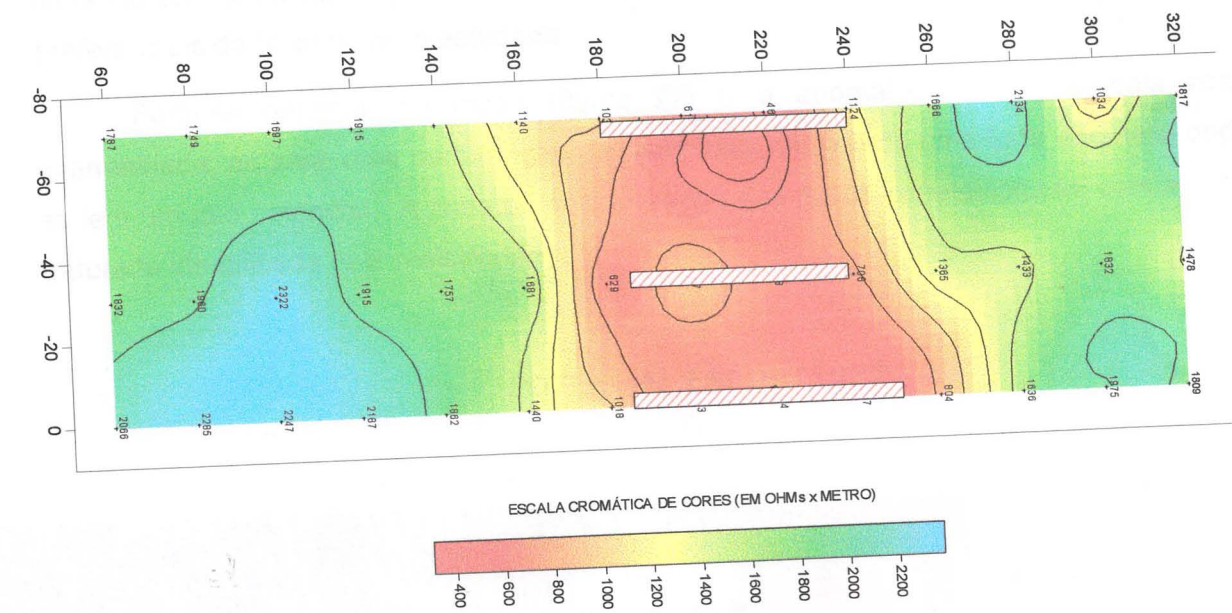
**Figura 19** - Mapa de resistividade aparente do nível 2 e o bloco diagrama referente esse nível.



**Figura 20** - Mapa de resistividade aparente do nível 3 e o bloco diagrama referente a esse nível.

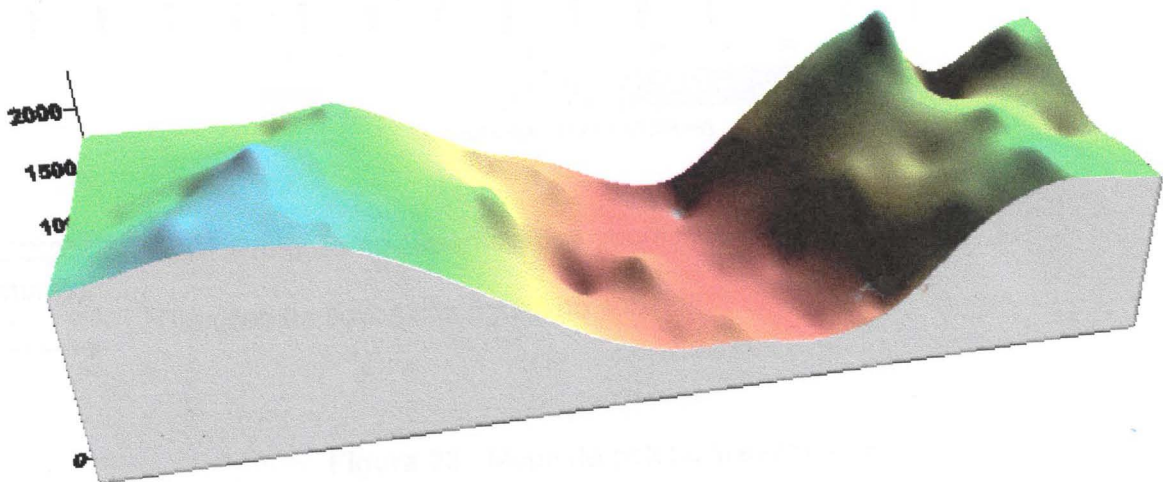
## NÍVEL 4

### MAPA DE RESISTIVIDADE APARENTE



Projeção na superfície de zona fraturada (interpretada)

### BLOCO DIAGRAMA REFERENTE AO NÍVEL 4

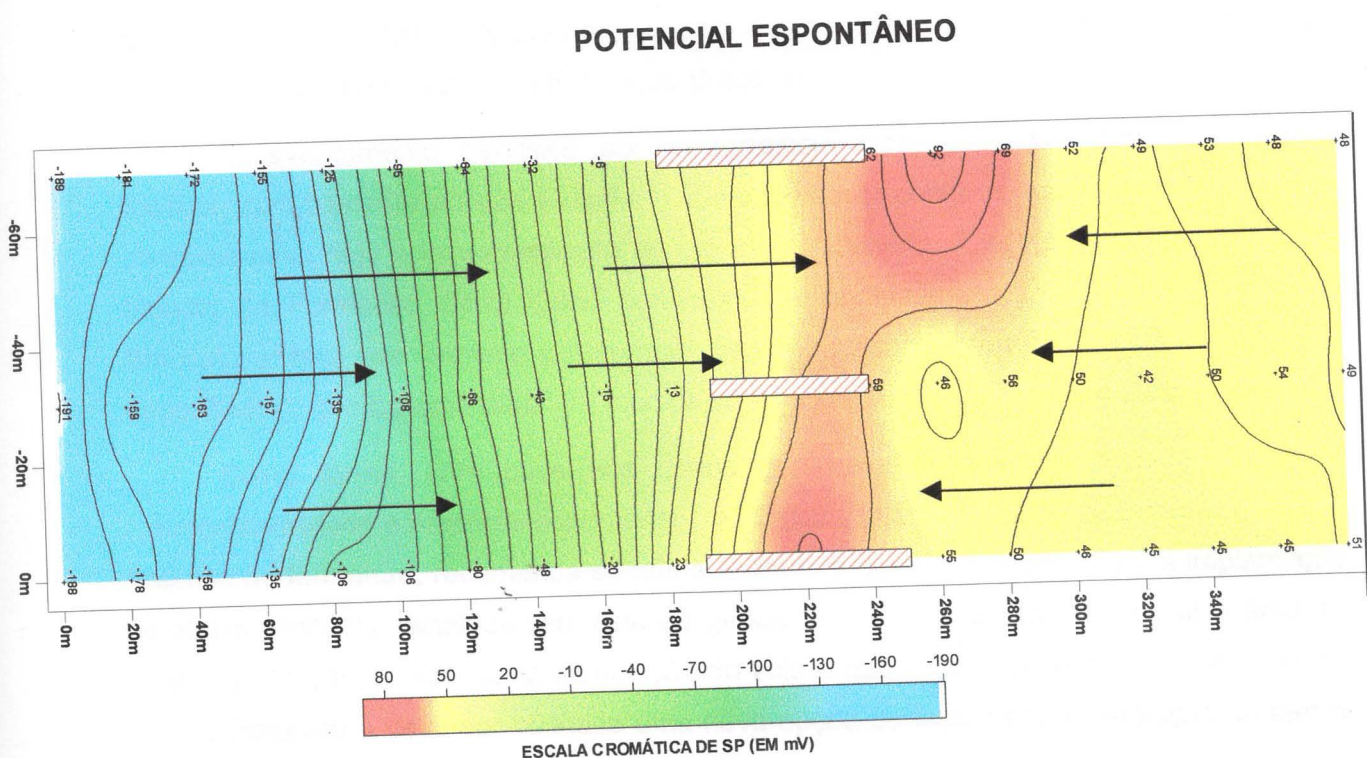


**Figura 21** - Mapa de resistividade aparente do nível 4 e o bloco diagrama referente a esse nível.

## → Potencial espontâneo

Os resultados do levantamento geofísico do método do potencial espontâneo estão plotados em forma de mapa de isovalores de SP, com o objetivo de indicar as direções preferenciais de fluxo na área estudada.

Pode-se observar no mapa (figura 22) uma anomalia identificada pela zona avermelhada, ou seja, uma perturbação das iso-linhas mostrando uma forte anomalia onde se tem um alto potencial. A zona de concentração dos fluxos correlaciona-se com a zona fraturada identificada pela resistividade.



Projeção na superfície das anomalias de resistividade (fraturas).

Direções de fluxos das águas do subsolo.

**Figura 22 - Mapa de potencial espontâneo**

## 10) Conclusões

Além do aprendizado da metodologia geofísica aplicada a casos ambientais e hidrogeologia, os resultados estão sendo usados como subsídios fundamentais na implementação do aterro sanitário no município de Timburi.

Apesar do local apresentar solo decorrente de intemperismo de rocha basáltica e sendo um pacote razoavelmente espesso (com espessura máxima de 68m e mínima de 47,9m, interpretados pelas sondagens elétricas verticais) no qual, uma compactação adequada e uma preparação de acordo com as exigências da CETESB, poderia garantir um local seguro. No entanto, os levantamentos geofísicos detectaram a presença de uma grande descontinuidade, interpretada como uma falha no basalto da Formação Serra Geral, que se estende até o arenito da Formação Botucatu.

O levantamento geofísico por eletrorresistividade, com caminhamento elétrico, mostrou com bastante clareza o local em que pode haver contaminação pela percolação de chorume caso haja a implementação de um aterro sanitário. A estrutura diagnosticada no basalto da Formação Serra Geral certamente se estende até o arenito da Formação Botucatu e será um caminho preferencial de infiltração do chorume gerado pelo lixo ali depositado, o que caracterizaria um foco de contaminação do solo e águas subterrâneas.

Desta forma, com base nos dados geofísicos obtidos nos levantamentos de eletrorresistividade e potencial espontâneo, refinados e interpretados no desenvolvimento do trabalho de formatura, recomenda-se que a Prefeitura descarte esta área para implantação do aterro sanitário, escolhida sem estudos geocientíficos prévios. Trata-se de uma área na qual é muito alto o risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas, inclusive do arenito Botucatu e deve ser buscada uma nova opção de local para a instalação do aterro sanitário.

O desenvolvimento do trabalho obteve o êxito esperado, não só pelos resultados obtidos como também pelo âmbito no qual o mesmo foi desenvolvido, em que estiveram juntos os interesses acadêmicos e o da Prefeitura de Timburi. Os custos referentes às despesas diretas para realização deste Trabalho de Formatura (hospedagem, refeições, combustível, ajudantes de campo etc) foram assumidos pela prefeitura que, por sua vez, usará estes resultados em benefício da comunidade local.

## 11) Referências bibliográficas

- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; Neves, B.B.B. 1976. The upper precambrian of South América. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. (Boletim 7 )
- AQUINO W. F., 2000. Métodos Geofísicos Eletromagnéticos Aplicados ao Diagnóstico da Contaminação do Solo e das Águas Subterrâneas em Áreas de Infiltração e Resíduos Industriais. Dissertação de Mestrado. P111.
- DEHAINI, J., 1995 - Avaliação da aplicabilidade de métodos geofísicos em estudos de casos de contaminação de águas subterrâneas por diferentes fontes . Dissertação de mestrado São Paulo,. 70p.
- ERNESTO, M. & PACCA, I.G. 1998. Paleomagnetism of the Paraná basin flood volcanism Southern Brazil. In: PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A J.(EDS). *The Mezosoic flood Volcanism of the Paraná Basin*. São Paulo, Editora IAG/USP, p 229-255.
- GALLAS, J. D. F. 2000 – Principais Métodos Geoelétricos e suas Aplicações em Prospeção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. Rio Claro, 174p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- GRETSKY, P., BARBAUR, R., ASIMENIOS, G. S. 1990 – Geophysics, pit surreys reduce unartaintly. *Pollution Engineering*, june, p 102-108.
- IPT. 1981, 1981 b. Mapa Geológico do estado de São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo. 2v (monografias, 6) 126p.
- IPT. 1995c. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/Cempre. 278p. (IPT – Publicação, 2163).

- KELLER, G. V. & FRISCHKNECHT, F. C. 1977. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Oxford : Pergamon Press, 1977, 517p.
- MENDES J. M. B., 1987 – Técnicas Geofísicas Aplicadas no Mapeamento e Monitoramento da Poluição e Contaminação de Águas Subterrâneas. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo IG- USP.
- MILANI, E.J. 1997. *Evolução tectono-estrutural da Bacia do Paraná e seu relacionamento Com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 255p.
- MONTANHEIRO, T. J. 1999 – Prospecção e caracterização de Pozolanas na Bacia do Paraná, estado de São Paulo. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo. 226p
- ORELLANA, E. *Prospeccion geoeletrica em corriente continua*. Madrid: Paraninfo, 1972, 523p.
- RENNE, P. R.; ERNESTO, M.; PACCA, I. G. ; COE, R. S.; GLEN, J. M.; PERIN, M. 1992. The age of Paraná Flood Volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, 258:975-979.
- TELFORD, W. M. , GELDART, L. P. , SHERIFF, R. E. *Applied geophysics. Second Edition*. Cambridge: Cambridge university Press, 1990, 770p.
- Sites:
- 1) <http://www.citybrazil.com.br/sp/timburi/geral.htm>
  - 2) <http://www.geologiabrasil.hpg.ig.com.br/LINKS/BACIAS/baciaparana.htm>
  - 3) [www.origins.swau.edu/papers/geologic/lava/gifs/fig2.html](http://www.origins.swau.edu/papers/geologic/lava/gifs/fig2.html)

## Anexo 1

### Sev 40 Perfil C

| AB / 2 | MN/2 | K       | $\Delta V / I$ | $\rho$ |
|--------|------|---------|----------------|--------|
| 1,5    | 0,5  | 6,28    | 166,3          | 1044   |
| 2,0    | 0,5  | 11,78   | 116,1          | 1368   |
| 3,0    | 0,5  | 27,48   | 63,6           | 1748   |
| 4,0    | 0,5  | 49,48   | 34,1           | 1687   |
| 5,0    | 0,5  | 77,75   | 21,8           | 1695   |
| 6,0    | 0,5  | 112,31  | 15,03          | 1688   |
| 8,0    | 0,5  | 200,27  | 7,46           | 1494   |
| 10,0   | 0,5  | 313,37  | 4,14           | 1297   |
| 13,0   | 0,5  | 530,14  | 2,03           | 1076   |
| 16,0   | 0,5  | 803,46  | 1,221          | 981    |
| 20,0   | 0,5  | 1255,85 | 0,724          | 909    |
| 20,0   | 2,0  | 311,01  | 2,83           | 880    |
| 25,0   | 0,5  | 1962,71 | 0,518          | 1016   |
| 25,0   | 2,0  | 487,73  | 2,01           | 980    |
| 30,0   | 2,0  | 703,71  | 1,567          | 1133   |
| 40,0   | 2,0  | 1253,49 | 1,046          | 1341   |
| 50,0   | 2,0  | 1960,35 | 0,777          | 1553   |
| 60,0   | 2,0  | 2824,29 | 0,582          | 1674   |
| 80,0   | 2,0  | 5023,40 | 0,371          | 1894   |
| 100,0  | 2,0  | 7850,84 | 0,249          | 1985   |
| 130,0  | 2,0  | 13270   | 0,160          | 2153   |
| 150,0  | 2,0  | 1766,31 | 0,120          | 2150   |

### Sev 40 Perfil A

| AB / 2 | MN/2 | K       | $\Delta V / I$ | $\rho$ |
|--------|------|---------|----------------|--------|
| 1,5    | 0,5  | 6,28    | 181,7          | 1141   |
| 2,0    | 0,5  | 11,78   | 112,3          | 1323   |
| 3,0    | 0,5  | 27,48   | 57             | 1566   |
| 4,0    | 0,5  | 49,48   | 34,6           | 1712   |
| 5,0    | 0,5  | 77,75   | 21,4           | 1664   |
| 6,0    | 0,5  | 112,31  | 14,29          | 1604   |
| 8,0    | 0,5  | 200,27  | 7,47           | 1496   |
| 10,0   | 0,5  | 313,37  | 4,67           | 1463   |
| 13,0   | 0,5  | 530,14  | 2,62           | 1389   |
| 16,0   | 0,5  | 803,46  | 1,651          | 1326   |
| 20,0   | 0,5  | 1255,85 | 0,997          | 1252   |
| 20,0   | 2,0  | 311,01  | 3,62           | 1126   |
| 25,0   | 0,5  | 1962,71 | 0,637          | 1250   |
| 25,0   | 2,0  | 487,73  | 2,31           | 1126   |
| 30,0   | 2,0  | 703,71  | 1,684          | 1310   |
| 40,0   | 2,0  | 1253,49 | 1,055          | 1447   |
| 50,0   | 2,0  | 1960,35 | 0,781          | 1656   |
| 60,0   | 2,0  | 2824,29 | 0,609          | 1845   |
| 80,0   | 2,0  | 5023,40 | 0,392          | 2094   |
| 100,0  | 2,0  | 7850,84 | 0,264          | 2198   |
| 130,0  | 2,0  | 13270   | 0,1562         | 2197   |
| 150,0  | 2,0  | 1766,31 | 0,106          | 1998   |

## Sev 100 Perfil B

| AB / 2 | MN/2 | K        | $\Delta V / I$ | $\rho$  |
|--------|------|----------|----------------|---------|
| 1,5    | 0,5  | 6,28     | 254            | 1595,12 |
| 2,0    | 0,5  | 11,78    | 170,6          | 2009    |
| 3,0    | 0,5  | 27,48    | 90,8           | 2495    |
| 4,0    | 0,5  | 49,48    | 51,2           | 2533    |
| 5,0    | 0,5  | 77,75    | 31,1           | 2418    |
| 6,0    | 0,5  | 112,31   | 19,06          | 2141    |
| 8,0    | 0,5  | 200,27   | 8,57           | 1716    |
| 10,0   | 0,5  | 313,37   | 4,23           | 1325    |
| 13,0   | 0,5  | 530,14   | 1,834          | 972     |
| 16,0   | 0,5  | 803,46   | 1,108          | 890     |
| 20,0   | 0,5  | 1255,85  | 0,664          | 834     |
| 20,0   | 2,0  | 311,01   | 2,53           | 787     |
| 25,0   | 0,5  | 1962,71  | 0,471          | 924     |
| 25,0   | 2,0  | 487,73   | 1,791          | 873     |
| 30,0   | 2,0  | 703,71   | 1,376          | 1015    |
| 40,0   | 2,0  | 1253,49  | 0,894          | 1168    |
| 50,0   | 2,0  | 1960,35  | 0,627          | 1276    |
| 60,0   | 2,0  | 2824,29  | 0,469          | 1372    |
| 60,0   | 5,0  | 1123,11  | 1,419          | 1594    |
| 80,0   | 2,0  | 5023,40  | 0,286          | 1484    |
| 80,0   | 5,0  | 2020,76  | 0,864          | 1746    |
| 100,0  | 5,0  | 3133,73  | 0,560          | 1528    |
| 130,0  | 5,0  | 5301,43  | 0,324          | 1491    |
| 150,0  | 5,0  | 7060,72  | 0,221          | 1333    |
| 160,0  | 5,0  | 8034,62  | 0,186          | 1267    |
| 200,0  | 5,0  | 12558,51 | 0,0867         | 861     |

## Sev 160 Perfil B

| AB / 2 | MN/2 | K       | $\Delta V / I$ | $\rho$  |
|--------|------|---------|----------------|---------|
| 1,5    | 0,5  | 6,28    | 254            | 1369    |
| 2,0    | 0,5  | 11,78   | 170,6          | 1633    |
| 3,0    | 0,5  | 27,48   | 90,8           | 1965    |
| 4,0    | 0,5  | 49,48   | 51,2           | 2137    |
| 5,0    | 0,5  | 77,75   | 31,1           | 2068    |
| 6,0    | 0,5  | 112,31  | 19,06          | 1995    |
| 8,0    | 0,5  | 200,27  | 8,57           | 1768    |
| 10,0   | 0,5  | 313,37  | 4,23           | 1372    |
| 13,0   | 0,5  | 530,14  | 1,834          | 1086    |
| 16,0   | 0,5  | 803,46  | 1,108          | 939     |
| 20,0   | 0,5  | 1255,85 | 0,664          | 905     |
| 20,0   | 2,0  | 311,01  | 2,53           | 954     |
| 25,0   | 0,5  | 1962,71 | 0,471          | 981     |
| 25,0   | 2,0  | 487,73  | 1,791          | 1034    |
| 30,0   | 2,0  | 703,71  | 1,376          | 1072    |
| 40,0   | 2,0  | 1253,49 | 0,894          | 11203   |
| 50,0   | 2,0  | 1960,35 | 0,627          | 1328    |
| 60,0   | 2,0  | 2824,29 | 0513           | 1399    |
| 60,0   | 5,0  | 1123,11 | 1,390          | 1561,12 |

|       |     |         |       |      |
|-------|-----|---------|-------|------|
| 80,0  | 2,0 | 5023,40 | 0,286 | 1484 |
| 80,0  | 5,0 | 2020,76 | 0,796 | 1608 |
| 100,0 | 2,0 | 7850,84 | 0,182 | 1428 |
| 100   | 5,0 | 3133,73 | 0,498 | 1398 |
| 130,0 | 5,0 | 5301,43 | 0,261 | 1222 |
| 150,0 | 5,0 | 7060,72 | 0,174 | 1066 |

### Sev 220 Profil A

| AB / 2 | MN/2 | K       | $\Delta V / I$ | $\rho$ |
|--------|------|---------|----------------|--------|
| 1,5    | 0,5  | 6,28    | 315            | 1978,2 |
| 2,0    | 0,5  | 11,78   | 177,4          | 2089,7 |
| 3,0    | 0,5  | 27,48   | 83,6           | 2297   |
| 4,0    | 0,5  | 49,48   | 45,3           | 2241   |
| 5,0    | 0,5  | 77,75   | 27,3           | 2123   |
| 6,0    | 0,5  | 112,31  | 17,07          | 1917   |
| 8,0    | 0,5  | 200,27  | 7,24           | 1449   |
| 10,0   | 0,5  | 313,37  | 3,54           | 1109   |
| 13,0   | 0,5  | 530,14  | 1,478          | 783    |
| 16,0   | 0,5  | 803,46  | 0,920          | 739,18 |
| 20,0   | 0,5  | 1255,85 | 0,618          | 776    |
| 20,0   | 2,0  | 311,01  | 2,30           | 715    |
| 25,0   | 0,5  | 1962,71 | 0,436          | 856    |
| 25,0   | 2,0  | 487,73  | 1,617          | 788,6  |
| 30,0   | 2,0  | 703,71  | 1,2            | 305    |
| 40,0   | 2,0  | 1253,49 | 0,727          | 972    |
| 50,0   | 2,0  | 1960,35 | 0,490          | 1021   |
| 60,0   | 2,0  | 2824,29 | 0,340          | 1021   |
| 80,0   | 2,0  | 5023,40 | 0,193          | 1031   |
| 100,0  | 2,0  | 7850,84 | 0,125          | 1042   |

### Sev 240 Profil C

| AB / 2 | MN/2 | K       | $\Delta V / I$ | $\rho$ |
|--------|------|---------|----------------|--------|
| 1,5    | 0,5  | 6,28    | 210            | 1318   |
| 2,0    | 0,5  | 11,78   | 131            | 1543   |
| 3,0    | 0,5  | 27,48   | 62,3           | 1712   |
| 4,0    | 0,5  | 49,48   | 36,7           | 1816   |
| 5,0    | 0,5  | 77,75   | 22,9           | 1780   |
| 6,0    | 0,5  | 112,31  | 15,25          | 1713   |
| 8,0    | 0,5  | 200,27  | 7,72           | 1546   |
| 10,0   | 0,5  | 313,37  | 4,30           | 1347   |
| 13,0   | 0,5  | 530,14  | 1,960          | 1039   |
| 16,0   | 0,5  | 803,46  | 1,071          | 860,5  |
| 20,0   | 0,5  | 1255,85 | 0,549          | 689    |
| 20,0   | 2,0  | 311,01  | 2,19           | 681    |
| 25,0   | 0,5  | 1962,71 | 0,324          | 635    |
| 25,0   | 2,0  | 487,73  | 1,285          | 626    |
| 30,0   | 2,0  | 703,71  | 0,919          | 646    |
| 40,0   | 2,0  | 1253,49 | 0,605          | 758    |
| 50,0   | 2,0  | 1960,35 | 0,427          | 837    |
| 60,0   | 2,0  | 2824,29 | 0,326          | 920    |
| 80,0   | 2,0  | 5023,40 | 0,188          | 944    |
| 100,0  | 2,0  | 7850,84 | 0,1117         | 877    |

## Anexo 2

### Caminhamento elétrico - Perfil A

| Posição dos eletrodos |     |     |     | Resistividade Dipolo-Dipolo |       |        |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----------------------------|-------|--------|
| A                     | B   | M   | N   | $\Delta V/I$                | K     | $\rho$ |
| 0                     | 20  | 40  | 60  | 3,38                        | 377   | 1274   |
|                       |     | 60  | 80  | 0,9994                      | 1508  | 1499   |
|                       |     | 80  | 100 | 0,459                       | 3770  | 1730   |
|                       |     | 100 | 120 | 0,274                       | 7540  | 2066   |
|                       |     | 120 | 140 | 0,1938                      | 13195 | 2557   |
|                       |     | 60  | 80  | 3,08                        | 377   | 1161   |
|                       |     | 80  | 100 | 0,935                       | 1508  | 1410   |
|                       |     | 100 | 120 | 0,469                       | 3770  | 1768   |
| 20                    | 40  | 120 | 140 | 0,303                       | 7540  | 2285   |
|                       |     | 140 | 160 | 0,179                       | 13195 | 2362   |
|                       |     | 80  | 100 | 3,12                        | 377   | 1176   |
|                       |     | 100 | 120 | 0,984                       | 1508  | 1484   |
|                       |     | 120 | 140 | 0,548                       | 3770  | 2066   |
|                       |     | 140 | 160 | 0,298                       | 7540  | 2247   |
|                       |     | 160 | 180 | 0,210                       | 13195 | 2771   |
|                       |     | 100 | 120 | 2,62                        | 377   | 988    |
| 40                    | 60  | 120 | 140 | 0,974                       | 1508  | 1469   |
|                       |     | 140 | 160 | 0,451                       | 3770  | 1700   |
|                       |     | 160 | 180 | 0,290                       | 7540  | 2187   |
|                       |     | 180 | 200 | 0,170                       | 13195 | 2243   |
| 60                    | 80  | 120 | 140 | 2,66                        | 377   | 1003   |
|                       |     | 140 | 160 | 0,832                       | 1508  | 1255   |
|                       |     | 160 | 180 | 0,454                       | 3770  | 1712   |
|                       |     | 180 | 200 | 0,247                       | 7540  | 1862   |
|                       |     | 200 | 220 | 0,1155                      | 13195 | 1524   |
|                       |     | 140 | 160 | 2,49                        | 377   | 939    |
|                       |     | 160 | 180 | 0,905                       | 1508  | 1365   |
|                       |     | 180 | 200 | 0,432                       | 83770 | 1627   |
| 80                    | 100 | 200 | 220 | 0,191                       | 7540  | 1440   |
|                       |     | 220 | 240 | 0,078                       | 13195 | 1029   |
|                       |     | 160 | 180 | 2,62                        | 377   | 988    |
|                       |     | 180 | 200 | 0,889                       | 1508  | 1341   |
| 100                   | 120 | 200 | 220 | 0,352                       | 3770  | 1327   |
|                       |     | 220 | 240 | 0,135                       | 7540  | 1018   |
|                       |     | 240 | 260 | 0,0672                      | 13195 | 887    |
|                       |     | 180 | 200 | 2,21                        | 377   | 833    |
| 120                   | 140 | 200 | 220 | 0,647                       | 1508  | 976    |
|                       |     | 220 | 240 | 0,218                       | 3770  | 821    |
|                       |     | 240 | 260 | 0,1012                      | 7540  | 763    |
|                       |     | 260 | 280 | 0,059                       | 13195 | 778    |
| 140                   | 160 | 200 | 220 | 2,15                        | 377   | 810    |
|                       |     | 220 | 240 | 0,523                       | 1508  | 789    |
|                       |     | 240 | 260 | 0,208                       | 3770  | 784    |
|                       |     | 260 | 280 | 0,112                       | 7540  | 844    |

|     |     |     |     |        |       |      |
|-----|-----|-----|-----|--------|-------|------|
|     |     | 280 | 300 | 0,046  | 13195 | 607  |
| 180 | 200 | 220 | 240 | 1,808  | 377   | 682  |
|     |     | 240 | 260 | 0,519  | 1508  | 783  |
|     |     | 260 | 280 | 0,237  | 3770  | 893  |
|     |     | 280 | 300 | 0,0885 | 7540  | 667  |
|     |     | 300 | 320 | 0,056  | 13195 | 739  |
| 200 | 220 | 240 | 260 | 1,66   | 377   | 626  |
|     |     | 260 | 280 | 0,559  | 1508  | 843  |
|     |     | 280 | 300 | 0,181  | 3770  | 682  |
|     |     | 300 | 320 | 0,1067 | 7540  | 804  |
|     |     | 320 | 340 | 0,0789 | 13195 | 1041 |
| 220 | 240 | 260 | 280 | 2,79   | 377   | 1052 |
|     |     | 280 | 300 | 0,639  | 1508  | 964  |
|     |     | 300 | 320 | 0,321  | 3770  | 1210 |
|     |     | 320 | 340 | 0,217  | 7540  | 1636 |
|     |     | 340 | 360 | 0,1247 | 13195 | 1645 |
| 240 | 260 | 280 | 300 | 2,17   | 377   | 818  |
|     |     | 300 | 320 | 0,798  | 1508  | 1203 |
|     |     | 320 | 340 | 0,489  | 3770  | 1843 |
|     |     | 340 | 360 | 0,262  | 7540  | 1975 |
|     |     | 360 | 380 | 0,147  | 13195 | 1939 |
| 260 | 280 | 300 | 320 | 2,06   | 377   | 776  |
|     |     | 320 | 340 | 0,939  | 1508  | 1416 |
|     |     | 340 | 360 | 0,441  | 3770  | 1662 |
|     |     | 360 | 380 | 0,240  | 7540  | 1809 |
| 240 | 260 | 280 | 300 | 2,45   | 377   | 923  |
|     |     | 300 | 320 | 0,763  | 1508  | 1151 |
|     |     | 320 | 340 | 0,335  | 7540  | 1263 |
| 260 | 280 | 300 | 320 | 2,71   | 377   | 1021 |
|     |     | 320 | 340 | 0,792  | 1508  | 1194 |
| 280 | 300 | 320 | 340 | 2,82   | 377   | 1063 |

#### Caminhamento elétrico - Perfil B

| Posição dos eletrodos |    |     |     | Resistividade Dipolo-Dipolo |       |        |
|-----------------------|----|-----|-----|-----------------------------|-------|--------|
| A                     | B  | M   | N   | $\Delta V/I$                | K     | $\rho$ |
| 0                     | 20 | 40  | 60  | 2,51                        | 377   | 947    |
|                       |    | 60  | 80  | 0,775                       | 1508  | 1169   |
|                       |    | 80  | 100 | 0,384                       | 3770  | 1448   |
|                       |    | 100 | 120 | 0,243                       | 7540  | 1832   |
|                       |    | 120 | 140 | 0,207                       | 13195 | 2731   |
| 20                    | 40 | 60  | 80  | 2,79                        | 377   | 1051   |
|                       |    | 80  | 100 | 0,916                       | 1508  | 1381   |
|                       |    | 100 | 120 | 0,483                       | 3770  | 1821   |
|                       |    | 120 | 140 | 0,260                       | 7540  | 1960   |
|                       |    | 140 | 160 | 0,197                       | 13195 | 2599   |
| 40                    | 60 | 80  | 100 | 2,88                        | 377   | 1086   |
|                       |    | 100 | 120 | 0,955                       | 1508  | 1440   |
|                       |    | 120 | 140 | 0,440                       | 3770  | 1669   |
|                       |    | 140 | 160 | 0,308                       | 7540  | 2322   |

|     |     |     |     |       |       |      |
|-----|-----|-----|-----|-------|-------|------|
|     |     | 160 | 180 | 0,173 | 13195 | 2283 |
| 60  | 80  | 100 | 120 | 2,78  | 377   | 1048 |
|     |     | 120 | 140 | 0,825 | 1508  | 1244 |
|     |     | 140 | 160 | 0,491 | 3770  | 1851 |
|     |     | 160 | 180 | 0,254 | 7540  | 1915 |
|     |     | 180 | 200 | 0,167 | 13195 | 2203 |
| 80  | 100 | 120 | 140 | 2,13  | 377   | 803  |
|     |     | 140 | 160 | 0,843 | 1508  | 1271 |
|     |     | 160 | 180 | 0,378 | 3770  | 1425 |
|     |     | 180 | 200 | 0,233 | 7540  | 1757 |
|     |     | 200 | 220 | 0,131 | 13195 | 1729 |
| 100 | 120 | 140 | 160 | 2,65  | 377   | 999  |
|     |     | 160 | 180 | 0,773 | 1508  | 1166 |
|     |     | 180 | 200 | 0,419 | 83770 | 1579 |
|     |     | 200 | 220 | 0,223 | 7540  | 1681 |
|     |     | 220 | 240 | 0,753 | 13195 | 9935 |
| 120 | 140 | 160 | 180 | 2,04  | 377   | 769  |
|     |     | 180 | 200 | 0,728 | 1508  | 1098 |
|     |     | 200 | 220 | 0,346 | 3770  | 1304 |
|     |     | 220 | 240 | 0,110 | 7540  | 829  |
|     |     | 240 | 260 | 0,062 | 13195 | 818  |
| 140 | 160 | 180 | 200 | 2,32  | 377   | 874  |
|     |     | 200 | 220 | 0,807 | 1508  | 1217 |
|     |     | 220 | 240 | 0,230 | 3770  | 867  |
|     |     | 240 | 260 | 0,119 | 7540  | 897  |
|     |     | 260 | 280 | 0,055 | 13195 | 726  |
| 160 | 180 | 200 | 220 | 2,25  | 377   | 848  |
|     |     | 220 | 240 | 0,457 | 1508  | 689  |
|     |     | 240 | 260 | 0,200 | 3770  | 754  |
|     |     | 260 | 280 | 0,084 | 7540  | 633  |
|     |     | 280 | 300 | 0,043 | 13195 | 567  |
| 180 | 200 | 220 | 240 | 1,955 | 377   | 737  |
|     |     | 240 | 260 | 0,532 | 1508  | 802  |
|     |     | 260 | 280 | 0,198 | 3770  | 746  |
|     |     | 280 | 300 | 0,094 | 7540  | 708  |
|     |     | 300 | 320 | 0,078 | 13195 | 1029 |
| 200 | 220 | 240 | 260 | 2,13  | 377   | 803  |
|     |     | 260 | 280 | 0,545 | 1508  | 822  |
|     |     | 280 | 300 | 0,239 | 3770  | 901  |
|     |     | 300 | 320 | 0,181 | 7540  | 1365 |
|     |     | 320 | 340 | 0,126 | 13195 | 1663 |
| 220 | 240 | 260 | 280 | 1,496 | 377   | 564  |
|     |     | 280 | 300 | 0,442 | 1508  | 666  |
|     |     | 300 | 320 | 0,284 | 3770  | 1070 |
|     |     | 320 | 340 | 0,190 | 7540  | 1433 |
|     |     | 340 | 360 | 0,117 | 13195 | 1544 |
| 240 | 260 | 280 | 300 | 1,688 | 377   | 636  |
|     |     | 300 | 320 | 0,726 | 1508  | 1094 |
|     |     | 320 | 340 | 0,426 | 3770  | 1606 |
|     |     | 340 | 360 | 0,243 | 7540  | 1832 |

|     |     |     |     |       |       |      |
|-----|-----|-----|-----|-------|-------|------|
|     |     | 360 | 380 | 0,174 | 13195 | 2296 |
| 260 | 280 | 300 | 320 | 1,391 | 377   | 524  |
|     |     | 320 | 340 | 0,569 | 1508  | 858  |
|     |     | 340 | 360 | 0,287 | 3770  | 1082 |
|     |     | 360 | 380 | 0,196 | 7540  | 1478 |
| 240 | 260 | 280 | 300 | 2,23  | 377   | 841  |
|     |     | 300 | 320 | 0,738 | 1508  | 1101 |
|     |     | 320 | 340 | 0,414 | 7540  | 1560 |
| 260 | 280 | 300 | 320 | 2,47  | 377   | 931  |
|     |     | 320 | 340 | 0,952 | 1508  | 1436 |
| 280 | 300 | 320 | 340 | 2,94  | 377   | 1108 |

### Caminhamento elétrico - Perfil C

| Posição dos eletrodos |     |     |     | Resistividade Dipolo-Dipolo |       |         |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----------------------------|-------|---------|
| A                     | B   | M   | N   | $\Delta V/I$                | K     | $\rho$  |
| 0                     | 20  | 40  | 60  | 2,43                        | 377   | 916,11  |
|                       |     | 60  | 80  | 0,816                       | 1508  | 1230,51 |
|                       |     | 80  | 100 | 0,411                       | 3770  | 1549,47 |
|                       |     | 100 | 120 | 0,237                       | 7540  | 1786,98 |
|                       |     | 120 | 140 | 0,1554                      | 13195 | 2050,50 |
| 20                    | 40  | 60  | 80  | 2,79                        | 377   | 1051,83 |
|                       |     | 80  | 100 | 0,860                       | 1508  | 1296,88 |
|                       |     | 100 | 120 | 0,411                       | 3770  | 1549,47 |
|                       |     | 120 | 140 | 0,232                       | 7540  | 1749,28 |
|                       |     | 140 | 160 | 0,1521                      | 13195 | 2006,95 |
| 40                    | 60  | 80  | 100 | 2,77                        | 377   | 1044,29 |
|                       |     | 100 | 120 | 0,847                       | 1508  | 1277,27 |
|                       |     | 120 | 140 | 0,402                       | 3770  | 1515,54 |
|                       |     | 140 | 160 | 0,225                       | 7540  | 1696,5  |
|                       |     | 160 | 180 | 0,1556                      | 13195 | 2053,14 |
| 60                    | 80  | 100 | 120 | 2,97                        | 377   | 1119,69 |
|                       |     | 120 | 140 | 0,871                       | 1508  | 1313,47 |
|                       |     | 140 | 160 | 0,409                       | 3770  | 1541,93 |
|                       |     | 160 | 180 | 0,254                       | 7540  | 1915,16 |
|                       |     | 180 | 200 | 0,150                       | 13195 | 1979,25 |
| 80                    | 100 | 120 | 140 | 1,727                       | 377   | 651,07  |
|                       |     | 140 | 160 | 0,0989                      | 1508  | 149,14  |
|                       |     | 160 | 180 | 0,0434                      | 3770  | 163,62  |
|                       |     | 180 | 200 | 0,01211                     | 7540  | 91,31   |
|                       |     | 200 | 220 | 0,079                       | 13195 | 1042    |
| 100                   | 120 | 140 | 160 | 2,03                        | 377   | 765,31  |
|                       |     | 160 | 180 | 0,717                       | 1508  | 1081    |
|                       |     | 180 | 200 | 0,317                       | 83770 | 1195,09 |
|                       |     | 200 | 220 | 0,1512                      | 7540  | 1140,05 |
|                       |     | 220 | 240 | 0,0822                      | 13195 | 1084,63 |
| 120                   | 140 | 160 | 180 | 2,10                        | 377   | 791,7   |
|                       |     | 180 | 200 | 0,668                       | 1508  | 1007,34 |
|                       |     | 200 | 220 | 0,285                       | 3770  | 1074,45 |
|                       |     | 220 | 240 | 0,1369                      | 7540  | 1032,23 |
|                       |     | 240 | 260 | 0,0528                      | 13195 | 696,69  |

|     |     |     |     |        |       |         |
|-----|-----|-----|-----|--------|-------|---------|
| 140 | 160 | 180 | 200 | 2,09   | 377   | 787,93  |
|     |     | 200 | 220 | 0,615  | 1508  | 927,42  |
|     |     | 220 | 240 | 0,260  | 3770  | 980,2   |
|     |     | 240 | 260 | 0,081  | 7540  | 610,74  |
|     |     | 260 | 280 | 0,0414 | 13195 | 546,27  |
| 160 | 180 | 200 | 220 | 2,03   | 377   | 765,31  |
|     |     | 220 | 240 | 0,641  | 1508  | 966,28  |
|     |     | 240 | 260 | 0,1906 | 3770  | 718,56  |
|     |     | 260 | 280 | 0,0614 | 7540  | 462,96  |
|     |     | 280 | 300 | 0,076  | 13195 | 1002,82 |
| 180 | 200 | 220 | 240 | 2,18   | 377   | 821,86  |
|     |     | 240 | 260 | 0,475  | 1508  | 716,3   |
|     |     | 260 | 280 | 0,1368 | 3770  | 515,74  |
|     |     | 280 | 300 | 0,1491 | 7540  | 1124,21 |
|     |     | 300 | 320 | 0,1119 | 13195 | 1476,52 |
| 200 | 220 | 240 | 260 | 1,889  | 377   | 712,15  |
|     |     | 260 | 280 | 0,332  | 1508  | 500,66  |
|     |     | 280 | 300 | 0,334  | 3770  | 1259,18 |
|     |     | 300 | 320 | 0,221  | 7540  | 1666,34 |
|     |     | 320 | 340 | 0,1665 | 13195 | 2196,96 |
| 220 | 240 | 260 | 280 | 0,943  | 377   | 355,51  |
|     |     | 280 | 300 | 0,672  | 1508  | 1013,37 |
|     |     | 300 | 320 | 0,704  | 3770  | 2654,08 |
|     |     | 320 | 340 | 0,283  | 7540  | 21,3382 |
|     |     | 340 | 360 | 0,1699 | 13195 | 2241,83 |
| 240 | 260 | 280 | 300 | 0,851  | 377   | 320,83  |
|     |     | 300 | 320 | 0,396  | 1508  | 597,168 |
|     |     | 320 | 340 | 0,250  | 3770  | 942,5   |
|     |     | 340 | 360 | 0,1372 | 7540  | 1034,49 |
|     |     | 360 | 380 | 0,1078 | 13195 | 1422,42 |
| 260 | 280 | 300 | 320 | 1,059  | 377   | 399,24  |
|     |     | 320 | 340 | 0,440  | 1508  | 663,52  |
|     |     | 340 | 360 | 0,0962 | 3770  | 362,67  |
|     |     | 360 | 380 | 0,241  | 7540  | 1817,14 |
| 240 | 260 | 280 | 300 | 2,05   | 377   | 772,85  |
|     |     | 300 | 320 | 0,722  | 1508  | 1088,77 |
|     |     | 320 | 340 | 0,391  | 7540  | 2948,14 |
| 260 | 280 | 300 | 320 | 2,05   | 377   | 772,85  |
|     |     | 320 | 340 | 0,863  | 1508  | 1301,40 |
| 280 | 300 | 320 | 340 | 2,89   | 377   | 1089,53 |

## Anexo 4

### Potencial espontâneo Perfil A

| AB / 2 | $\Delta V$ |
|--------|------------|
| 0      | -188       |
| 20     | -178       |
| 40     | -158       |
| 60     | -135       |
| 80     | -106       |
| 100    | -106       |
| 120    | -80        |
| 140    | -48        |
| 160    | -20        |
| 180    | +23        |
| 200    | +53        |
| 220    | +73        |
| 240    | +58        |
| 260    | +55        |
| 280    | +50        |
| 300    | +46        |
| 320    | +45        |
| 340    | +45        |
| 360    | +45        |
| 380    | +51        |

### Potencial espontâneo Perfil B

| AB / 2 | $\Delta V$ |
|--------|------------|
| 0      | -191       |
| 20     | -159       |
| 40     | -163       |
| 60     | -157       |
| 80     | -135       |
| 100    | -108       |
| 120    | -66        |
| 140    | -43        |
| 160    | -15        |
| 180    | +13        |
| 200    | +36        |
| 220    | +61        |
| 240    | +59        |
| 260    | +46        |
| 280    | +56        |
| 300    | +50        |
| 320    | +42        |
| 340    | +50        |
| 360    | +54        |
| 380    | +49        |

### Potencial espontâneo Perfil C

| AB / 2 | $\Delta V$ |
|--------|------------|
| 0      | -189       |
| 20     | -181       |
| 40     | -172       |
| 60     | -155       |
| 80     | -125       |
| 100    | -95        |
| 120    | -64        |
| 140    | -32        |
| 160    | -6         |
| 180    | +27        |
| 200    | +38        |
| 220    | +58        |
| 240    | +62        |
| 260    | +92        |
| 280    | +69        |
| 300    | +52        |
| 320    | +49        |
| 340    | +53        |
| 360    | +48        |
| 380    | +48        |