

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS GEOELÉTRICOS EM  
ESTUDO E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES  
GEOLÓGICAS PARA A INSTALAÇÃO DE ATERRO  
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE TIMBURI-SP**

Flávio Luiz Vieira

Orientador: Dr. Prof. José Domingos Faraco Gallas

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF - 2004/09)

SÃO PAULO  
2004

TF  
V658  
FL.u

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900016378

**Utilização de Métodos Geoelétricos em Estudo e  
Avaliação das Condições Geológicas para a  
Instalação de um Aterro Sanitário no Município de  
Timburi - SP**

**Flávio Luiz Vieira**



Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas \_\_\_\_\_

Prof. Dr. José Roberto Canuto \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Paulo César Boggiani \_\_\_\_\_

São Paulo

2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS GEOELÉTRICOS EM  
ESTUDO E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES  
GEOLÓGICAS PARA A INSTALAÇÃO DE UM ATERRO  
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE TIMBURI-SP

Flávio Luiz Vieira



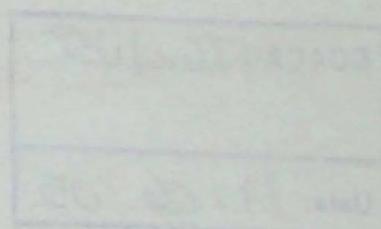
Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

*de acordo, prof. J. Faraco Gallas*

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

TF-IX-2004

São Paulo 2004



TF  
V658  
FL u



DOACAO IGC/UFP
Data: 27/06/05

## **AGRADECIMENTOS**

Às todas as pessoas, que de alguma forma, contribuíram para a elaboração deste Trabalho de Formatura desejo agradecer. E em especial.

Ao Prof. Dr José Domingos Faraco Gallas, pela dedicação como orientador e pela amizade.

Aos Profs. Drs. Thomas R. Fairchild e Fabio Taioli, pelas sugestões e revisões do resumo e sua tradução para a língua Inglesa.

Aos amigos e companheiros de casa, Fabrizio (condorito), Renato (lesma), Marcelo (bostão) e Bruno (chuck-nóia), pelos inúmeros momentos agradáveis ao longo desses anos.

Aos amigos e companheiros de turma pelos momentos inesquecíveis.

Ao técnico Paulinho e o pós-graduando Fernando Saraiva, pela ajuda na etapa de campo.

Ao Juracir, representante da Prefeitura de Timburi, pelo apoio logístico.

À minha família, Sr. José., Sra. Maria, Fabiana e Ricardo, Tatiana e Ademario, e Matheus, pelo apoio e incentivo ao longo desses anos.



Entardecer na área de trabalho, Timburi – SP.

Dedico este trabalho à meus pais,  
Sr. José e Sra. Maria,  
pois sem eles não seria possível essa realização.

## Índice

1. Resumo.....	2
2. Abstract .....	3
3.1 Localização .....	4
4. Objetivos .....	5
5. Trabalhos Prévios.....	6
5.1 Geologia Regional.....	7
5.1.1 Formação botucatu .....	7
5.1.3 Formação Serra Geral .....	8
6. Materiais e Métodos.....	9
6.1 Eletrorresistividade .....	10
6.1.1 Sondagem Elétrica Vertical (SEV) .....	11
6.1.2 Caminhamento Elétrico.....	12
6.2 Potencial Espontâneo .....	14
6.3 Programas utilizados .....	15
7. Desenvolvimento do Trabalho .....	15
7.1 Cronograma de atividades.....	16
7.2 Atividades Realizadas em Campo.....	16
8. Apresentação dos Resultados e Discussão .....	17
8.1 Petrografia .....	18
8.2 Sondagens Elétricas Verticais (SEVs) .....	18
8.3 Caminhamento Elétrico.....	25
8.4 Potencial Espontâneo (SP) .....	32
9. Conclusões .....	33
10. Referências Bibliográficas .....	34
ANEXOS: .....	36

## Índice de Figuras

Figura 1 – Mapa de localização do município no Estado de São Paulo. (Fonte: site oficial do Governo do Estado de São Paulo, modificado).	04
Figura 6.1 - Arranjo Schlumberger original de Braga (1997).	10
Figura 6.2 – . Arranjo Schlumberger original de Braga (1997).	11
Figura 6.3 - Esquema do método de campo do caminhamento elétrico, original de Braga (1997).	12
Figura 6.4 – Disposição inicial no campo do arranjo dipolo-dipolo, original de Braga (1997).	13
Figura 6.5 - Esquema da origem do Potencial Espontâneo, original de Braga, A.C.O.	14
Figura 7.1 – Esquema da distribuição das investigações realizadas em campo.	16
Figura 8.1 - Gráfico bi-logarítmico da SEV – A080.	18
Figura 8.2- Gráfico bi-logarítmico da SEV – A320.	18
Figura 8.3 - Gráfico bi-logarítmico da SEV – B140.	19
Figura 8.4 – Gráfico bi-logarítmico da SEV – B260.	19
Figura 8.5 - Gráfico bi-logarítmico da SEV – C080.	20
Figura 8.6 - Gráfico bi-logarítmico da SEV – C320.	20
Figura 8.7 – Seção geológica baseada em dados geofísicos.	22
Figura 8.8 – Esquema da superfície do contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral.	23
Figura 8.9 - Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade Linha A.	24
Figura 8.10 - Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade Linha B.	25
Figura 8.11 - Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade Linha C.	26
Figura 8.12 - Resistividade em planta e bloco diagrama do nível 1.	28
Figura 8.13 - Resistividade em planta e bloco diagrama do nível 3.	
Figura 8.14 - Resistividade em planta e bloco diagrama da nível 5.	29
Figura 8.15 – Mapa de isoconcentração para valores de SP.	30

## 1. Resumo

Este trabalho foi realizado conjuntamente com a Prefeitura do Município de Timburi, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP e com Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas - CEPAS. Teve como objetivo a verificação das características geológicas de uma área, previamente escolhida, para a implementação de um aterro sanitário.

Para a investigação foram utilizados métodos geoelétricos, como o potencial espontâneo com a técnica dos potenciais ou base fixa e o método da eletrorresistividade com a técnica do caminhamento elétrico, arranjo dipolo-dipolo e a técnica da sondagem elétrica vertical com o arranjo *Schlumberger*.

A área está situada sobre a Bacia do Paraná, sendo composta por rochas do Grupo São Bento. Na porção inferior ocorre o arenito da Formação Botucatu, sobreposto por rocha alterada a semi-alterada da Formação Serra Geral de composição ácida caracterizada como dacito.

Através da eletrorresistividade, foi realizada uma investigação da porção que recobre o arenito, analisando principalmente se possui estruturas verticais/subverticais favoráveis à percolação de água bem como a espessura do derrame. Com as informações obtidas será concluído se a área é adequada ou não para a instalação do aterro sanitário.

Por meio do método do potencial espontâneo foi possível identificar o sentido do fluxo da água subterrânea. Com isso será sugerida a localização de poços de monitoramento, visando analisar a eficiência da contenção do resíduo líquido produzido no aterro sanitário.

## 2. Abstract

This work was accomplished jointly with the Prefecture of the Municipality of Timburi, Instituto de Geociências of the Universidade de São Paulo (USP) and the Center of Research of Groundwater (CEPAS). Its objective was to verify the geological characteristics of an area chosen for the installation of a sanitary landfill.

For this investigation, two basic geoelectrical methods were employed: 1) the self-potential method using the technique of potentials or base and; 2) electroresistivity using the technique of the geoelectrical profiling, dipole-dipole array and the technique of the vertical electric sounding with the array Schlumberger.

The area is part of the Paraná Basin and is characterized by rocks of the São Bento Group. Sandstones Botucatu Formation are overlain altered to semi-altered acidic volcanic (dacite) of the Serra Geral Formation.

By means of the electroresistivity, the rocks covering the sandstone were investigated for vertical/subvertical structures favorable to the percolation of water for well as the thickness of the lavaflows. With the information obtained the area will be ended it is adapted or not for the installation of the sanitary landfill.

Through the self-potential method it was possible to identify the sense of flow of the groundwater. This information will be useful for suggesting the location of monitoring wells in order to analyze the efficiency of the contention of the liquid residue produced in the sanitary landfill.

### **3. Introdução**

A disposição inadequada de resíduos sólidos em áreas consideradas impróprias constituem uma realidade das pequenas e grandes cidades. A principal preocupação na implementação de um aterro sanitário é em relação a migração do chorume, que contém compostos orgânicos e íons metálicos, sendo que se seu confinamento e tratamento for inadequado pode ocasionar contaminação das águas superficiais ou subterrâneas.

Os métodos geofísicos têm se apresentado como uma ferramenta fundamental na investigação e diagnóstico de áreas pré-determinadas para instalação de aterros sanitários localizando zonas fraturadas ou muito permeáveis, entre outras caracterizações.

Atualmente o município de Timburi possui um lixão instalado inadequadamente e com sua capacidade de armazenamento praticamente esgotada. Localizado sobre a Formação Serra Geral, é possível que o lixão esteja transferindo contaminante (chorume) para as Rochas da Formação Botucatu, pois está praticamente “transbordando” e está próximo a uma escarpa onde aflora o contato entre o arenito e o basalto. Sendo assim é de grande interesse da prefeitura encontrar uma nova área adequada para a disposição de resíduos sólidos.

O emprego de métodos geofísicos em tais situações proporciona menores custos com uma quantidade menor de sondagens diretas, delimita o contorno de pluma de contaminação com exatidão, define zonas com maior condutibilidade hidráulica etc. No presente caso, o uso da geofísica teve um caráter preventivo, uma vez que será utilizada na detecção de anomalias que poderiam inviabilizar o projeto.

#### **3.1 Localização**

A área escolhida para este projeto está localizada no município de Timburi, SP (Figura 1), que possui seus limites geográficos com os municípios de Piraju, Ipaussu, Fartura, Sarutaiá e Ribeirão Claro no Estado do Paraná. O rio Itararé é a divisa natural entre os dois estados (represa de Xavantes).

O município de Timburi possui três mil habitantes, aproximadamente. O acesso pode ser feito pela rodovia Castelo Branco ou pela Rodovia Raposo Tavares.



Figura 1 – Mapa de localização do município no Estado de São Paulo. (Fonte: site oficial do Governo do Estado de São Paulo, modificado).

#### 4. Objetivos

Este trabalho de formatura possui como objetivo principal a verificação de aspectos hidrogeológicos, estruturais e estratigráficos de uma área pré-determinada no município de Timburi, usando métodos geoelétricos (eletromresistividade e potencial espontâneo). A área será destinada, caso seja considerada adequada, para a disposição de resíduos sólidos (Aterro Sanitário). Uma vez caracterizada a área como apropriada, poderão ser estabelecidas as medidas preventivas necessárias.

Através dos métodos da eletromresistividade e potencial espontâneo foi possível determinar o sentido preferencial do fluxo das águas subterrânea (SP), a presença ou não de

estruturas subverticais como fraturas, zonas de cisalhamento e falhas (Caminhamento Elétrico), o nível d'água, espessura do manto intempérico e contatos horizontais (Sondagem Elétrica Vertical – SEV).

## 5. Trabalhos Prévios

Os métodos de investigações indiretas foram empregados primeiramente na pesquisa e estudo de jazidas minerais. No entanto, foi verificado que a geofísica possui um grande potencial em outras áreas como, geologia ambiental, geologia de engenharia, hidrogeologia, paleontologia etc.

Em sua tese de doutoramento Ellert (1966), utilizou métodos geoelétricos (Sondagem Elétrica Vertical), para determinar a camada aquífera em sedimentos da Bacia do Paraná, próximo a Campinas. Entre outras coisas determinou-se valores de resistividades significativos para os diferentes litotipos como:

- Formação Botucatu saturado, da ordem de 30 Ohm.m;
- Formação Botucatu seco, varia entre 100 à 45.000 Ohm.m;
- Formação Serra Geral, varia entre 600 à 700 Ohm.m e de 5.000 à 6.000 Ohm.m;

Em um dos trabalhos pioneiros, no Brasil, da aplicação da geofísica à geologia ambiental Mendes (1987) utilizou métodos eletrorresistivos e eletromagnéticos indutivos para o mapeamento de áreas de aterros sanitários e de áreas de infiltração de efluentes na vizinhança de indústrias.

Gallas (2000) apresenta uma ampla revisão dos métodos geoelétricos e suas diversas aplicações com casos reais. Utilizando os métodos da eletrorresistividade, potencial espontâneo e polarização induzida, conjugados ou separadamente, foi possível: contemplar o contorno da pluma de contaminação e a orientação preferencial do movimento da pluma no Lixão do Alvarenga em São Bernardo do Campo SP; identificar anomalia em corpos de barragem associados a fluxo diferenciado de águas no substrato na Barragem Billings-Pedras; localizar fraturas em rochas cristalinas e aquíferos potenciais para a obtenção de água próximo a Represa Billings e o rio Pinheiros; mapear as ocorrências de Pb, Zn e Ag nas proximidades das Minas do Camaquã, no município de Caçapava do Sul – RS.

Aquino (2000) utilizando métodos eletromagnéticos e georadar (GPR) verificou, entre outros o posicionamento da pluma de contaminação, tanto em área como em profundidade e ainda o sentido de propagação da pluma, indicando uma disposição inadequada dos poços de

monitoramento. Contaminação essa provocada pela infiltração de resíduos da industria Sulfabráas.

### **5.1 Geologia Regional**

Segundo Zalán *et al* (1991) a Bacia do Paraná é uma vasta bacia intracratônica sul-americana, desenvolvida completamente sobre a crosta continental e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, cujas idades variam entre o Siluriano e o Cretáceo. Abrange uma área de cerca de 1.400.000km<sup>2</sup>, estendendo ao longo do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. Esta bacia ocupa a parte meridional do Brasil, a metade oriental do Paraguai, a região nordeste da Argentina e a metade ocidental do Uruguai. Ela possui um formato alongado na direção NNE-SSO (1.750km de comprimento), com uma largura média de 900km. Dois terços da porção brasileira é coberto por rochas vulcânicas, da unidade Serra Geral, que podem atingir 1700 metros de espessura. Já a estratigrafia da Bacia do Paraná consiste de cinco seqüências deposicionais principais que variam, em idade, do Ordoviciano ao Cretáceo. Sendo importante frisar que o preenchimento da bacia é predominantemente siliciclástica, sendo capeado pelo volumoso derrame de lavas basálticas sobre crosta continental da Terra.

Duas feições lineares de direções NO-SE e NE-SO, são as mais importantes de acordo com Zalán *et al* (1991), podendo serem constituídas como falhas simples ou extensas zonas de falhas com centenas de quilômetros de comprimento e poucas dezenas de largura. Esses dois grupos de lineamentos são zonas de fraqueza antigas que foram reativadas durante a evolução da bacia.

A área estudada está localizada na região onde afloram rochas das Formações Botucatu e Serra Geral, figura 1 anexo I, pertencentes ao grupo São Bento.

#### **5.1.1 FORMAÇÃO BOTUCATU**

O nome Botucatu foi introduzido na literatura geológica da Bacia do Paraná por Campos (1889) *apud* Santos *et al* (1984), a seção-tipo foi descrita ao longo da ferrovia que liga as cidades de Conchas e Botucatu. Almeida & Barbosa (1953) *apud* Santos *et al* (1984), pesquisando as relações de contato entre os arenitos Pirambóia e Botucatu, propuseram uma divisão para o grupo São Bento em três fácies: fácies fluvial (arenito Pirambóia), fácies eólica (arenito Botucatu) e a fácies flúvio-lacustre (fácies Santana), intercalada esta última, nas partes baixas do arenito Botucatu.

Segundo Almeida *et al* (1981) a Formação Botucatu consiste litologicamente de arenitos bimodais avermelhados, finos a médios, quartzoso, friáveis, grãos foscos devido ao impacto e alta esfericidade. Estratificações cruzada, planar e acanalada de grande porte é uma característica importante sendo diagnostica de um ambiente eólico seco. Por relações estratigráficas Santos *et al* (1984), atribui idade jurássica para a formação Botucatu, situada imediatamente abaixo dos derrames basálticos do Jurássico-Cretáceo.

A espessura da Formação Botucatu é menor na porção sul da Bacia, estando ausente na região central do Rio Grande Do Sul (Assine *et al* 2004). Para norte há espessamento da unidade onde pode ocorrer sequências eólicas mais antigas.

O Sistema Aqüífero Guarani é constituído, em território brasileiro, pelo arenitos das Formações Botucatu, Pirambóia e Sanga do Cabral, englobando também arenitos do Paraguai, Argentina e Uruguai (Rocha 1997). Segundo Rebouças (2003) aproximadamente 70% da área de ocorrência do Sistema Aqüífero Guarani possui condições de artesianismo, causado pelo confinamento exercido pelas rochas da Formação Serra Geral e por rochas sedimentares paleozóicas da Bacia.

### **5.1.3 FORMAÇÃO SERRA GERAL**

Segundo Santos *et al* (1984) o magmatismo da Formação Serra Geral recobre mais de 1.200.000 Km<sup>2</sup> nos estados do sul e centro do Brasil, noroeste do Uruguai, nordeste da Argentina e sudeste do Paraguai com espessuras maiores que mil metros. Sendo o magmatismo basáltico de maior expressão localizando -se ao longo de toda a Bacia do Paraná, os derrames de composição intermediária também ocorrem em todos os quadrantes da bacia, porém com um volume menor, já o vulcanismo de caráter ácido ocorre em maior abundâncias nos Estados de Santa Catarina e do Rio Grande Do Sul, sendo que em São Paulo está ocorrência se limita a região de Piraju, Xavantes e Timburi.

O magmatismo da Formação Serra Geral é formado, segundo Almeida *et al* (1981), principalmente por rochas de cor cinza escura a negra, afaníticas, com espessuras individuais que varia de 50 a 100 metros e extensão horizontal individual podendo ultrapassar 10 quilômetros.

Almeida *et al* (1981) descrevem petrograficamente os basaltos da Formação Serra Geral como constituidos basicamente por labradorita zonada associada a clinopiroxênios, acessoriamente ocorrem-se titano-magnetita, apatita, quartzo e raramente olivina ou seus produtos de alteração. Matéria vítreia pode ser abundante principalmente nas bordas dos derrames. Possuem textura intergranular ou intersetal, fina a muito fina.

Santos *et al* (1984) caracterizam as vulcânicas ácidas como dacitos a riolitos, com ampla dominância de riolacitos. Petrograficamente apresentam-se com arranjo cristalino porfírico, consistindo de uma massa subvítreia ou intercrescimentos complexos de quartzo e feldspato, com abundante micrólitos de plagioclásio e proporções menores de piroxênio e magnetita. Microfenocristais de andesina de dimensões variando entre 0,1 e 0,4 mm. Fenocristais de quartzo são completamente escassos nessas rochas. Ocorrem ainda rochas de composição intermediárias constituindo um conjunto de rochas de natureza e composição transicionais entre os termos básicos e ácidos, variando entre quartzo-andesitos e quartzo-traquitos.

Raposo (1987) caracterizou as rochas vulcânicas ácidas, na região de Piraju – Ourinhos, como riolitos, riolacitos e quartzo latito contendo fenocristais de plagioclásio, cujo tamanho máximo é de 4 mm, clinopiroxênio (augita), pigeonita, magnetita, ilmenita e apatita. A matriz dessas rochas é composta, além dos minerais já citados, por feldspato alcalino, quartzo e material vítreo.

Montanheiro (1999) estudou os dacitos da região de Timburi com o objetivo de caracterizar o potencial de rochas pozolânicas no Estado de São Paulo. Sendo a zona de topo do derrame o alvo de investigação por possuir uma paragênese mineral típica de materiais potencialmente pozolânicos, ou seja, uma rocha mais vítreia e mais rica em amígdalas zeolíticas.

Datações radiométricas das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, que sobrepõe concordamente os arenitos da Formação Botucatu, contribuíram para o avanço da cronoestratigrafia. De acordo com Cordani & Vandoros (1967) *apud* Assine *et al* (2004) as datações revelaram uma idade entre 119 e 147 Ma, concentradas entre 120 e 130 Ma, com isso a Formação Botucatu passou a ser considerada de idade Jurássica, com topo no limite Jurássico/Cretáceo.

## 6. Materiais e Métodos

Os equipamentos que foram utilizados na investigação são de propriedade do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP).

Para o manuseio em geral dos aparelhos, durante toda a etapa de campo, tivemos o suporte de um funcionário do Instituto (Técnico Paulo) e o apoio de dois funcionários da Prefeitura de Timburi.

Os métodos geofísicos que foram utilizados são os da eletrorresistividade (caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo e Sondagem Elétrica Vertical com Arranjo Schlumberger) e potencial espontâneo (com técnica dos potenciais).

## 6.1 Eletrorresistividade

A eletrorresistividade investiga a capacidade de condução elétrica do terreno, ou seja, uma corrente "I" é injetada no solo entre dois eletrodos e uma diferença de potencial é medida entre outros dois eletrodos. A razão entre a voltagem medida e a corrente transmitida é entendida como a impedância da porção da Terra através da qual a corrente se propaga.

Uma vez que a maioria das rochas são maus condutores, a corrente elétrica se propagará com maior facilidade em meios porosos ou fraturas que estejam preenchidos por líquidos. A resistência dependerá basicamente de dois fatores, que são concentração de sais na água e da maneira como a água está distribuída na rocha, ou seja, uma alta porosidade gera um alto grau de saturação em água, proporcionando baixa resistividade.

Na maioria dos casos são utilizados quatro eletrodos, dois para emissão de corrente e dois para a medição da diferença de potencial, podendo ser dispostos em uma grande variedade de configurações de acordo com as necessidades do projeto.

A resistência (R) pode ser medida através da relação entre a voltagem (U) entre dois pontos e a corrente (I) que flui entre esses dois pontos, de acordo com a Lei de Ohm, sendo necessária à instalação de um amperímetro e um voltímetro.

$$\text{Lei de Ohm} \quad R = \frac{U}{I}$$

A resistividade pode ser definida como sendo uma medida da dificuldade que a corrente elétrica encontra na sua passagem em um determinado material, sendo sua unidade ohm.m e é definida como:

$$\rho = R \times \frac{S}{L}$$

Sendo:

$\rho$  - Resistividade;

R – Resistência;

L – Comprimento;

MN como visto na figura 6.2. Após cada medição afastam-se os eletrodos A e B e repete-se o processo.

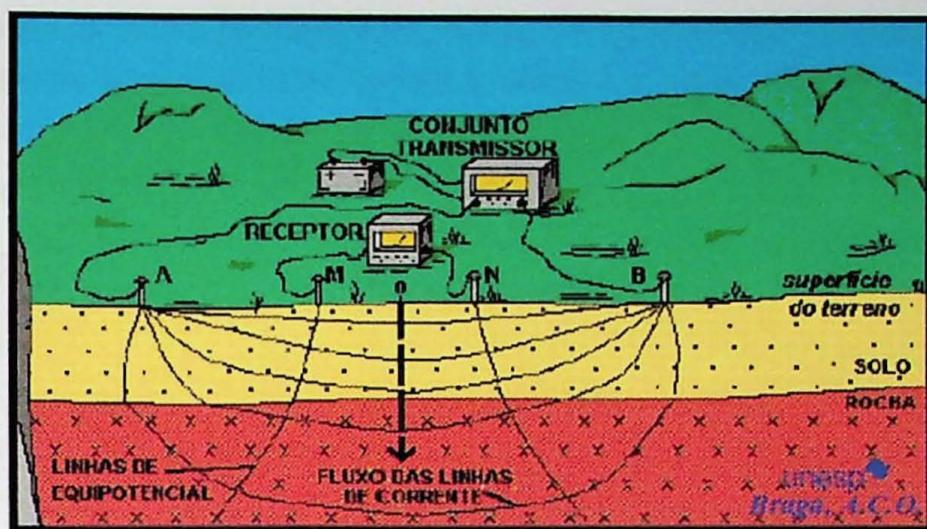


Figura 6.2 – Arranjo Schlumberger original de Braga (1997).

### 6.1.2 CAMINHAMENTO ELÉTRICO

O Caminhamento Elétrico é uma técnica de investigação horizontal comumente utilizado na identificação de heterogeneidades verticais, como demonstrado na figura 6.3, tais como: fraturas, falhas, diques, contatos verticais etc.

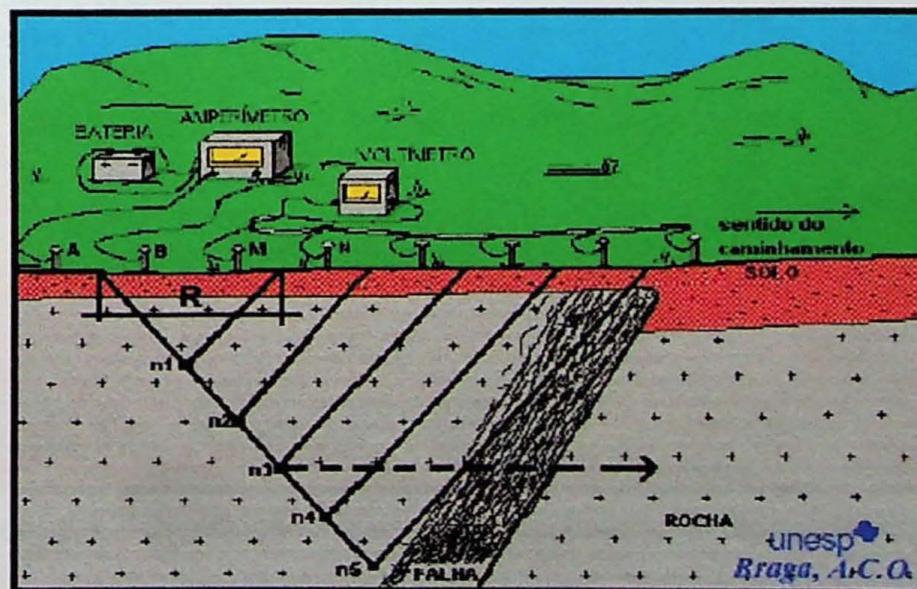


Figura 6.3 - Esquema do método de campo do caminhamento elétrico, original de Braga (1997).

O arranjo que foi utilizado durante a etapa de campo é o dipolo-dipolo que consiste na aplicação de uma corrente através de dois eletrodos A e B e na medição da diferença de potencial através de outros dois eletrodos M e N. Os eletrodos são dispostos em um mesmo perfil externamente entre si como na figura 6.4, sendo a abertura AB = MN.

A resistividade é calculada a partir da equação:

$$\rho_a = K \times \frac{U}{I}$$

sendo:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n+2}}$$

Onde:

K = fator geométrico que depende da disposição dos eletrodos ABMN na superfície do terreno;

x = espaçamento dos dipolos AB e MN adotado;

n = nível de investigação correspondente.

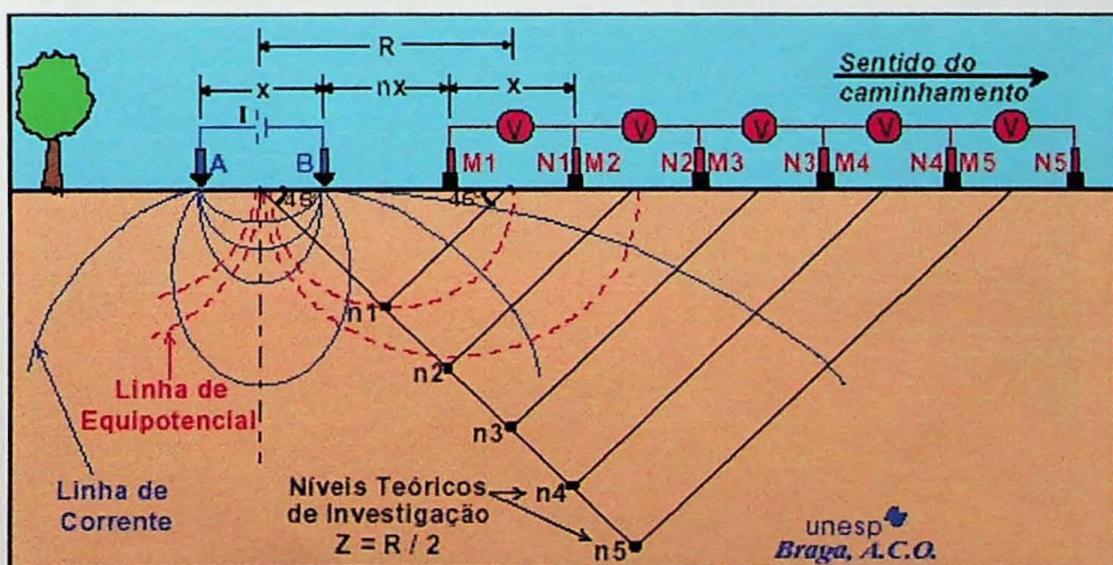


Figura 6.4 – Disposição inicial no campo do arranjo dipolo-dipolo, original de Braga (1997).

Os valores da resistividade aparente são plotados na intersecção das retas que partem a  $45^\circ$  dos centros de AB e MN. A profundidade de investigação aumenta conforme a distância entre os eletrodos MN em relação aos eletrodos AB aumenta, podendo ser efetuados vários níveis de investigação.

## 6.2 Potencial Espontâneo

O método do potencial espontâneo (SP), como indica seu nome, baseia-se na medição da diferença de potencial natural entre dois pontos no terreno, mesmo na ausência total de qualquer campo elétrico criado artificialmente. Esse potencial é causado por atividade eletroquímica ou mecânica, figura 6.5.

Quando utilizado em casos ambientais, o método tem sua principal aplicação no estudo dos movimentos da água em subsuperfície, sendo o potencial gerado pelo fluxo de fluidos, de calor ou de íons no subsolo.

Em campo são utilizados principalmente duas configurações: a técnica dos gradientes e a técnica dos potenciais. A técnica dos gradientes consiste em medir sucessivamente as diferenças de potencial ao longo de um perfil com deslocamento simultâneo dos dois eletrodos. Já a técnica dos potenciais requer que um dos eletrodos permaneça fixo em uma base enquanto o outro é deslocado ao longo do perfil. Neste trabalho, a técnica a ser empregada, será a dos potenciais (ou base fixa).

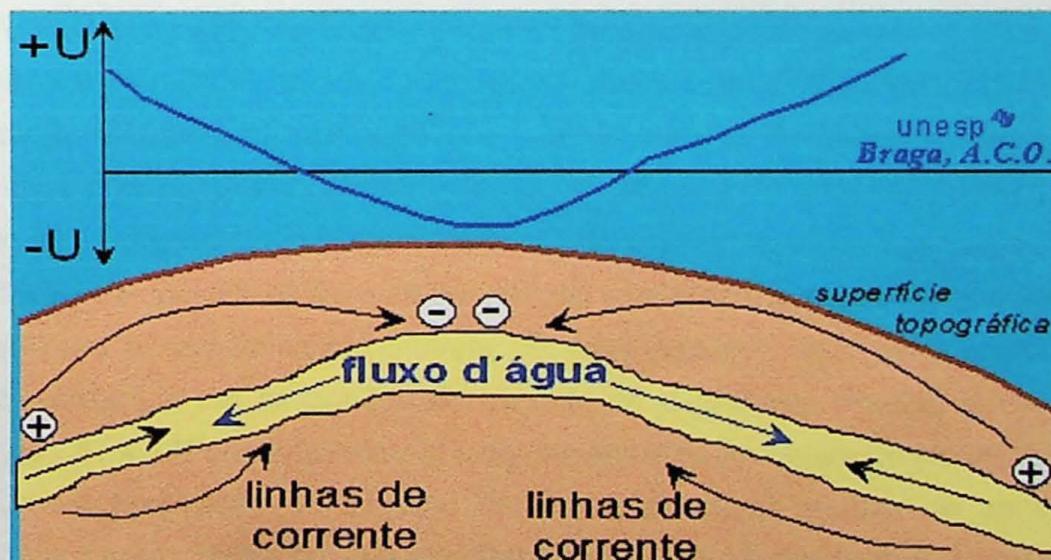


Figura 6.5 - Esquema da origem do Potencial Espontâneo, original de Braga, A.C.O.

Para o levantamento de dados de campo são necessários dois eletrodos, um milivoltímetro para as medidas e fios isolados para a conexão entre os eletrodos e o milivoltímetro.

### 6.3 Programas utilizados

Para a confecção das pesudo-seções de resistividade aparente, a partir dos dados do caminhamento elétrico foi utilizado *Surfer V 8.0*. Para inversão dos dados e confecção das seções modeladas de resistividade *RES2DINV*.

Na confecção das curvas da Sondagem Elétrica Vertical foi utilizado o programa *Schlumberger Automatic Analysis*.

Para o Potencial Espontâneo foi utilizado *Surfer V 8.0*, para a obtenção das curvas de isovalores.

## 7. Desenvolvimento do Trabalho

O trabalho teve inicio com a elaboração do projeto e suas metas, sendo feita uma análise da geologia local e da metodologia a ser empregada durante as atividades de campo.

Após a conclusão do projeto inicial foi feita uma pesquisa bibliográfica complementar com o objetivo de coletar maiores informações sobre a área em foco. Posteriormente teve inicio a fase de aprendizado da operação dos equipamentos e aparelhos a serem utilizados em campo, onde o discente teve a oportunidade de participar de uma campanha de investigação utilizando método geoelétrico (Caminhamento Elétrico) na cidade de São Paulo.

Durante o período de 26 a 29 de abril, foi realizada a etapa de campo para a aquisição de dados para a caracterização indireta de subsuperfície. Além do orientador e do aluno estiveram presentes um funcionário do Instituto de Geociências (Paulo), um técnico de nível superior do CEPAS (Fernando) e ainda dois ajudantes da Prefeitura do Município de Timburi.

Com a finalização do trabalho de campo iniciou-se a fase de aprendizagem dos programas a serem utilizados e consequentemente o período de tratamento dos dados de campo e as análises interpretativas.

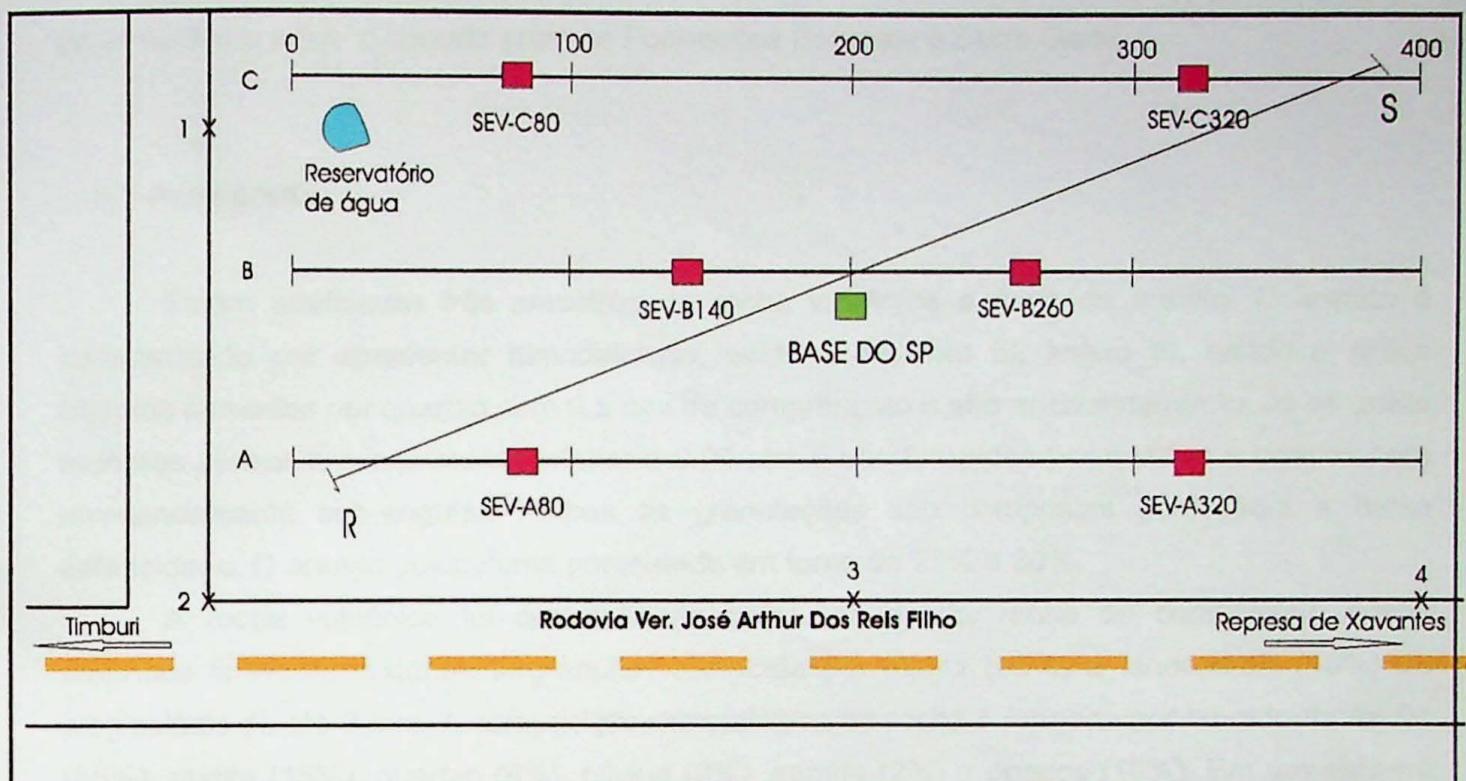
## 7.1 Cronograma de atividades

Atividade \ Mês	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
Compilação Bibliográfica												
Elaboração do Projeto Inicial												
Aprendizado na operação dos equipamentos												
Etapa de trabalho de campo												
Tratamento dos dados de campo												
Elaboração do relatório de progresso												
Interpretações dos dados de campo												
Elaboração da Monografia												
Apresentação da Monografia												

## 7.2 Atividades Realizadas em Campo

Foram realizadas três linhas de caminhamento elétrico sendo localizadas de tal maneira que abrangesse a maior parte da área. Para isso foram realizados três perfis de 400 metros cada um, paralelos entre si com 60 metros de espaçamento, registrados como A, B e C na figura 7.1. A abertura de eletrodo escolhida foi de 20 metros, com 5 níveis de investigação chegando a atingir uma profundidade de investigação de 45 m aproximadamente.

Foram distribuídas duas SEVs em cada perfil de acordo com a figura 7.1. O Potencial Espontâneo cobriu toda a área de investigação, e foi utilizada a técnica dos potenciais, com um eletrodo móvel e outro eletrodo fixo, localizado a 5 m do ponto B200.



#### LEGENDA

- Sondagem Elétrica Vertical
- Ponto Base do Potencial Espontâneo
- R-S Seção geológica

ESCALA  
100 m

Figura 7.1 – Esquema da distribuição das investigações realizadas em campo.

Coordenadas dos pontos 1, 2, 3, 4 e das linhas A, B e C com seus pontos 00, 100, 200, 300 e 400 em Anexo IX.

#### 8. Apresentação dos Resultados e Discussão

Os resultados obtidos foram divididos em quatro grupos, sendo que no primeiro conjunto foi realizada uma análise de seção delgada para a caracterização petrográfica das rochas aflorantes próximo à área de investigação. Os outros grupos foram separados em resultados de Sondagem Elétrica Vertical, Caminhamento Elétrico e Potencial Espontâneo. Os dados de campo estão nos anexo V, VI e VII.

Nas seções modelada do Caminhamento Elétrico foi utilizado informações das SEVs para auxiliar a inferir o contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral.

### **8.1 Petrografia**

Foram analisadas três amostras de rocha vulcânica e duas de arenito. O arenito é caracterizado por apresentar bimodalidade, evidente na foto 02 anexo III, sendo o grãos maiores formados por quartzo com 0,5 mm de comprimento e alto arredondamento. Já os grãos menores possuem comprimento inferior a 0,05 mm e são formados por quartzo e opacos com arredondamento sub-angular. Ambas as granulações são compostas por média a baixa esfericidade. O arenito possui uma porosidade em torno de 25% a 30%.

A rocha vulcânica foi caracterizada como um dacito, rocha de composição ácida, fanerítica fina com textura intergranular, composta por matriz (85%) e fenocristais (15%) de plagioclásio de até 8 mm. A composição mineralogica da rocha é formada por labradorita An 64 (65%), augita (15%), quartzo (6%), olivina (2%), apatita (2%) e opacos (10%). Em um sistema em equilíbrio olivina e quartzo não podem coexistir, porém foi observado grãos de piroxênio formando um tipo de borda nos grãos de olivina, ocorrendo assim, na mesma amostra grãos de quartzo. Foto 04 anexo III.

### **8.2 Sondagens Elétricas Verticais (SEVs)**

Os dados das SEVs foram plotados em gráficos bi-logarítmico usando-se o programa de inversão *Schumberger Automatic Analysis*. Segue abaixo as análises das sondagens com os valores de resistividade identificados para as diferentes camadas, espessuras encontradas em campo e ainda a profundidade do topo da Formação Botucatu.

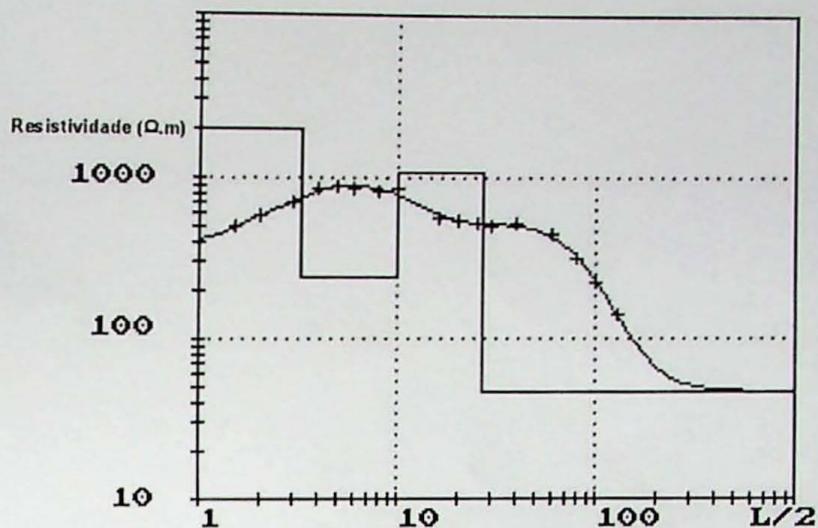


Figura 8.1 - Gráfico bi-logarítmico da SEV – A080.

Camadas	Espessura	Resistividade
1	4,23	2000
2	5,67	244
3	17,1	1090
4	-	46,6
Profundidade do Arenito = 27m		

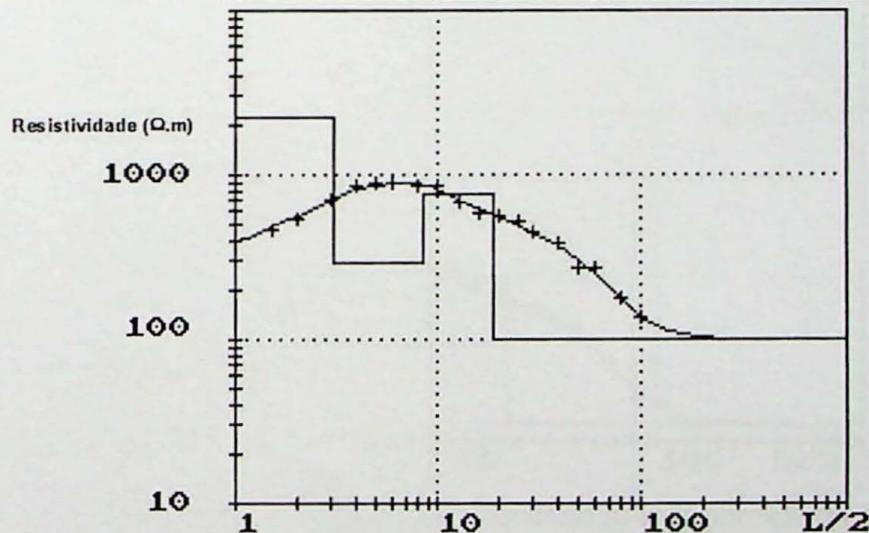


Figura 8.2- Gráfico bi-logarítmico da SEV – A320.

Camadas	Espessura	Resistividade
1	4,1	2250
2	4,5	295
3	10,5	762
4	-	99
Profundidade do Arenito = 19,1m		

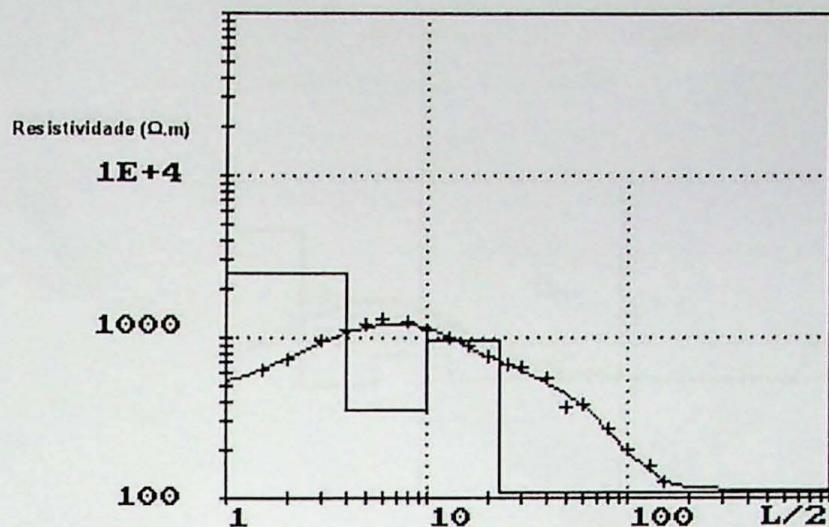


Figura 8.3 - Gráfico bi-logarítmico da SEV – B140.

Camadas	Espessura	Resistividade
1	5	2540
2	5	354
3	13	980
4	-	110
Profundidade do Arenito = 23m		

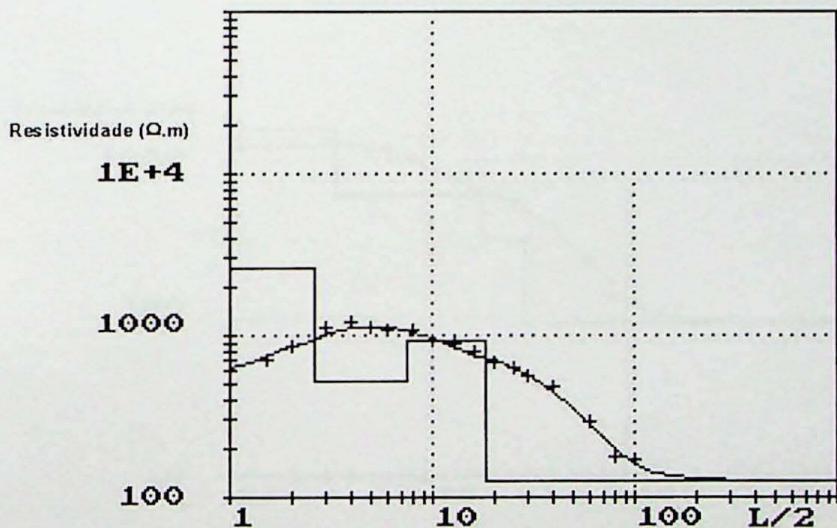


Figura 8.4 – Gráfico bi-logarítmico da SEV – B260.

Camadas	Espessura	Resistividade
1	3,6	2630
2	3,9	511
3	11	910
4	-	14
Profundidade do Arenito = 18,5m		

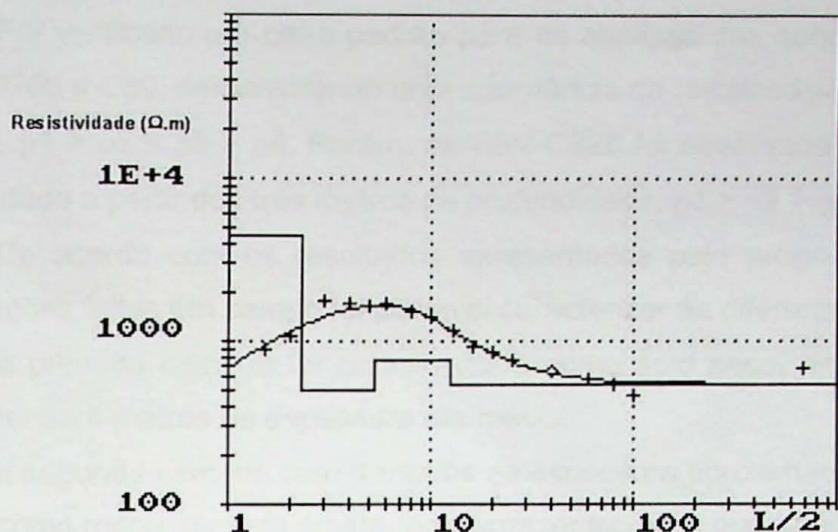


Figura 8.5 - Gráfico bi-logarítmico da SEV – C080.

Camadas	Espessura	Resistividade
1	2,8	4520
2	2,4	500
3	12	753
4	-	549
Profundidade do Arenito = 17,6m		

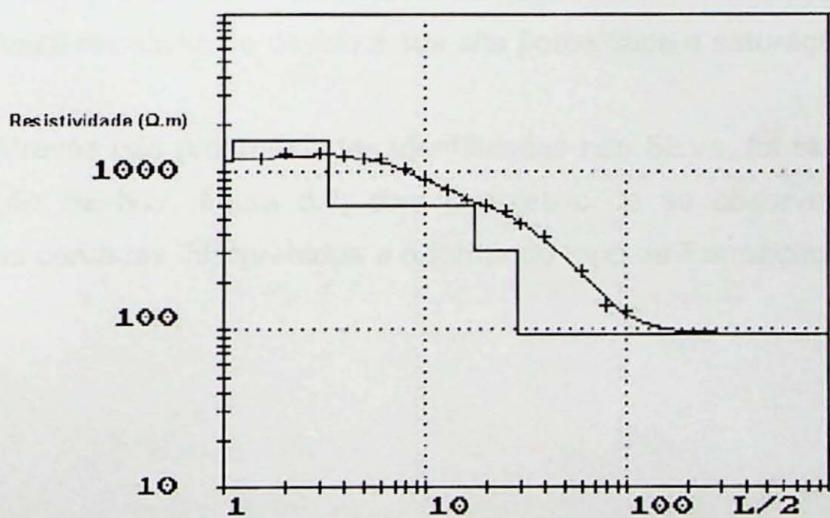


Figura 8.6 - Gráfico bi-logarítmico da SEV – C320.

Camadas	Espessura	Resistividade
1	4,7	1560
2	5	536
3	11,1	704
4	-	99
Profundidade do Arenito = 20,8m		

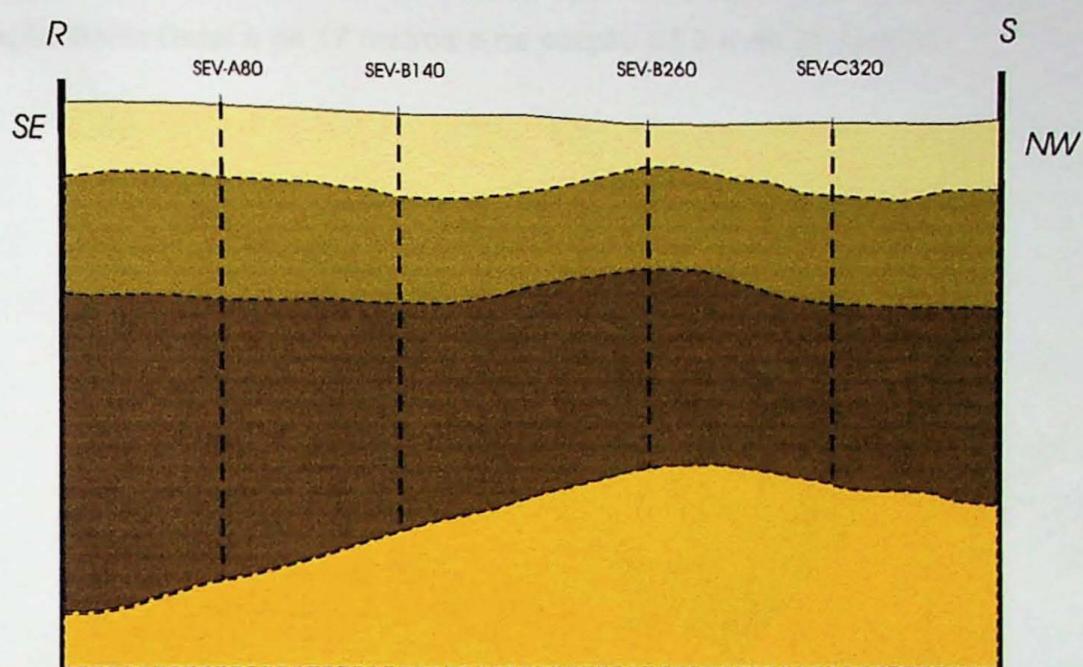
Foi verificado um certo padrão para as análises das sondagens das SEVs A80, A320, B140, B260 e C80, demonstrando uma alternância da resistividade na seqüência das camadas, ou seja,  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$ . Porém, na SEV-C320 foi observada uma diminuição gradativa da resistividade a partir dos três metros de profundidade,  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$ .

De acordo com os resultados apresentados pelo programa Schlumberger e com as observações feitas em campo foi possível caracterizar as diferentes camadas sendo como:

- a primeira camada foi caracterizada como solo seco, devido a sua alta resistividade, tendo 4 metros de espessura em média.
- a segunda camada com 4 metros de espessura aproximadamente pode ser interpretada como rocha alterada úmida, pois apresentou uma queda nos valores da resistividade em relação à primeira camada, isso se deve a presença de água em seus poros.
- a terceira camada apresentou valores maiores de resistividade que a camada anterior podendo ser interpretada como rocha sã a rocha alterada com matações (Formação Serra Geral), com porosidade e saturação inferior a da camada anterior e profundidade variando de 17 a 27 metros na área.
- a última camada foi caracterizada como arenito (Formação Botucatu), pois apresentou baixa resistividade devido a sua alta porosidade e saturação.

Através das profundidades identificadas nas SEVs, foi elaborado uma seção geológica na direção SE-NW, figura 8.7, com o objetivo de se observar o comportamento entre as diferentes camadas interpretadas e a forma do topo da Formação Botucatu.

## Seção Geológica R-S



## LEGENDA

- Solo
  - Formação Serra Geral - Dacito alterado
  - Formação Serra Geral - Dacito são a semi-alterado
  - Formação Botucatu - Arenito

## Escala Horizontal

## Escala Vertical

60m

5m

Figura 8.7 – Seção geológica baseada em dados geofísicos.

Com as informações das SEVs foi possível confeccionar um mapa de isoespessura da Formação Serra Geral, figura 8.8, podendo ser verificado o topo da superfície irregular da Formação Botucatu. Pode ser observado que na porção sul a espessura de rochas da Formação Serra Geral é de 17 metros e na porção SEE é de 27 metros.

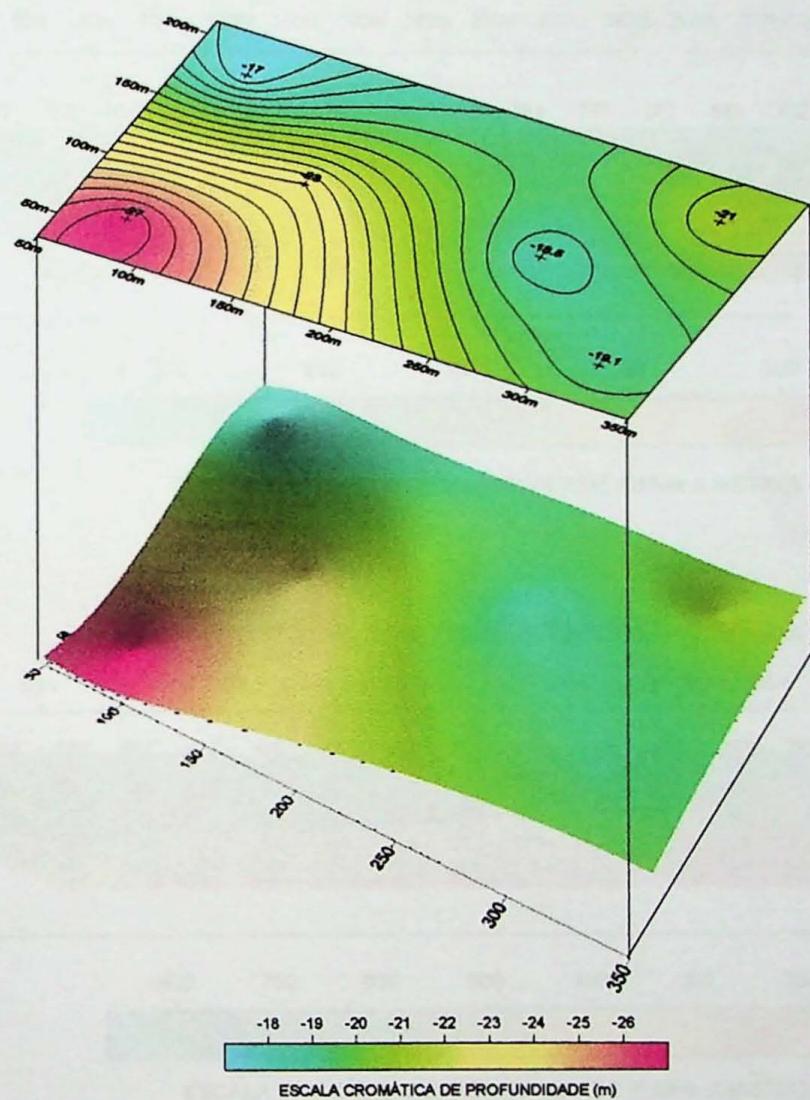
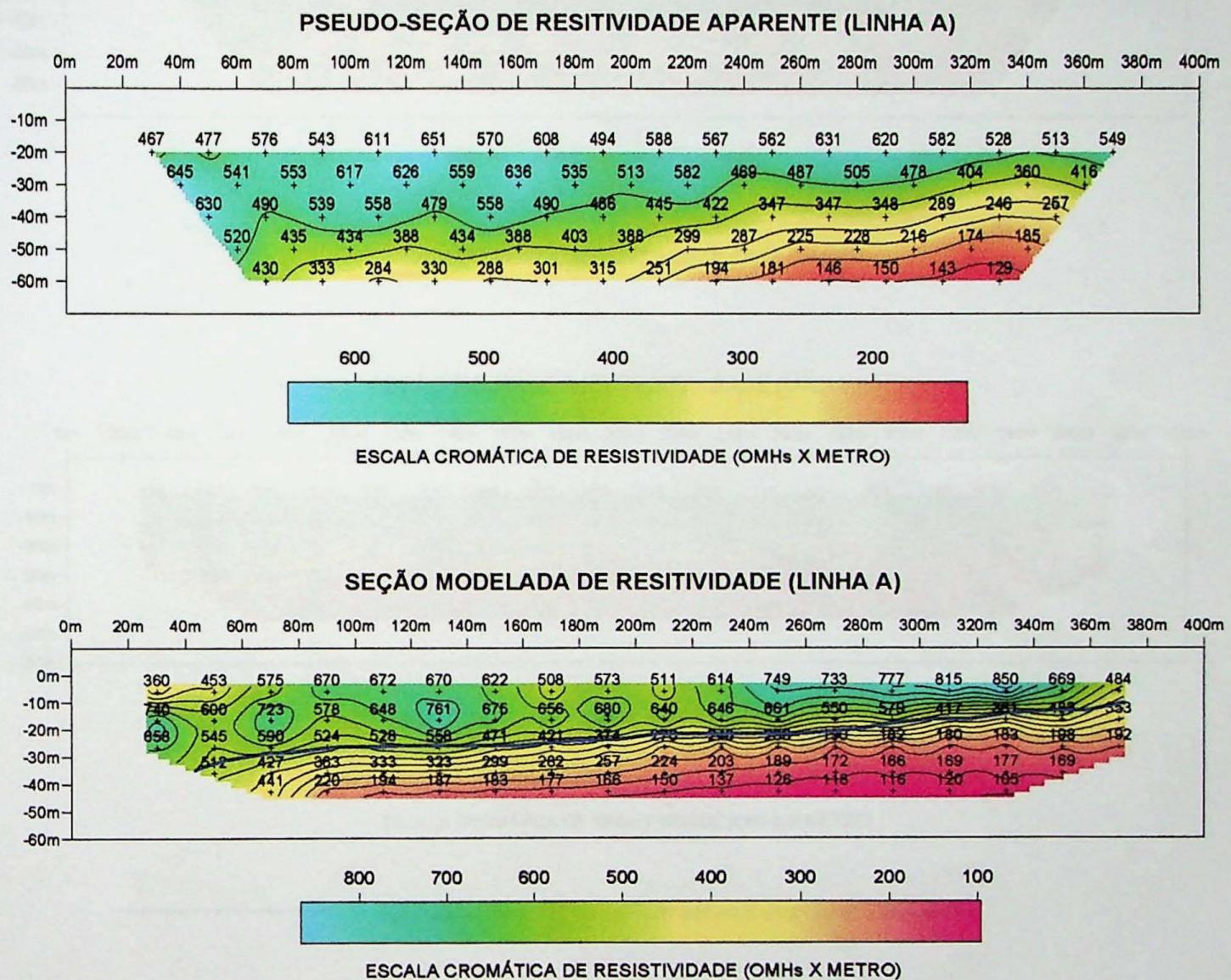


Figura 8.8 – Esquema da superfície do contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral.

### 8.3 Caminhamento Elétrico

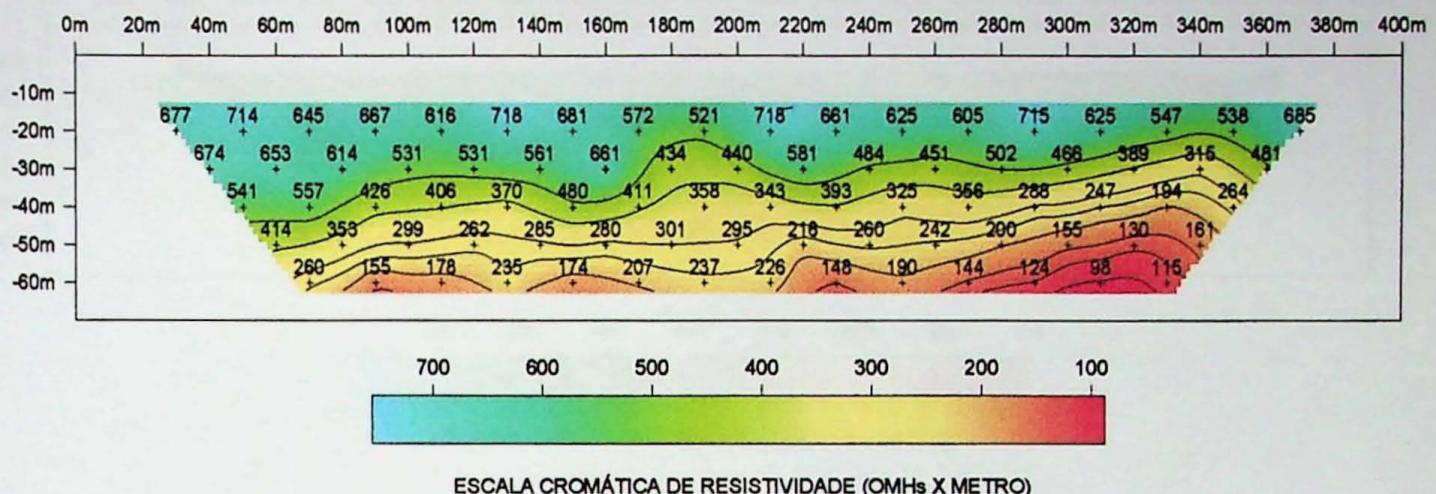
Segue os resultados do Caminhamento Elétrico interpretados em pseudo-seções de resistividade aparente e seção modelada de resistividade.



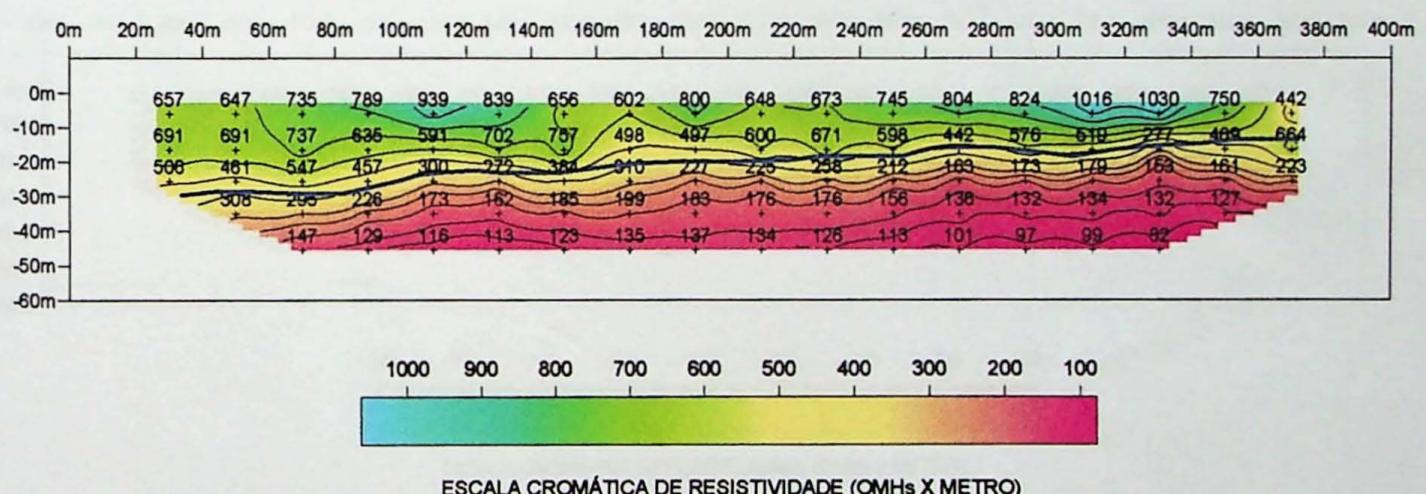
Contato inferido entre as Formações Serra Geral e Botucatu

Figura 8.9 - Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade Linha A.

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



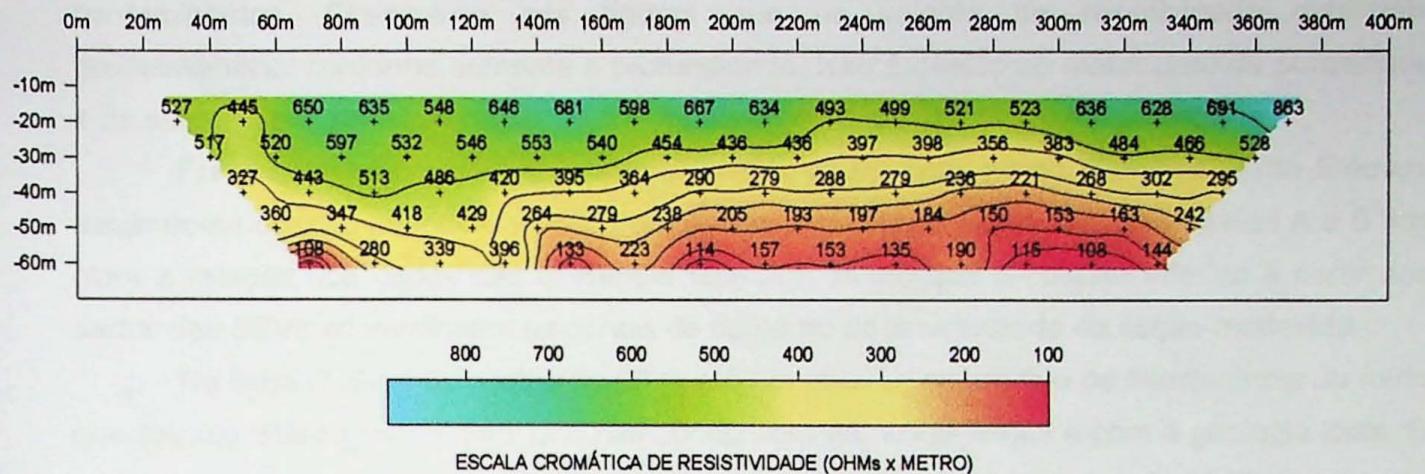
### SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE (LINHA B)



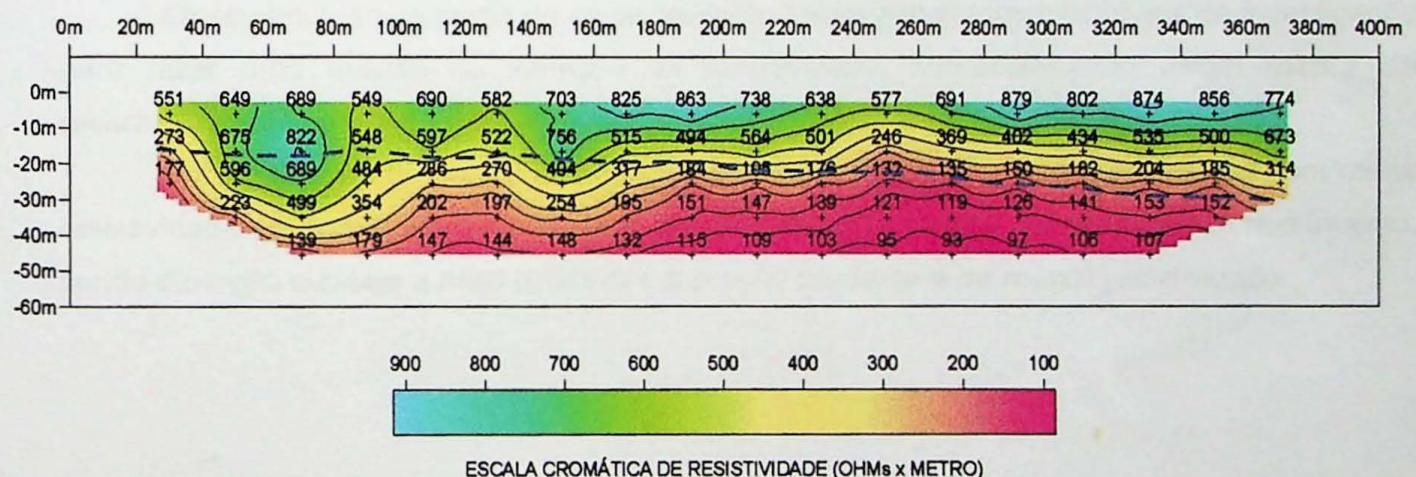
Contato inferido entre as Formações Serra Geral e Botucatu

Figura 8.10 - Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade Linha B.

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



### SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE (LINHA C)



— — — —

Contato inferido entre as Formações Serra Geral e Botucatu

Figura 8.11 - Pseudo-seção de resistividade aparente e seção modelada de resistividade Linha C.

Analizando os dados do caminhamento elétrico, foi verificado que área não possui nenhuma estrutura vertical/subvertical que seja uma zona preferencial de percolação dos contaminantes. Observa-se nas figuras que os valores de resistividade diminuem gradativamente conforme aumenta a profundidade. Isso é devido ao maior grau de porosidade e de saturação e, principalmente, devido à presença do arenito Botucatu subjacente.

Foi possível associar as informações das SEVs com as do Caminhamento Elétrico, traçando-se contato inferido entre as Formações Serra Geral e Botucatu. Nas linhas A e B fica clara a relação dos dados das diferentes técnicas, sendo que o contato inferido a partir dos dados das SEVs acompanham as curvas de contorno de resistividade da seção modelada.

Na linha C entre os pontos de 60 m e 80 m ocorreu algum tipo de interferência ou ruído que causou distorções no perfil que não condiz com as outras linhas e com a geologia local. O contato foi traçado de forma tracejada, pois na zona que compreende os pontos 60 m e 80 m a profundidade identificada através da SEV-C80 foi de 17 m, a essa profundidade a resistividade encontrada no caminhamento elétrico foi em torno de 800 ohms x m, ou seja, essa resistividade é muito alta para o arenito da Formação Botucatu.

Observando-se os perfis de caminhamento foram escolhidos três níveis de investigação para fazer uma análise da variação da resistividade, confeccionando assim mapas de resistividade em planta e blocos diagramas.

Foi verificado que para o primeiro nível a porção noroeste possui os valores com maior resistividade e a porção sudeste os menores valores. No terceiro e quinto nível ocorre o inverso, sendo a porção sudeste a mais resistiva e a porção noroeste a de menor resistividade.

RESISTIVIDADE EM PLANTA DO NÍVEL 1

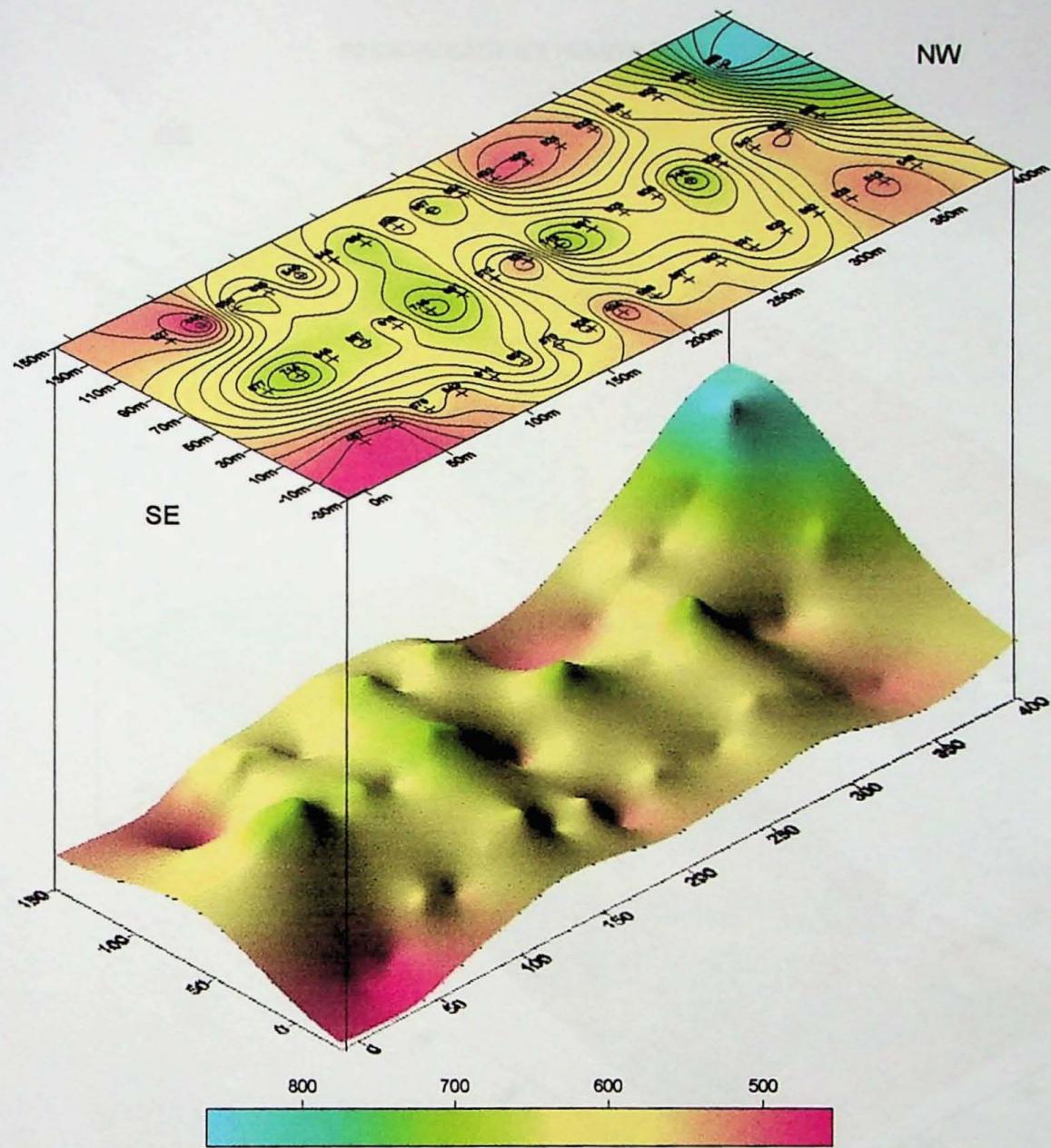


Figura 8.12 - Resistividade em planta e bloco diagrama do nível 1.

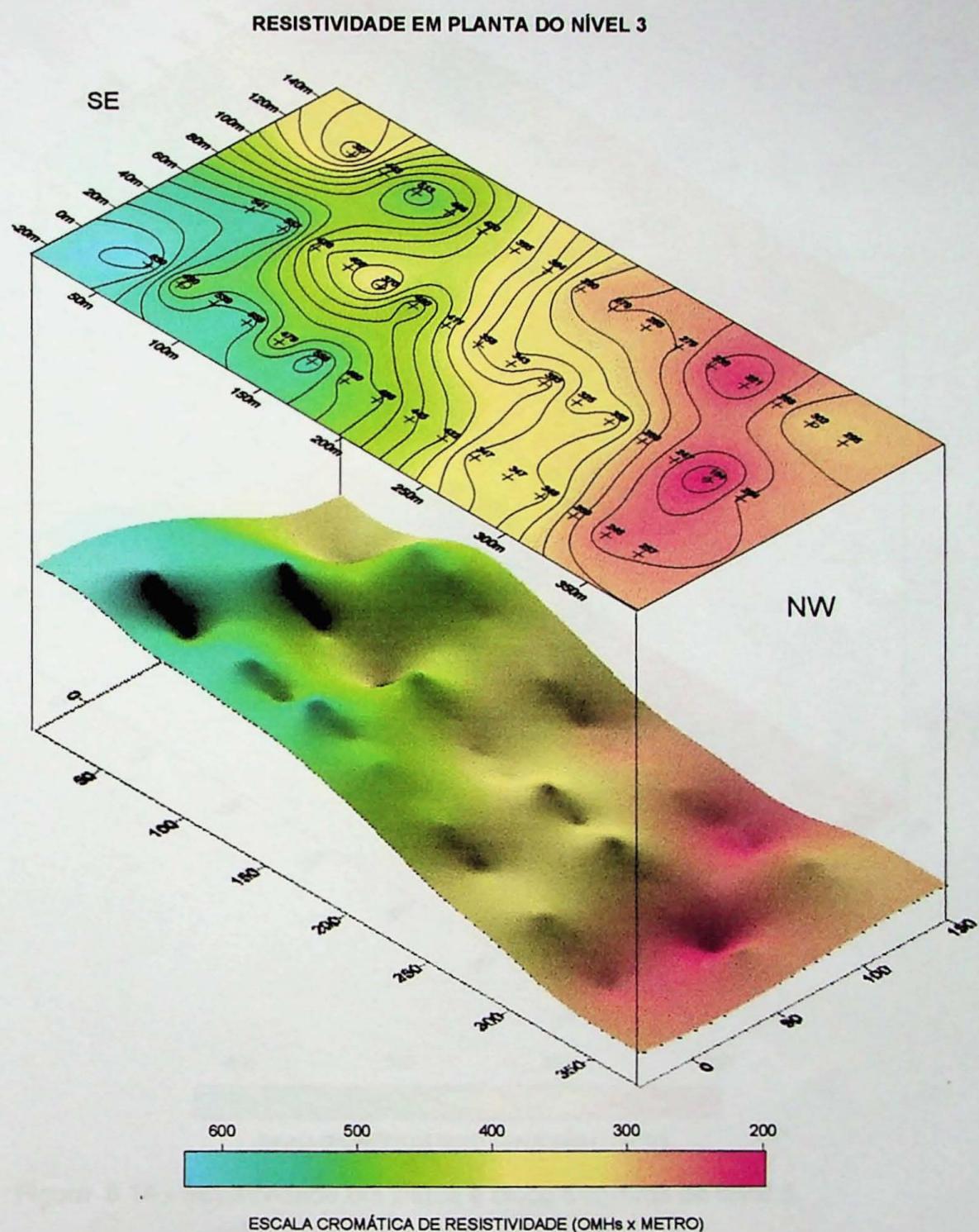


Figura 8.13 - Resistividade em planta e bloco diagrama do nível 3.

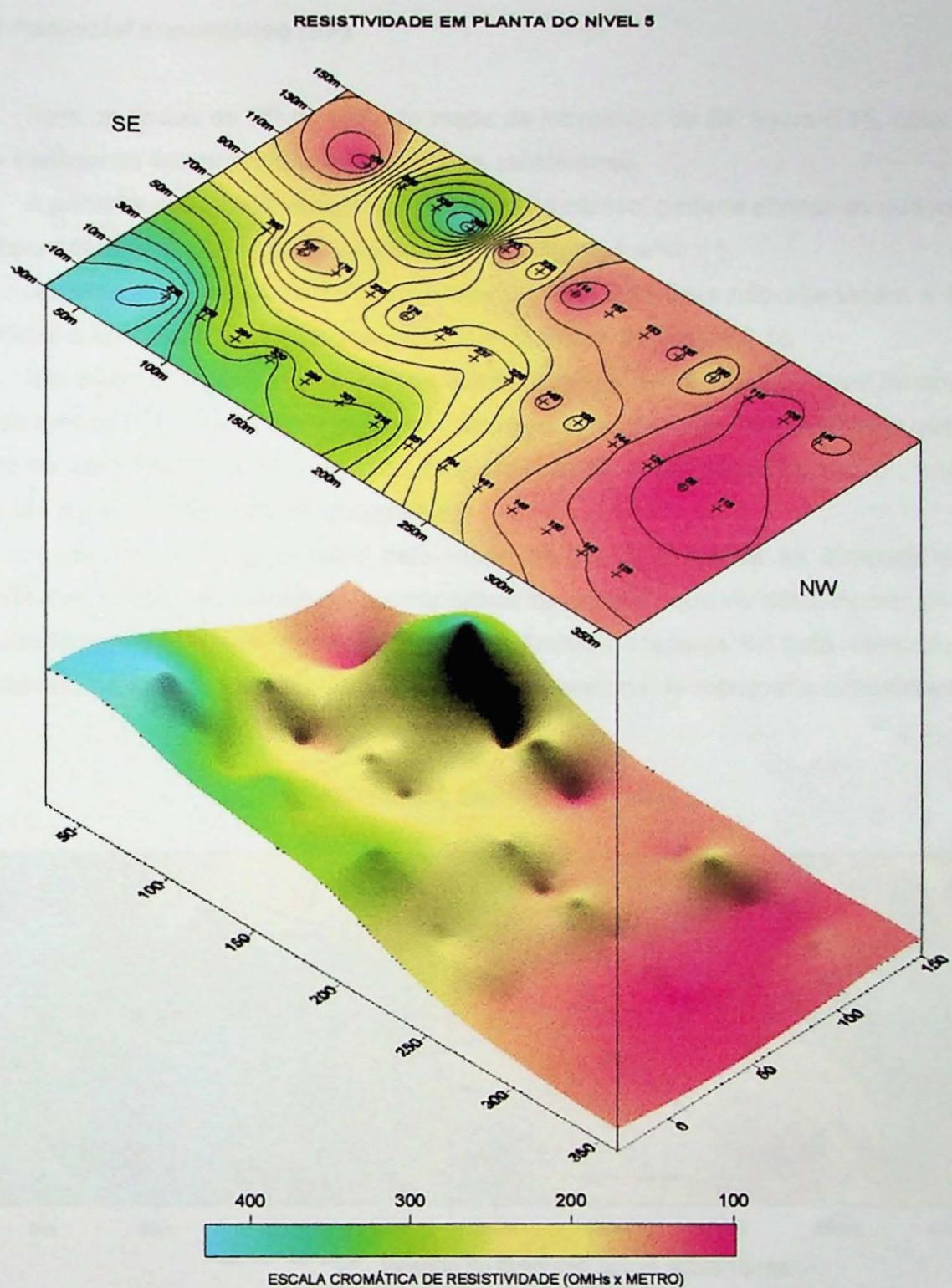


Figura 8.14 - Resistividade em planta e bloco diagrama da nível 5.

#### 8.4 Potencial Espontâneo (SP)

Para os dados de SP foi feito um mapa de isovalores de SP figura 8.15, com o objetivo de se verificar os fluxos preferenciais de água subterrânea.

À primeira vista, pela visualização da área no campo, poderia afirmar-se que as direções dos fluxos seriam similares às da topografia local, figura 1 anexo II.

No entanto, o mapa de SP indica que os fluxos na área não obedecem a topografia superficial e apresenta um comportamento com indicado na Figura 8.15

Isto pode ser explicado ao compararmos o mapa de SP com o mapa de contorno do topo do arenito Botucatu, elaborado com os dados das SEVs. O mesmo evidencia que o arenito mostra-se com seu topo mais próximo da superfície na área central do mapa, funcionando como um divisor de águas em subsuperfície.

Este comportamento é confirmado pelo mapa de SP, que mostra as direções dos fluxos coincidentes com a topografia de subsuperfície do arenito, que evidentemente, possui uma porosidade/permeabilidade maior que o basalto. Assim, o mapa de SP está refletindo os fluxos do Botucatu na área estudada que é diferente dos aspectos de topografia superficiais.

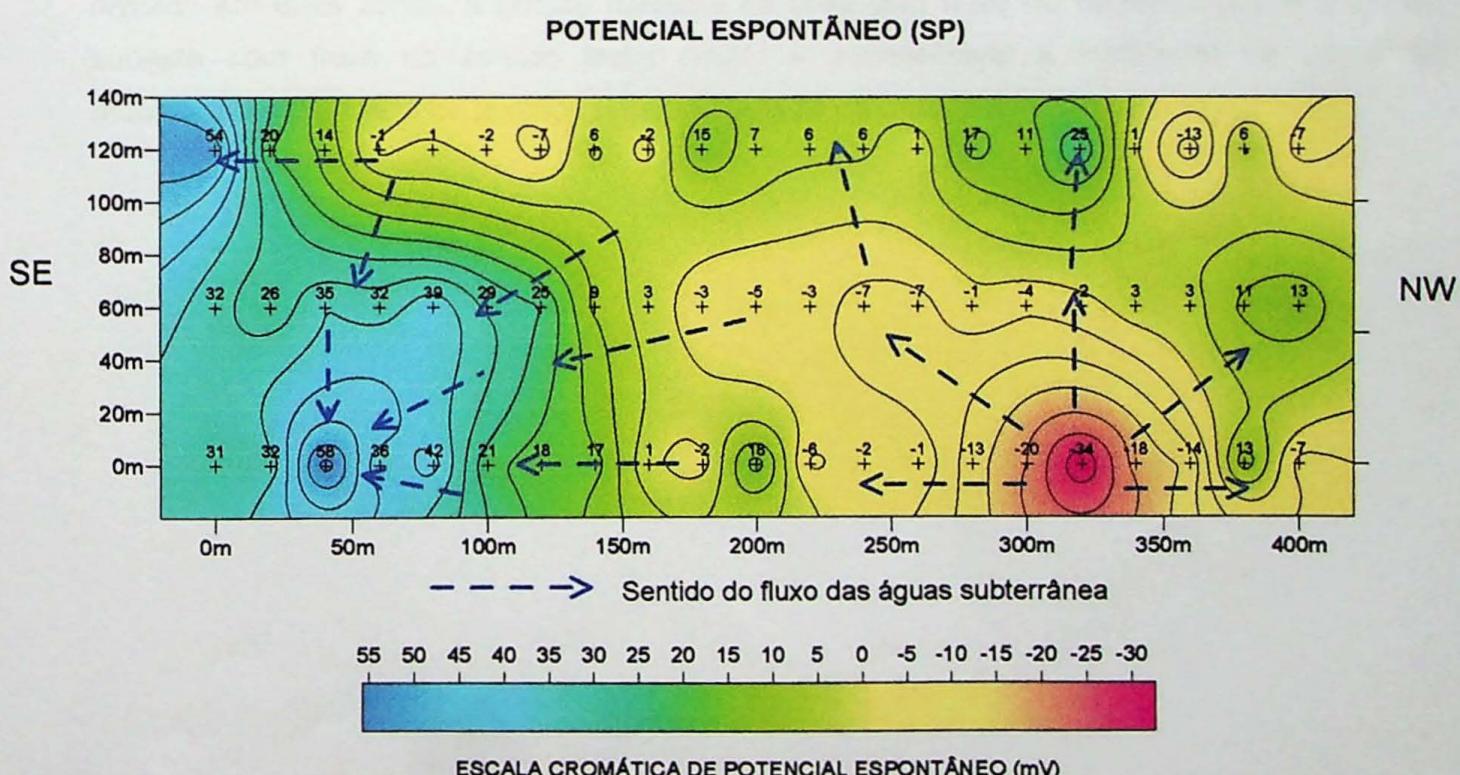


Figura 8.15 – Mapa de isoconcentração para valores de SP.

## 9. Conclusões

Através dos resultados obtidos das Sondagens Elétricas Verticais foi observada uma espessura, para a Formação Serra Geral, que varia de 17 m a 27 m, sendo que em sua porção superior foi caracterizado como solo decorrente da alteração das rochas vulcânicas. Já na sua porção inferior, em contato com o arenito, foi caracterizado como rocha sã.

Em relação ao caminhamento elétrico e seu principal objetivo foi verificado que a área analisada não possui nenhuma estrutura vertical, como falhas ou fraturas, que seja uma zona favorável a percolação de fluidos para o arenito da Formação Botucatu.

De acordo com o principal objetivo deste trabalho de formatura conclui-se que, através da investigação geoelétrica, a área possui as características geológicas necessárias para a implementação do aterro sanitário, ou seja, não existem zonas favoráveis à percolação de resíduos e a profundidade do topo da Formação Botucatu é considerada boa, ocorrendo com 17 m em sua porção menos espessa.

Como medida de prevenção pós implementação do aterro sanitário, pode-se instalar poços de monitoramento a jusante e montante da área. O fluxo da água subterrânea pode ser dividido em duas zonas, a porção noroeste da área com fluxo no sentido oeste e a porção sudeste com fluxo no sentido leste. Assim é aconselhável a instalação de poços de monitoramento a oeste da porção noroeste e a leste da porção sudeste.

## 10. Referências Bibliográficas

- 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 Instituto de Geociências - USP. p. 111.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; MELO, M. S.; BISTRICHI, C. A. 1981. Texto explicativo e Mapa Geológico do Estado de São Paulo – Escala 1:500 000. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Volume 1. 126p.
- ASSINE, M. L.; PIRANHA, J. M.; CARNEIRO, C. D. R. 2004. Os Paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In. NETO, V. G. ; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. *Geologia do Continente Sul-Americano* São Paulo. P.77-92.
- BRAGA, A. C. O. – 1997. *Métodos geoelétricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica – Formações Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro – SP*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro – SP. Tese de Doutoramento. 169p.
- ELLERT, N. 1966. *Investigação de camadas aquíferas por métodos geoelétricos no estado de São Paulo*. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutoramento. 99p.
- GALLAS, J.D.F. – 2000 – *Principais Métodos Geoelétricos e Suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental*. Tese de doutoramento Instituto de Geociências – UNESP (Rio Claro). p. 174.
- 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 IGc- USP. p. 196.

MONTAHEIRO, T. J. 1999. *Prospecção e caracterização de pozolanas na bacia do Paraná, Estado de São Paulo*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 226p.

RAPOSO, M. I. B. 1987. *Evolução Magmática e Petrológica das Rochas Vulcânicas Ácidas Mesozóicas da Região de Piraju – Ourinhos (SP E PR)*. Instituto Astronomico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 159p.

REBOUÇAS A. C. 2003. Águas Subterrâneas. In: REBOUÇAS, A C.; BRAGA, B.; TUNDISI J. G.. *Águas Doces no Brasil*, São Paulo, p 117 – 152.

ROCHA, G. A. 1997. *O Grande Manancial do Cone Sul*. Estudos Avançados, IEA/USP, Universidade de São Paulo, 191-212

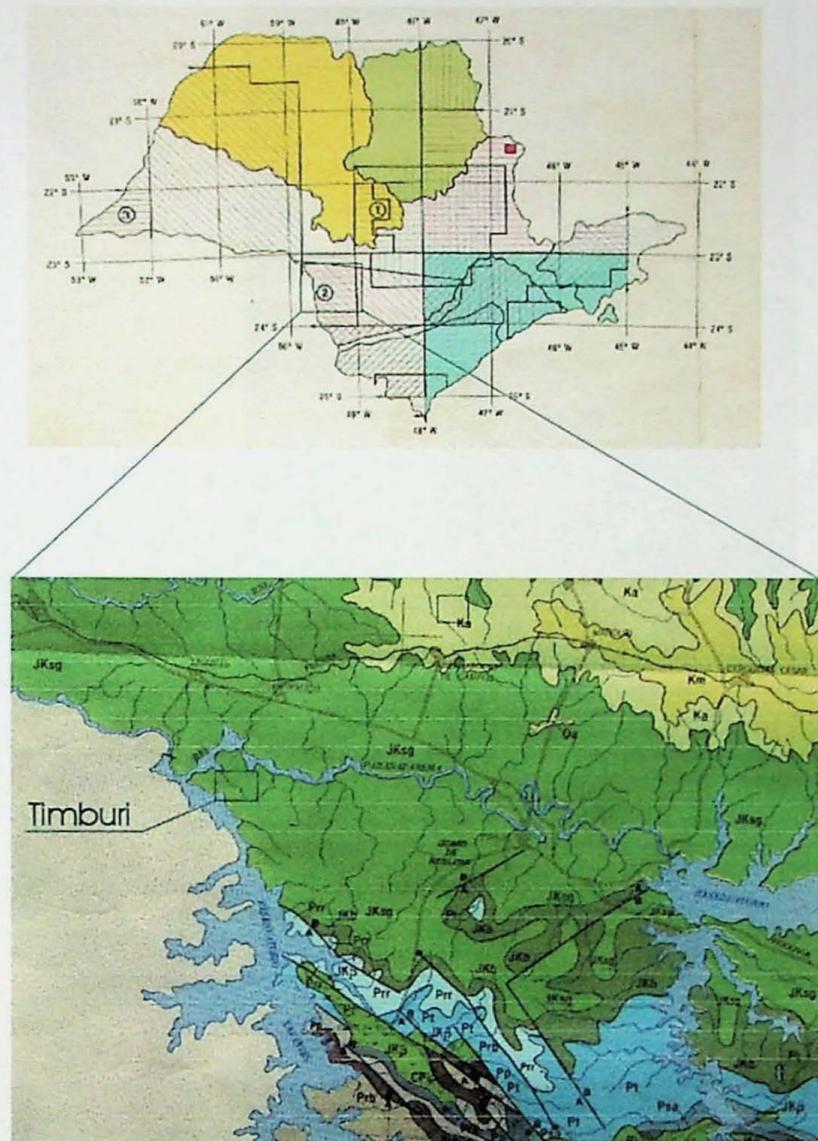
SANTOS, E. L.; SILVA, L. C.; FILHO, V. O.; COUTINHO, M. G. N.; ROISENBERG, A.; RAMALHO, R.; HARTMANN, L. A. 1984. Os Escudos Sul-Rio-Grandense e Catarinense e a Bacia do Paraná. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. G.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. *Geologia do Brasil*. Brasília, DNPM. p. 331-355.

ZALÁN, P. V.; WOLF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. 1991. Bacia do Paraná. In: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro, Gávea. p. 135-168.

**ANEXOS:**

- I - Mapa Geológico da Região de Timburi;
- II - Fotomontagem da área de trabalho;
- III - Fotos de lâminas;
- IV - Localização dos pontos, através de GPS;
- V - Dados dos Caminhamentos Elétricos
- VI - Dados das Sondagens Elétricas Verticais;
- VII - Dados do Potencial Espontâneo;

## ANEXO I - Mapa Geológico da Região de Timburi



### Legenda

Km	Fm. Marília
Ka	Fm. Adamantina
JKsg	Fm. Serra Geral
JKB	Fm. Botucatu
Pt	Fm. Pirambóia

↑ N

Figura 01 - Mapa Geológico da região da cidade de Timburi, extraído do Mapa Geológico do Estado de São Paulo - IPT 1981.

**Anexo II - Fotomontagem da área de trabalho;**

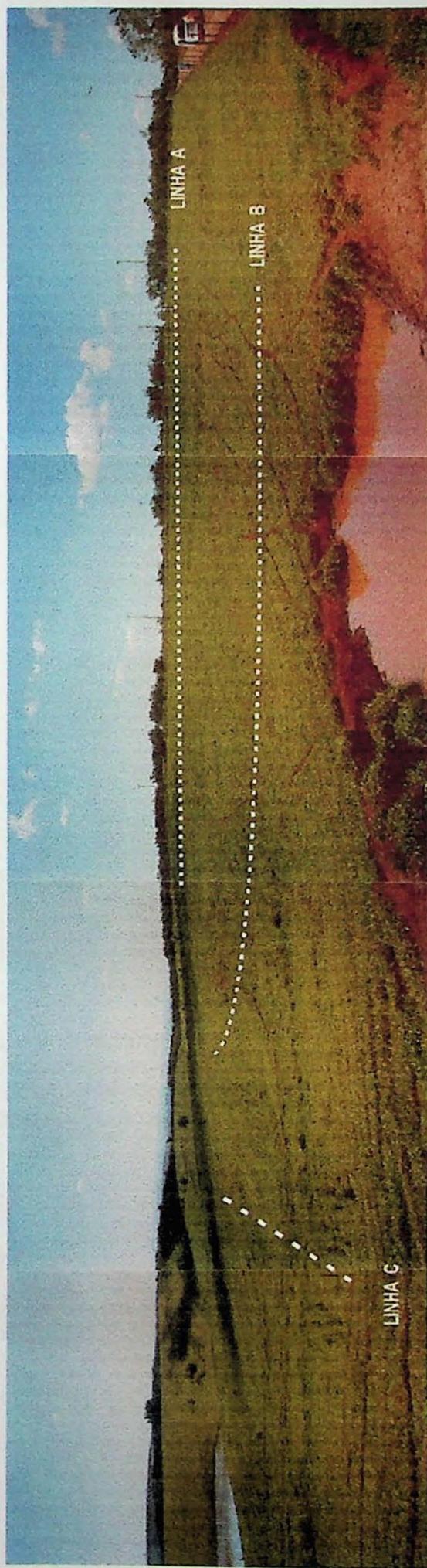


Foto 01- Localização das linhas A,B e C do caminhamento elétrico.

**ANEXO III - Fotos de lâminas;**

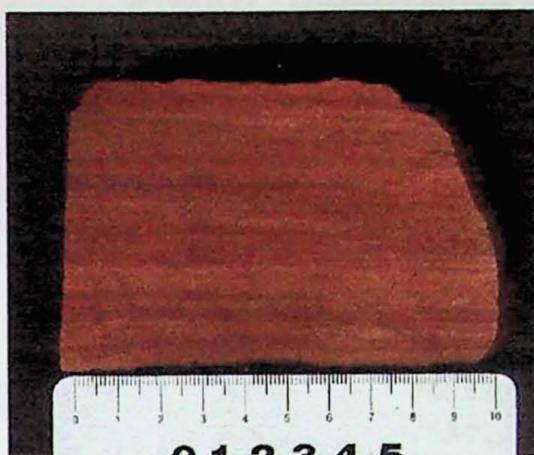


Foto 01 - Arenito com estratificação plano paralela, composto por quartzo e opacos, escala em centímetros.

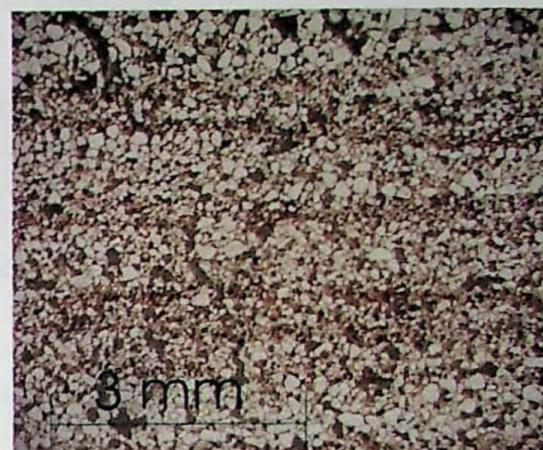


Foto 02 - Arenito com corte em seção delgada, evidente bimodalidade com grãos maiores arredondados e grãos menores sub-angulosos.



Foto 03 - Dacito, com textura fannerítica, fenocristais de plagioclásio e matriz composta essencialmente por plagioclásio e piroxênio. escala em centímetros.

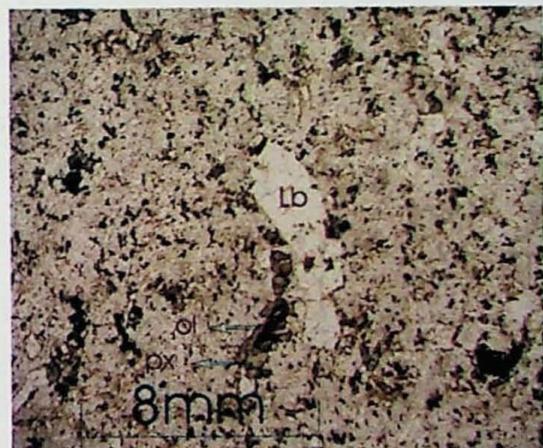


Foto 04 - Dacito em corte de seção delgada, com fenocristal de labradorita (8mm), matriz composta por labradorita, augita, olivina, apatita, quartzo e opacos.

**Anexo IV - Localização dos pontos, através de GPS;**

<b>Ponto</b>	<b>Coordenada N</b>	<b>Coordenada W</b>
1	7434087	642133
2	7434136	642264
3	7434329	642198
4	7434496	642067
A00	7434130	642237
A100	7434217	642192
A200	7434306	642145
A300	7434394	642098
A400	7434484	642051
B00	7434109	642180
B100	7434200	642135
B200	7434288	642088
B300	7434376	642042
B400	7434463	641995
C00	7434087	642123
C100	7434178	642080
C200	7434266	642036
C300	7434356	641991
C400	7434446	641945

**Anexo V - Dados dos Caminhamentos Elétricos.**

Linha A				
X	Y	V	K	R
30	-20	1.24	377	467.48
50	-20	1.264	377	476.528
70	-20	1.527	377	575.679
90	-20	1.439	377	542.503
110	-20	1.62	377	610.74
130	-20	1.728	377	651.456
150	-20	1.511	377	569.647
170	-20	1.612	377	607.724
190	-20	1.311	377	494.247
210	-20	1.561	377	588.497
230	-20	1.505	377	567.385
250	-20	1.492	377	562.484
270	-20	1.673	377	630.721
290	-20	1.645	377	620.165
310	-20	1.544	377	582.088
330	-20	1.401	377	528.177
350	-20	1.361	377	513.097
370	-20	1.456	377	548.912
40	-30	0.428	1508	645.424
60	-30	0.359	1508	541.372
80	-30	0.367	1508	553.436
100	-30	0.409	1508	616.772
120	-30	0.415	1508	625.82
140	-30	0.371	1508	559.468
160	-30	0.422	1508	636.376
180	-30	0.355	1508	535.34
200	-30	0.34	1508	512.72
220	-30	0.386	1508	582.088
240	-30	0.311	1508	468.988
260	-30	0.323	1508	487.084
280	-30	0.335	1508	505.18
300	-30	0.317	1508	478.036
320	-30	0.268	1508	404.144
340	-30	0.239	1508	360.412
360	-30	0.276	1508	416.208
50	-40	0.167	3770	629.59
70	-40	0.13	3770	490.1
90	-40	0.143	3770	539.11
110	-40	0.148	3770	557.96
130	-40	0.127	3770	478.79
150	-40	0.148	3770	557.96
X	Y	V	K	R
170	-40	0.13	3770	490.1
190	-40	0.129	3770	486.33
210	-40	0.118	3770	444.86

X	Y	V	K	R
230	-40	0.112	3770	422.24
250	-40	0.092	3770	346.84
270	-40	0.092	3770	346.84
290	-40	0.0924	3770	348.348
310	-40	0.0766	3770	288.782
330	-40	0.0653	3770	246.181
350	-40	0.0681	3770	256.737
60	-50	0.069	7540	520.26
80	-50	0.0577	7540	435.058
100	-50	0.0576	7540	434.304
120	-50	0.0514	7540	387.556
140	-50	0.0576	7540	434.304
160	-50	0.0514	7540	387.556
180	-50	0.0534	7540	402.636
200	-50	0.0514	7540	387.556
220	-50	0.0396	7540	298.584
240	-50	0.0381	7540	287.274
260	-50	0.0298	7540	224.692
280	-50	0.0302	7540	227.708
300	-50	0.0286	7540	215.644
320	-50	0.0231	7540	174.174
340	-50	0.0245	7540	184.73
70	-60	0.0326	13195	430.157
90	-60	0.0252	13195	332.514
110	-60	0.0215	13195	283.6925
130	-60	0.025	13195	329.875
150	-60	0.0218	13195	287.651
170	-60	0.0228	13195	300.846
190	-60	0.0239	13195	315.3605
210	-60	0.019	13195	250.705
230	-60	0.0147	13195	193.9665
250	-60	0.0137	13195	180.7715
270	-60	0.0111	13195	146.4645
290	-60	0.0114	13195	150.423
310	-60	0.0108	13195	142.506
330	-60	0.0098	13195	129.311

Linha B				
X	Y	V	K	R
30	-20	1.797	377	677.469
50	-20	1.895	377	714.415
70	-20	1.712	377	645.424
90	-20	1.768	377	666.536
110	-20	1.633	377	615.641
130	-20	1.904	377	717.808
150	-20	1.806	377	680.862
170	-20	1.518	377	572.286
190	-20	1.382	377	521.014
210	-20	1.905	377	718.185
230	-20	1.754	377	661.258
250	-20	1.657	377	624.689
270	-20	1.605	377	605.085
290	-20	1.896	377	714.792
310	-20	1.657	377	624.689
330	-20	1.451	377	547.027
350	-20	1.428	377	538.356
370	-20	1.818	377	685.386
40	-30	0.447	1508	674.076
60	-30	0.433	1508	652.964
80	-30	0.407	1508	613.756
100	-30	0.352	1508	530.816
120	-30	0.352	1508	530.816
140	-30	0.372	1508	560.976
160	-30	0.438	1508	660.504
180	-30	0.288	1508	434.304
200	-30	0.292	1508	440.336
220	-30	0.385	1508	580.58
240	-30	0.321	1508	484.068
260	-30	0.299	1508	450.892
280	-30	0.333	1508	502.164
300	-30	0.309	1508	465.972
320	-30	0.258	1508	389.064
340	-30	0.209	1508	315.172
360	-30	0.319	1508	481.052
50	-40	0.1435	3770	540.995
70	-40	0.1478	3770	557.206
90	-40	0.113	3770	426.01
110	-40	0.1077	3770	406.029
130	-40	0.0982	3770	370.214
150	-40	0.1272	3770	479.544
170	-40	0.109	3770	410.93
190	-40	0.095	3770	358.15
210	-40	0.091	3770	343.07
230	-40	0.1042	3770	392.834
250	-40	0.0861	3770	324.597
270	-40	0.0944	3770	355.888

X	Y	V	K	R
290	-40	0.0763	3770	287.651
310	-40	0.0655	3770	246.935
330	-40	0.0515	3770	194.155
350	-40	0.07	3770	263.9
60	-50	0.0549	7540	413.946
80	-50	0.0468	7540	352.872
100	-50	0.0396	7540	298.584
120	-50	0.0347	7540	261.638
140	-50	0.0378	7540	285.012
160	-50	0.0371	7540	279.734
180	-50	0.0399	7540	300.846
200	-50	0.0391	7540	294.814
220	-50	0.0286	7540	215.644
240	-50	0.0345	7540	260.13
260	-50	0.0321	7540	242.034
280	-50	0.0265	7540	199.81
300	-50	0.0206	7540	155.324
320	-50	0.0173	7540	130.442
340	-50	0.0214	7540	161.356
70	-60	0.0197	13195	259.9415
90	-60	0.01171	13195	154.5135
110	-60	0.0135	13195	178.1325
130	-60	0.0178	13195	234.871
150	-60	0.0132	13195	174.174
170	-60	0.0157	13195	207.1615
190	-60	0.01797	13195	237.1142
210	-60	0.0171	13195	225.6345
230	-60	0.0112	13195	147.784
250	-60	0.0144	13195	190.008
270	-60	0.0109	13195	143.8255
290	-60	0.0094	13195	124.033
310	-60	0.00745	13195	98.30275
330	-60	0.0087	13195	114.7965

Linha C				
X	Y	V	K	R
30	-20	1.398	377	527.046
50	-20	1.181	377	445.237
70	-20	1.725	377	650.325
90	-20	1.685	377	635.245
110	-20	1.454	377	548.158
130	-20	1.713	377	645.801
150	-20	1.807	377	681.239
170	-20	1.586	377	597.922
190	-20	1.768	377	666.536
210	-20	1.681	377	633.737
230	-20	1.307	377	492.739
250	-20	1.323	377	498.771

X	Y	V	K	R
270	-20	1.382	377	521.014
290	-20	1.388	377	523.276
310	-20	1.688	377	636.376
330	-20	1.666	377	628.082
350	-20	1.832	377	690.664
370	-20	2.29	377	863.33
40	-30	0.343	1508	517.244
60	-30	0.345	1508	520.26
80	-30	0.396	1508	597.168
100	-30	0.353	1508	532.324
120	-30	0.362	1508	545.896
140	-30	0.367	1508	553.436
160	-30	0.358	1508	539.864
180	-30	0.301	1508	453.908
200	-30	0.289	1508	435.812
220	-30	0.289	1508	435.812
240	-30	0.263	1508	396.604
260	-30	0.264	1508	398.112
280	-30	0.236	1508	355.888
300	-30	0.254	1508	383.032
320	-30	0.321	1508	484.068
340	-30	0.309	1508	465.972
360	-30	0.35	1508	527.8
50	-40	0.0868	3770	327.236
70	-40	0.1174	3770	442.598
90	-40	0.136	3770	512.72
110	-40	0.129	3770	486.33
130	-40	0.1114	3770	419.978
150	-40	0.1048	3770	395.096
170	-40	0.0966	3770	364.182
190	-40	0.0769	3770	289.913
210	-40	0.0739	3770	278.603
230	-40	0.0765	3770	288.405
250	-40	0.0741	3770	279.357
270	-40	0.0625	3770	235.625
290	-40	0.0585	3770	220.545
310	-40	0.0711	3770	268.047
330	-40	0.08	3770	301.6
350	-40	0.0783	3770	295.191
60	-50	0.0477	7540	359.658
80	-50	0.046	7540	346.84
100	-50	0.0554	7540	417.716
120	-50	0.0569	7540	429.026
140	-50	0.035	7540	263.9
160	-50	0.037	7540	278.98
180	-50	0.0316	7540	238.264
200	-50	0.0272	7540	205.088
220	-50	0.0256	7540	193.024

240	-50	0.0261	7540	196.794
X	Y	V	K	R
260	-50	0.0244	7540	183.976
280	-50	0.0199	7540	150.046
300	-50	0.0203	7540	153.062
320	-50	0.0216	7540	162.864
340	-50	0.0321	7540	242.034
70	-60	0.0082	13195	108.199
90	-60	0.0212	13195	279.734
110	-60	0.0257	13195	339.1115
130	-60	0.03	13195	395.85
150	-60	0.0101	13195	133.2695
170	-60	0.0169	13195	222.9955
190	-60	0.00865	13195	114.1368
210	-60	0.0119	13195	157.0205
230	-60	0.01157	13195	152.6662
250	-60	0.0102	13195	134.589
270	-60	0.01437	13195	189.6122
290	-60	0.00875	13195	115.4563
310	-60	0.00817	13195	107.8032
330	-60	0.01091	13195	143.9575

**Anexo VI - Dados das Sondagens Elétricas Verticais**

SEV - A80					
AB/2	MN/2	K	R	I	$\rho$
1.5	0.5	6.28	79.1	5	496.75
2	0.5	11.78	49.2	5	579.58
3	0.5	27.48	25.6	5	703.49
4	0.5	49.48	17.1	5	846.11
5	0.5	77.75	11.25	5	874.69
6	0.5	112.31	7.61	10	854.68
8	0.5	200.27	4.15	10	831.12
10	0.5	313.37	2.75	10	861.77
13	0.5	530.14	1.624	20	860.95
16	0.5	803.46	0.692	20	555.99
20	0.5	1255.83	0.112	50	140.65
25	0.5	1962.71	0.26	50	510.30
25	2	487.73	1.122	50	547.23
30	0.5	2826.64	0.1793	50	506.82
30	2	703.71	0.769	50	541.15
40	2	1253.49	0.433	50	542.76
50	2	1560.35	0.266	50	415.05
60	2	2824.29	0.1705	50	481.54
80	2	5023.4	0.0696	100	349.63
100	2	7850.84	0.0326	100	255.94
130	2	13270	0.0131	100	173.84
150	2	17668.31	0.0097	100	171.38

SEV - A320					
AB/2	MN/2	K	R	I	$\rho$
1.5	0.5	6.28	73.3	5	460.32
2	0.5	11.78	44.9	5	528.92
3	0.5	27.48	25.9	5	711.73
4	0.5	49.48	17.13	5	847.59
5	0.5	77.75	11.33	5	880.91
6	0.5	112.31	7.85	5	881.63
8	0.5	200.27	4.33	5	867.17
10	0.5	313.37	2.73	5	855.50
13	0.5	530.14	1.288	10	682.82
16	0.5	803.46	0.721	10	579.29
20	0.5	1255.83	0.437	20	548.80
25	0.5	1962.71	0.259	20	508.34
25	2	487.73	0.991	20	483.34
30	0.5	2826.64	0.1601	20	452.55
30	2	703.71	0.611	50	429.97
40	2	1253.49	0.287	50	359.75
50	2	1560.35	0.1547	50	241.39
60	2	2824.29	0.0855	50	241.48
80	2	5023.4	0.0305	50	153.21

100	2	7850.84	0.01449	50	113.76
-----	---	---------	---------	----	--------

SEV - B140					
AB/2	MN/2	K	R	I	$\rho$
1.5	0.5	6.28	98.6	5	619.21
2	0.5	11.78	63.2	5	744.50
3	0.5	27.48	34.3	5	942.56
4	0.5	49.48	22.1	5	1093.51
5	0.5	77.75	15.53	5	1207.46
6	0.5	112.31	11.39	5	1279.21
8	0.5	200.27	6.36	10	1273.72
10	0.5	313.37	3.55	10	1112.46
13	0.5	530.14	1.86	10	986.06
16	0.5	803.46	1.08	20	867.74
20	0.5	1255.83	0.606	20	761.03
25	0.5	1962.71	0.351	20	688.91
25	2	487.73	1.396	20	680.87
30	0.5	2826.64	0.234	20	661.43
30	2	703.71	0.927	20	652.34
40	2	1253.49	0.439	20	550.28
50	2	1560.35	0.237	20	369.80
60	2	2824.29	0.135	50	381.28
80	2	5023.4	0.0536	50	269.25
100	2	7850.84	0.0253	50	198.63
130	2	13270	0.01169	50	155.13
150	2	17668.31	0.00699	50	123.50

SEV - B260					
AB/2	MN/2	K	R	I	$\rho$
1.5	0.5	6.28	112.9	5	709.01
2	0.5	11.78	71.4	5	841.09
3	0.5	27.48	39.8	5	1093.70
4	0.5	49.48	24.2	5	1197.42
5	0.5	77.75	14.09	5	1095.50
6	0.5	112.31	9.58	5	1075.93
8	0.5	200.27	5.38	5	1077.45
10	0.5	313.37	2.98	10	933.84
13	0.5	530.14	1.657	10	878.44
16	0.5	803.46	0.998	10	801.85
20	0.5	1255.83	0.541	10	679.40
25	0.5	1962.71	0.314	20	616.29
25	2	487.73	1.293	20	630.63
30	0.5	2826.64	0.1974	20	557.98
30	2	703.71	0.81	20	570.01
40	2	1253.49	0.386	20	483.85
50	2	1560.35	0.1963	20	306.30
60	2	2824.29	0.1019	20	287.80
80	2	5023.4	0.0351	20	176.32

SEV - C080					
AB/2	MN/2	K	R	I	$\rho$
1.5	0.5	6.28	139.1	5	873.55
2	0.5	11.78	89.5	5	1054.31
3	0.5	27.48	63.8	5	1753.22
4	0.5	49.48	33.7	5	1667.48
5	0.5	77.75	20.89	10	1624.20
6	0.5	112.31	15.01	10	1685.77
8	0.5	200.27	7.53	10	1508.03
10	0.5	313.37	4.42	10	1385.10
13	0.5	530.14	2.2	10	1166.31
16	0.5	803.46	1.156	10	928.80
20	0.5	1255.83	0.676	20	848.94
25	0.5	1962.71	0.37	20	726.20
25	2	487.73	1.274	20	621.37
30	0.5	2826.64	0.242	20	684.05
30	2	703.71	0.828	20	582.67
40	2	1253.49	0.444	50	556.55
50	2	1560.35	0.281	50	438.46
60	2	2824.29	0.1712	50	483.52
80	2	5023.4	0.0855	50	429.50
100	2	7850.84	0.0458	50	359.57

SEV - C320					
AB/2	MN/2	K	R	I	$\rho$
1.5	0.5	6.28	192	5	1205.76
2	0.5	11.78	109.6	5	1291.09
3	0.5	27.48	46.5	5	1277.82
4	0.5	49.48	24.9	5	1232.05
5	0.5	77.75	15.57	5	1210.57
6	0.5	112.31	10.73	5	1205.09
8	0.5	200.27	5.1	5	1021.38
10	0.5	313.37	2.87	10	899.37
13	0.5	530.14	1.415	10	750.15
16	0.5	803.46	0.812	10	652.41
20	0.5	1255.83	0.487	10	611.59
25	0.5	1962.71	0.28	20	549.56
25	2	487.73	1.102	20	537.48
30	0.5	2826.64	0.162	20	457.92
30	2	703.71	0.655	20	460.93
40	2	1253.49	0.298	50	373.54
50	2	1560.35	0.1433	50	223.60
60	2	2824.29	0.0768	50	216.91
80	2	5023.4	0.0261	50	131.11
100	2	7850.84	0.0151	50	118.55

### Anexo VII - Dados do Potencial Espontâneo

Potencial Espontâneo			
X	Y	mV	Hora
200	60	-5	13:48
180	60	-3	
160	60	3	
140	60	9	
120	60	25	13:53
100	60	29	
80	60	39	
60	60	32	
40	60	35	
20	60	26	
0	60	32	14:00
0	120	54	14:03
20	120	20	
40	120	14	
60	120	-1	
80	120	1	
100	120	-2	14:11
120	120	-7	
140	120	6	
160	120	-2	14:15
180	120	15	
200	120	7	
220	120	6	14:19
240	120	6	
260	120	1	
280	120	17	
300	120	11	14:23
320	120	25	
340	120	1	
360	120	-13	
380	120	6	
400	120	-7	14:29
400	60	13	
380	60	11	
360	60	3	
340	60	3	14:35
320	60	-2	
300	60	-4	
280	60	-1	
260	60	-7	14:39

X	Y	mV	Hora
240	60	-7	
220	60	-3	
200	60	-5	14:43
400	0	-7	14:49
380	0	13	
360	0	-14	
340	0	-18	
320	0	-34	
300	0	-20	14:55
280	0	-13	
260	0	-1	
240	0	-2	
220	0	-6	14:58
200	0	18	
180	0	-2	
160	0	1	15:05
140	0	17	
120	0	18	
100	0	21	15:08
80	0	42	
60	0	36	
40	0	58	
20	0	32	
0	0	31	15:13

