UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO DE ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM TIMBURI-SP EMPREGANDO-SE MÉTODOS GEOFÍSICOS

Diego Daniel Silva

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas
Co-orientador: Dr. Fernando Augusto Saraiva

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2011 / 13)

SÃO PAULO
2011

TF
S586
DD.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO DE ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM TIMBURI-SP EMPREGANDO-SE MÉTODOS GEOFÍSICOS

Diego Daniel Silva

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
24526
U.S.P.

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas
Co-orientador: Dr. Fernando Augusto Saraiva

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2011 / 13)

DEDALUS - Acervo - IGC
30900030343

SÃO PAULO
2011

TF
S586
Dj. c

De acordo,

Aluno: Diego Daniel Silva

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

Dr. Fernando Augusto Saraiva

AGRADECIMENTOS

Considerando este trabalho como resultado de uma caminhada que não começou no IGc-USP, agradecer pode não ser uma tarefa fácil. Para não correr o risco de injustiça, agradeço a todos que passaram de alguma forma pela minha vida e contribuíram diretamente ou indiretamente na construção da pessoa que sou hoje.

E agradeço, particularmente, a algumas pessoas que contribuíram de forma direta neste trabalho:

Aos meus pais, Jorge e Lenice, irmão, Rodrigo, que com muito carinho e apoio não mediram esforços para que eu chegasse nesta etapa da minha vida.

Ao Gallas, pela dedicação como orientador, e mais importante, pela amizade; ao Fernando, meu co-orientador, pelas sugestões e revisões; ao Paulinho, técnico do CEPAS, por toda a ajuda nas atividades de campo e também pelas boas risadas em Timburi.

Ao Juraci Tomaz e família, Reinaldo Rueda, proprietário da área, Antonio Francisco Gil Duarte, Paulo César Minozzi, pessoas que apesar de exercer um cargo nobre na prefeitura de Timburi, mostraram-se solícitas e muito receptivas.

As pessoas que fizeram das minhas voltas à Pirassununga mais interessantes e divertidas: Thais, Gi, Dani, Bruninha, Deize, Joaquim, Paulo, João, Pupe, Daniel, Cabelo, Grubão, Nath, Tópo, e a todos os grandes músicos que tive o prazer de tocar junto, em especial, Paulinho.

Ao Covil das Virgens, em especial, Titica, Argolinha, Mikuim, 24, Rabikó e Dona Amélia (mulher de verdade), 4 anos de vivência, camaradagem e rolês.

Ao Oncinha, Sheilla, Mimozzo e Dé, grande Seixos Pra Um, onde simplicidade, irmandade e respeito foram a receita para estarmos juntos até hoje.

As repúblicas, Cativero, Asthenosfera, e Panapia por todas as festas e amizades feitas no período de graduação.

Gorda, Charula, Indigente, Funga, Gargalo e Flor, vocês realmente são considerados como irmãos para mim, pessoas que sempre estiveram nas horas boas e ruins da minha vida. Sou agradecido por todas as viagens, churras e imbecialidades feitas e ditas por nós ao longo desses anos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS v
LISTA DE ANEXOS vii
RESUMO viii
ABSTRACT ix
1. INTRODUÇÃO 1
2. OBJETIVOS 1
3. LOCALIZAÇÃO 2
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
4.1. Geologia regional 3
4.2. Legislação Incidente 6
4.3. Trabalhos Anteriores 6
4.4. Eletrorresistividade 8
4.5. Potencial Espontâneo 10
5. MATERIAIS E MÉTODOS 11
5.1. Atividades de Campo 12
5.2. Processamento dos Dados 16
6. RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES 16
6.1 Sondagem Elétrica Vertical 16
6.2. Caminhamento Elétrico 22
6.3. Potencial Espontâneo 27
7. CONCLUSÃO 31

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LISTA DE FIGURAS

Fig. 3.1 - Localização do município de Timburi e área de estudo..... 2

Fig. 4.1 - Mapa geológico da região de Timburi-SP, segundo Negri *et al.* (2006)..... 5

Fig. 4.2 - Arranjo do tipo dipolo-dipolo (original de GALLAS, 2000)..... 9

Fig. 4.3 - Arranjo *Schlumberger (*original de GALLAS, 2000)..... 10

Fig. 4.4 - Técnica dos potenciais ou base fixa (original de GALLAS, 2000)..... 11

Fig. 5.1 - Resistivímetro Terrameter – SAS 4000 (ABEM)..... 11

Fig. 5.2 - A- Milivoltímetro para aquisição de dados; B- Eletrodo de potencial espontâneo..... 12

Fig. 5.3 - Método de aquisição de dados de campo para o caminhamento elétrico..... 13

Fig. 5.4 - Método de aquisição de dados de campo para a sondagem elétrica vertical..... 14

Fig. 5.5 - Distribuição em planta dos métodos aplicados..... 15

Fig. 6.1 - SEV 100A..... 17

Fig. 6.2 - SEV 340A..... 17

Fig. 6.3 - SEV 160B..... 18

Fig. 6.4 - SEV 280B..... 18

Fig. 6.5 - SEV 120C..... 19

Fig. 6.6 - SEV 300C..... 19

Fig. 6.7 - Mapa de contorno do topo do Arenito Botucatu..... 21

Fig. 6.8 - Bloco diagrama para a superfície de contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral..... 22

Fig. 6.9 - Pseudo-seção e seção modelada de resistividade da linha A..... 23

Fig. 6.10 - Pseudo-seção e seção modelada de resistividade da linha B..... 24

Fig. 6.11 - Pseudo-seção e seção modelada de resistividade da linha C..... 25

Fig. 6.12 - Níveis de investigação (1 a 5)..... 27

Fig. 6.13 - Mapa de direções de fluxo de água e modelo de bloco..... 28

Fig. 6.14 - A- Mapa de direções de fluxo de água subterrânea; B- Topografia superficial da área, indicando as linhas de investigações..... 30

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – MAPA TOPOGRÁFICO DA REGIÃO DE TIMBURI-SP.

ANEXO II – DADOS DOS CAMINHAMENTOS ELÉTRICOS.

ANEXO III – DADOS DAS SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS.

ANEXO IV – DADOS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO.

RESUMO

Para fazer frente aos problemas ambientais enfrentados pelos municípios brasileiros, tem destaque a necessidade da disposição correta de resíduos domiciliares em locais que garantam a saúde pública, além da preservação do meio ambiente.

A forma mais adequada para a disposição desses resíduos é a implantação de aterros sanitários planejados com controle sobre o líquido formado pela decomposição da matéria orgânica (chorume).Também é necessário o controle sobre o gás gerado, bem como o recobrimento imediato do lixo depositado. Porém é comum que essa disposição seja feita sem qualquer controle técnico, em locais denominados de lixões, onde ocorre contaminação do solo e, eventualmente das águas subterrâneas.

O presente trabalho teve como objetivo a investigação geológica de uma área previamente escolhida no município de Timburi-SP, utilizando métodos geofísicos, para a implantação de um aterro sanitário.

Timburi está inserido no contexto geológico da Bacia do Paraná, onde inferiormente ocorrem arenitos da Formação Botucatu, sobrepostos por rochas de origem vulcânica da Formação Serra Geral.

Através dos métodos geoelétricos foi investigada a porção que recobre o arenito, analisando sua espessura bem como estruturas verticais favoráveis à percolação de água e, portanto, o chorume, além de caracterizar o sentido do fluxo de água subterrânea para locação de possíveis poços de monitoramento, caso a área seja considerada apta à implementação do aterro.

Para a investigação pelo o método da eletrorresistividade foram utilizadas técnicas como caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo, sondagem elétrica vertical com arranjo *Schlumberger* e o método de potencial espontâneo com a técnica dos potenciais ou base fixa.

Com base nos resultados obtidos, considera-se que a área investigada apresenta características geológicas necessárias para a implementação de um aterro sanitário.

ABSTRACT

To make stand to the environmental problems faced by Brazilian cities, is necessary to dispose correctly the domestic waste in places in order to guarantee the public health as well as environmental preservation.

The most adequate way to dispose such waste is implanting planned sanitary landfills with the control over the liquid generated during the decompose of organic matter (leachate). It´s also important to control the gas created in this decomposition and the immediate soil covering of the deposited waste. However, it is common that this disposal is done without any technical control and in places called city dumps, where soil contamination, and eventually groundwater contamination, occurs.

The main goal of this work is the geological investigation of an area previously chosen in Timburi city, state of São Paulo, using geophysical methods, in order to implant a sanitary landfill. The geological setting of this city comprises two Paraná Basin's units: the sandstones of Botucatu Formation and the overlying volcanic rocks of Serra Geral Formation.

By using geoelectrical methods, an investigation on the volcanic unit was carried out by analyzing its thickness as well as vertical structures favorable to water and contaminants percolation. The groundwater flow direction was also determined aiming the location of monitoring wells, in case the area is considered enabled to be a sanitary landfill.

For the electroresistivity investigation, techniques such as geoelectrical profiling with dipole-dipole array, vertical electrical sounding with *Schlumberger* array and self-potencial method coupled with the potencial technique were used.

Acoording to the obtained results, the investigated area has geological features which consists with the necessities of a sanitary landfill.

1. INTRODUÇÃO

Em todo território brasileiro é comum a disposição de resíduos domiciliares em lixões, onde ocorre contaminação do ar, solo e principalmente das águas subterrâneas. No entanto, a forma mais adequada para a disposição destes resíduos é instalação de aterros sanitários planejados.

A preocupação com a migração do chorume no solo aqui formado a partir de compostos orgânicos e íons dissolvidos e, consequentemente na água superficial e subterrânea, tem expandido os estudos acerca das possibilidades de diagnósticos e remediações de áreas contaminadas. O chorume é um contaminante extremamente persistente, podendo perdurar por décadas mesmo após a desativação do aterro, e exige ações corretivas que duram vários anos para que se remedie a contaminação.

Métodos geofísicos, particularmente os geoelétricos, têm se mostrado muito eficientes, ajudando na investigação e caracterização de áreas destinadas às implantações de aterros sanitários.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal a aplicação de métodos geofísicos visando a definição de uma área propícia à implantação de um aterro sanitário no município de Timburi – SP, com características de solo/subsolo que garantam a preservação das águas subterrâneas a fim de minimizar o efeito da poluição.

A área escolhida para a implantação do aterro foi diagnosticada quanto aos seguintes aspectos:

- Fraturas e falhamentos que facilitem a percolação de fluidos pela rocha;

- Determinação das direções preferenciais de fluxos d'água;

- Espessura da camada de basalto e profundidade do Aquífero Guarani.

Para isso foram utilizados métodos geoelétricos (eletrorresistividade e potencial espontâneo).

3. LOCALIZAÇÃO

O Município de Timburí (latitude 23º12'19" sul e longitude 49º36'24" oeste), localiza-se no Centro-Sul do Estado de São Paulo, a aproximadamente 358 km da capital, e faz limites com os municípios de Piraju, Ipaussu, Fartura, Sarutaiá e também com a cidade de Ribeirão Claro no Estado do Paraná, encontrando-se como divisa natural entre os dois estados, o rio Itararé (represa de Chavantes) (**Fig3.1**).

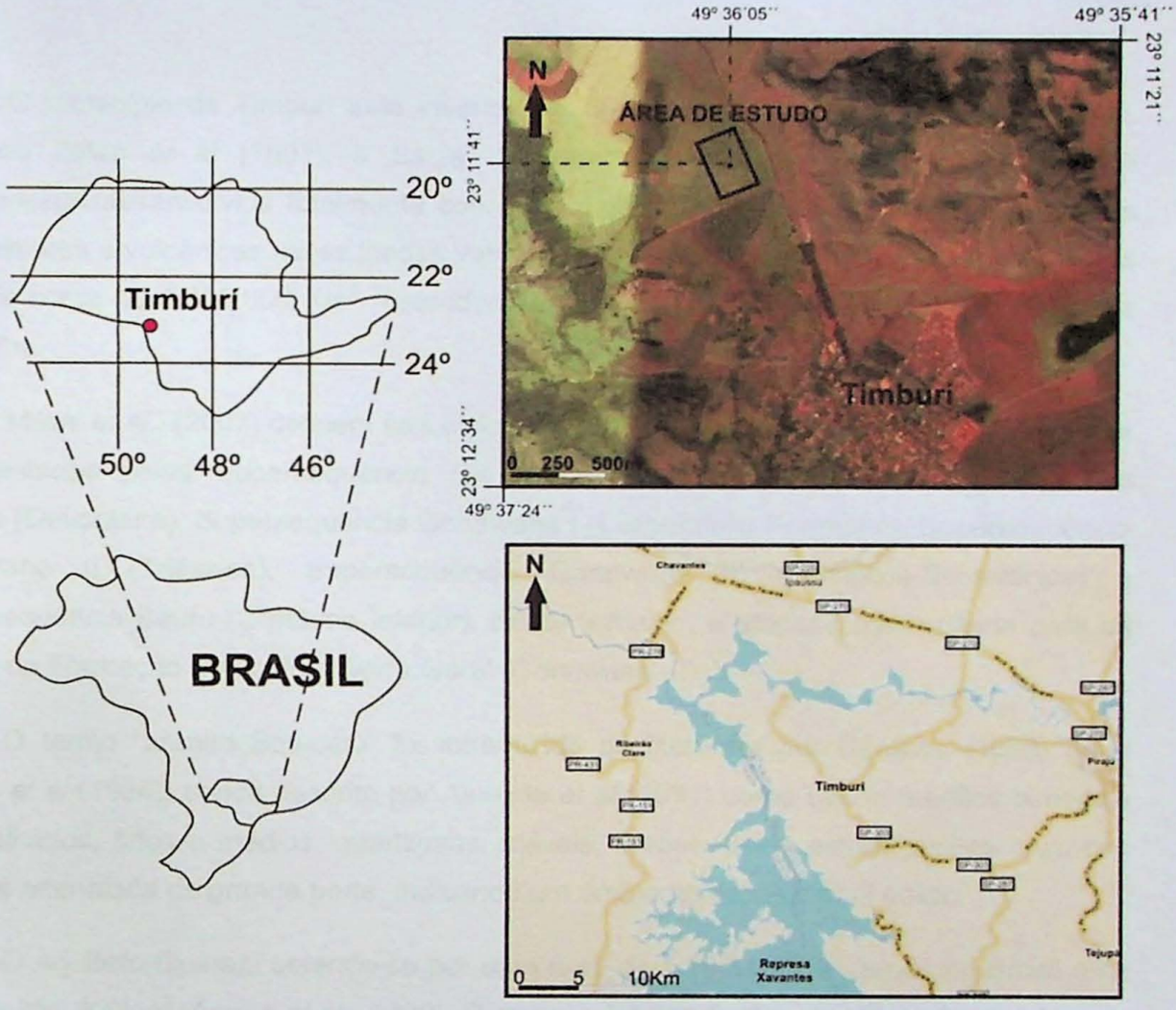


Fig.3.1. Localização do município de Timburi e área de estudo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi dividida em 5 partes para melhor entendimento: Geologia Regional, Legislação Incidente, Trabalhos Anteriores, Eletrorresistividade e Potencial Espontâneo.

4.1. Geologia regional

O município de Timburi está inserido no contexto geológico da Bacia do Paraná. Segundo Zalán *et al* (1991), a Bacia do Paraná é uma vasta bacia intracratônica sulamericana desenvolvida totalmente 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 1.400.000 Km^2 estendendo-se ao longo do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina.

Milani *et al.*, (2007) definem seis ciclos sedimentares na Bacia do Paraná, sendo eles representados pelas Supersequência Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Supersequência Paraná (Devoniano), Supersequência Gondwana I (Carbonífero-Permiano), Supersequência Gondwana II (Triássico), Supersequência Gondwana III (Jurássica-Eocretácica) e Supersequência Bauru (Cretáceo Inferior). Neste trabalho, a atenção está voltada para as rochas da Formação Botucatu e Serra Geral (Gondwana III).

O termo "arenito Botucatu" foi introduzido na literatura por Campos (1889) *apud* Santos *et al* (1984), sendo descrito por Almeida *et al* (1981) como sendo arenitos bimodais avermelhados, finos a médios, quartzosos, friáveis, apresentando estratificações cruzadas planar e acanalada de grande porte, indicando um ambiente deposicional eólico.

O Aquifero Guarani estende-se por uma área de 1.195.500km^2, tendo no Brasil uma área de 839.800km^2 (Araújo *et al.*, 1999). Rebouças (1994) divide o aquífero de acordo com as características litoestratigráficas. O sistema aquífero Botucatu tem uma extensão territorial da ordem 818.000 km^2, sendo que 700.000 km^2 encontram-se confinados pelos basaltos da Formação Serra Geral. A espessura do aquífero atinge espessuras de até 800m com espessura média da ordem de 200m.

Segundo Santos *et al.,* (1984), o magmatismo da Fm. Serra Geral recobre mais de 1.200.000 Km^2 , ocorrendo no Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai. Na região de Timburi

ocorrem derrames de rochas ácidas, tendo sido descritas inicialmente por Sartori & Maciel Filho (1978).

Estudos mais recentes (Negri *et al.*, 2006) mostram ocorrências de rochas ácidas ao longo da calha do rio Paranapanema com direção de cerca de N40W, tendo ocorrência de traquidacitos localmente na região de Chavantes, norte desse rio, ocorrida pela erosão dos basaltos sobrejacentes (**Fig. 4.1**).

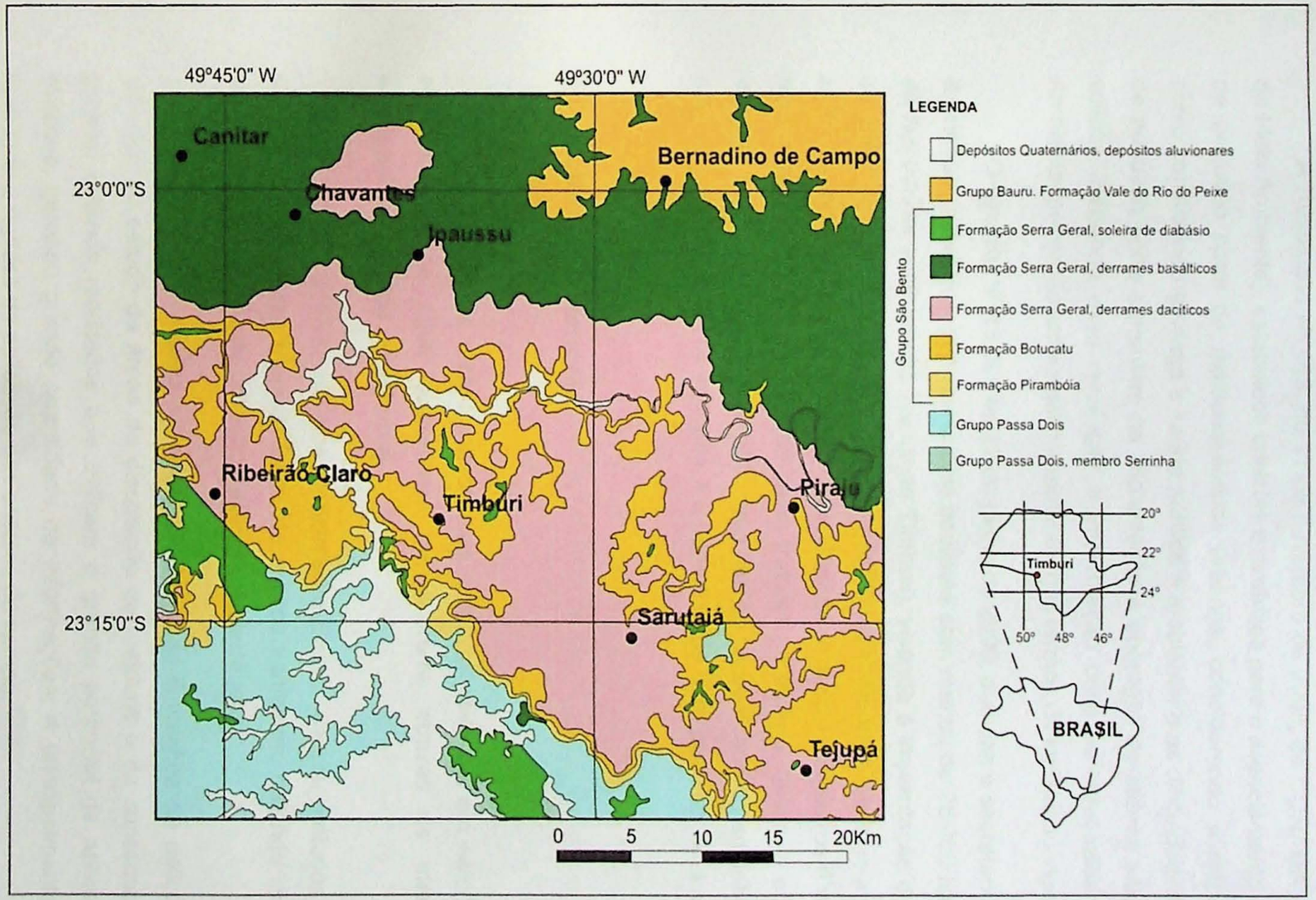


Fig. 4.1. Mapa geológico da região de Timburi-SP, segundo Negri *et al.* (2006).

4.2. Legislação Incidente

A Resolução Nª 408, de 11 de novembro de 2008, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos, considerando a disposição inadequada como constituindo ameaça a saúde pública e ambiental e as dificuldades que os municípios de pequeno porte enfrentam na implantação e operação de aterros sanitários de resíduos sólidos. Segundo essa resolução a implantação deve ser precedida de Licenciamento Ambiental por órgão ambiental competente, nos termos da legislação vigente.

O decreto N° 45.001 de 27 de junho de 2000, autoriza o secretário do meio ambiente a celebrar convênios com municípios paulistas com menos de 25.000 habitantes e geração de lixo inferior a 10 ton/dia (incluindo Timburi), visando à implantação de aterros sanitários em valas para resíduos sólidos. O maior problema enfrentado pelos municípios de pequeno porte na construção de aterros sanitário além de recursos financeiros é a disponibilidade de equipamentos para sua operação como tratores de esteira. Assim, a opção de disposição em vala é interessante, já que neste caso não há necessidade de equipamentos específicos nem de compactação dos resíduos, e a cobertura de terra pode ser feita manualmente.

4.3. Trabalhos Anteriores

A aplicação de métodos geofísicos, como os elétricos, em estudos relacionados a contaminação de água subterrânea por chorume através de aterros sanitários, é amplamente discutido na literatura.

MENDES (1987), um dos pioneiros no Brasil, utilizou métodos eletrorresistivos e eletromagnéticos para mapear áreas de aterros sanitários, obtendo respostas rápidas e confiáveis nos estudos de poluição de águas subterrâneas.

ELIS (1999), mostra as possibilidades e as limitações de aplicação dos métodos elétricos no estudo de áreas de disposição de resíduos e da consequente contaminação gerada, obtendo resultados que indicam o grande potencial da aplicação dos métodos elétricos, gerando grande quantidade de informações, e principalmente sua versalidade, facilidade e rapidez de aplicação dos ensaios de campo.

GALLAS (2000), apresenta uma ampla visão sobre os métodos geoelétricos nas áreas geológicas, com aplicações em casos reais, obtendo resultados positivos e inéditos.

GALLAS *et al.*, (2005), por intermédio de ensaios geofísicos de eletrorresistividade, obteve a detecção e mapeamento da pluma de contaminação do aterro sanitário do município de Londrina – PR, estabelecendo a direção do fluxo da contaminação pelas fraturas horizontais ou superficiais dos derrames basálticos.

LAGO *et al.*, (2006), através da integração de alguns métodos de geofísica (eletrorresistividade, polarização induzida e potencial espontâneo), possibilitou a caracterização geoambiental da área de aterro sanitário da cidade de Bauru – SP, obtendo dados sobre a pluma de contaminação podendo assim orientar a locação de ensaios por métodos diretos, como poços de monitoramento.

MOREIRA (2009), através da eletrorresistividade, polarização induzida e potencial espontâneo, permitiu ao autor analisar os parâmetros de resistividade elétrica, cargabilidade e potencial elétrico natural, com o objetivo de prever o tempo requerido para o retorno dos padrões naturais de áreas contaminadas por chorume em aterros em valas programadas, na cidade de Cordeirópolis – SP.

Timburi através de projeto de auxílio da Pró Reitoria de Pesquisa da USP, vem sendo alvo constante de estudos geofísicos para implantação de aterro sanitário, e outros estudos ambientais pelo CEPAS (Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas – IGc/USP):

CRUZ (2003), com aplicação de métodos geoelétricos obteve ótimos resultados para a Formação Serra Geral, com espessura máxima de 68 metros e mínima de 47,9 metros, na qual uma compactação adequada e preparação do terreno, poderia garantir um local seguro, porém uma grande descontinuidade interpretada como uma falha, faz com que a área torne-se imprópria geologicamente para instalação de um aterro.

VIEIRA (2004), com métodos geoelétricos obteve espessura máxima de 27 metros e mínima de 17 metros para a Formação Serra Geral, com nenhuma estrutura vertical associada, apresentando assim características geológicas necessárias para a implementação do aterro.

BARBOZA (2007), por meio de métodos geoelétricos, obteve espessura máxima de 31 metros e mínima de 22 metros para a Formação Serra Geral, chegando à conclusão que a área possui condições geológicas adequadas para a instalação de um aterro sanitário, pois as condições litológicas e estruturais da área praticamente anulam o risco de contaminação do aquífero Botucatu.

4.4. Eletrorresistividade

O parâmetro fornecido pelo método da eletrorresistividade é a resistividade. Seu princípio é baseado na passagem de uma corrente de intensidade I pelo solo, transmitida por um par de eletrodos A e B, ligado a um emissor E. Mede-se a diferença de potencial V entre dois eletrodos M e N. A resistividade aparente (Ra) é dada pela fórmula Ra = KV/I, onde K é um coeficiente que depende das dimensões e arranjo do quadripolo AMNB, e que pode ser obtida da seguinte equação:

$$K = 2\pi\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)^{-1}$$

As unidades empregadas são:

- resistividade aparente em ohm.m,

- diferença de potencial em milivolts (mV),

- intensidade da corrente em miliampère (mA).

O parâmetro resistividade depende da natureza e do estado físico do material. TELFORD *et al.*, (1990) mostra através da **Tab. 4.1**, a grande variação entre das resistividades dos matérias geológicos.

Rochas	Resistividade (ohm.m)
Dacito	2×10^4
Quartzito	$10 - 2 \times 10^8$
Diabasio	$20 - 5 \times 10^7$
Basalto	$10 - 1.3 - 10^7$
Dolomito	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Gabro	$10^3 - 10^6$
Granito Porfirítico (saturado)	4.5×10^3
Argilito	$10 - 8 \times 10^2$
Conglomerado	$2 \times 10^3 - 10^4$

Tab 4.1. Resistividade dos materiais geológicos, TELFORD et al., (1990).

As técnicas geoelétricas utilizadas nesse projeto são o caminhamento elétrico e a sondagem elétrica vertical.

O caminhamento elétrico (CE) é uma técnica executada através da transmissão de corrente elétrica por meio de eletrodos, e o potencial gerado é medido através de outros eletrodos em contato galvânico com o solo, investigando assim sua variação na horizontal a uma ou mais profundidades determinadas.

O arranjo utilizado é o dipolo-dipolo (**Fig. 4.2**) que consiste em dois eletrodos fixados A e B, de envio de corrente e movendo os eletrodos M e N de recepção, alinhados em um mesmo perfil com deslocamento igual a L. A profundidade aumenta conforme o deslocamento, obtendo vários níveis de investigação (n=1,2,3,4...). Os pontos (valores medidos de resistividade aparente) são plotados a 45° dos centros de AB (Ω, Ω´,Ω´´...) e MN (O,O´,O´´...) de cada estação de medida.

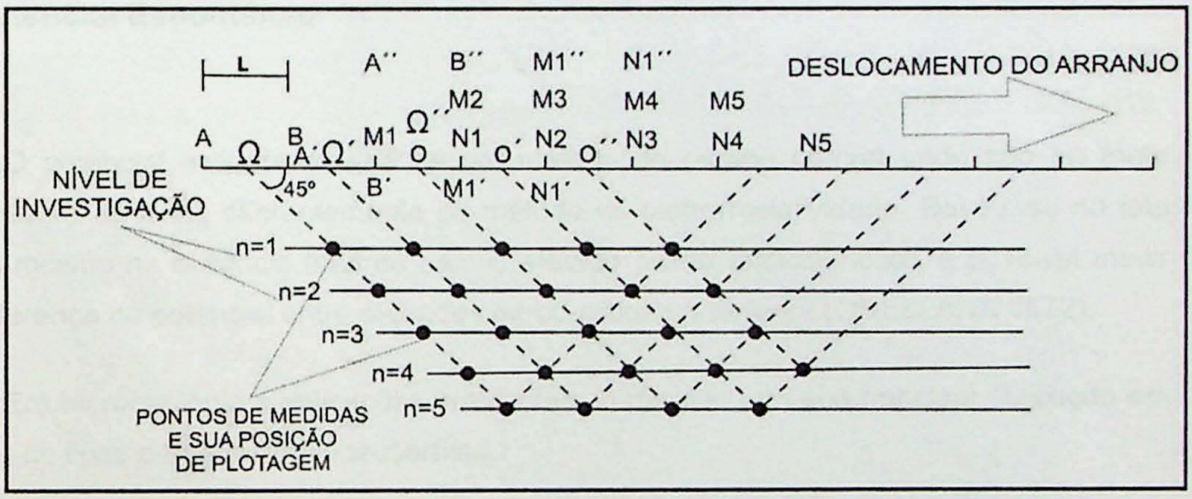


Fig. 4.2. Arranjo do tipo dipolo-dipolo (original de GALLAS, 2000).

A sondagem elétrica vertical (SEV) é uma técnica que investiga variações verticais de resistividade em subsuperfície onde as medidas são feitas a partir da superfície do terreno e efetuadas através de 4 eletrodos dispostos simetricamente em relação ao ponto investigado (centro do arranjo).

O arranjo utilizado é *Schlumberger* (**Fig. 4.3**) onde os eletrodos de potencial M e N permanecem fixos enquanto os de corrente A e B são progressivamente afastados a cada leitura efetuada. A medida que aumenta o espaçamento AB, maior será o volume amostrado

em subsuperfície e, consequentemente, maiores as profundidades investigadas. O ponto (valor medido de resistividade aparente) de atribuição das medidas é o ponto médio O entre M e N.

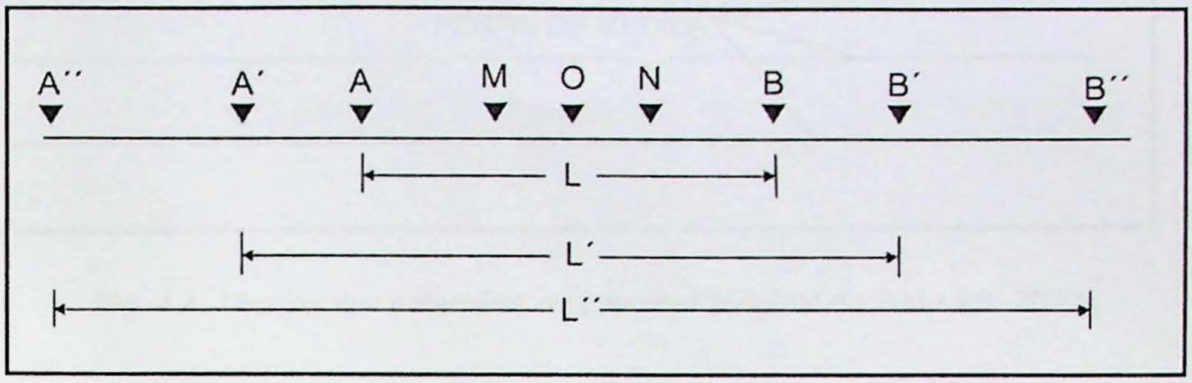


Fig. 4.3. Arranjo *Schlumberger (*original de GALLAS, 2000).

4.5. Potencial Espontâneo

O potencial espôntaneo (SP) é um método de campo natural onde não há fonte transmissora de sinal, diferentemente do método de eletrorresistividade. 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, (ORELLANA 1972).

Em hidrogeologia e aplicações ambientais, o método tem sua principal aplicação em estudos de fluxo de água em subsuperfície.

O arranjo utilizado foi técnica dos potenciais ou base fixa (**Fig. 4.4**.), que consiste em dois eletrodos onde um permanece fixo em uma base (M), e enquanto o outro (N) percorre os pontos de medidas nos perfis.

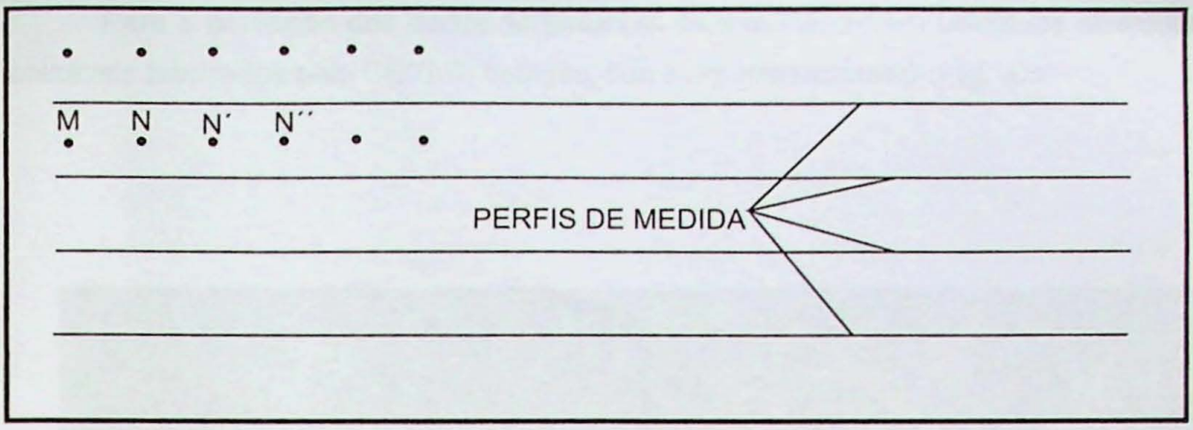


Fig. 4.4. Técnica dos potenciais ou base fixa (original de GALLAS, 2000).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a aquisição dos dados de eletrorresistividade, além de eletrodos, fios, bobinas e trenas, foi utilizado o resistivímetro Terrameter – SAS 4000, de fabricação sueca. Este equipamento consiste num módulo único de transmissão e recepção de dados, com 100W de potência, com uma variação de 0,50 mA a 100 mA (ABEM 2006) (**Fig. 5.1**).

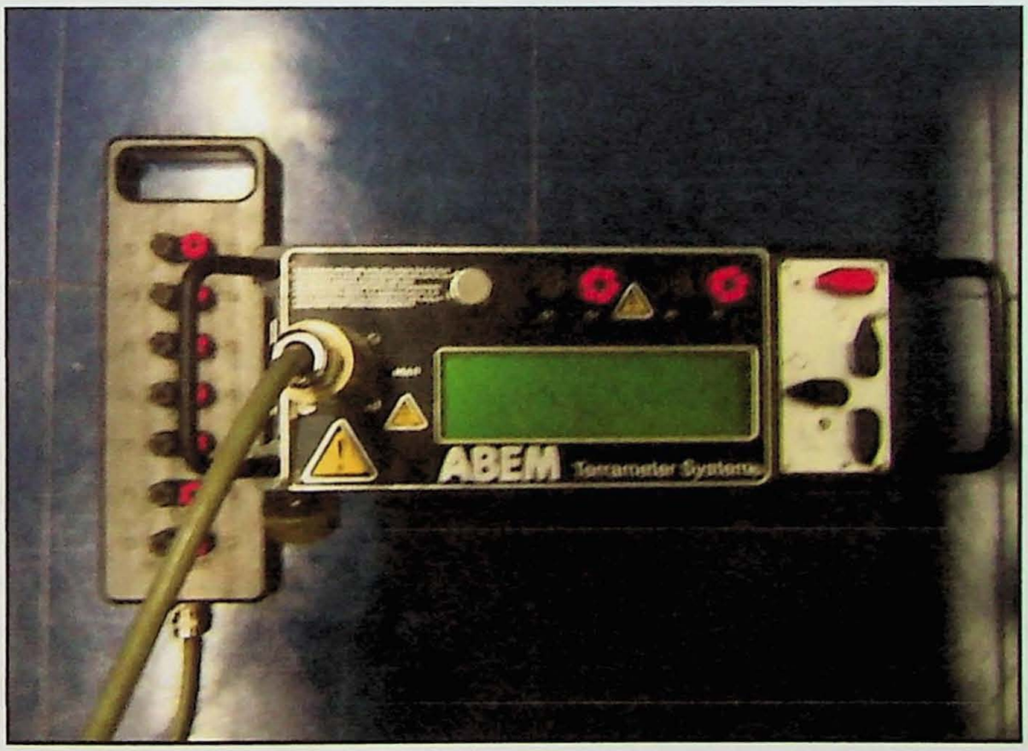


Fig. 5.1. Resistivímetro Terrameter – SAS 4000 (ABEM).

Para a aquisição dos dados de potencial espontâneo foram utilizados eletrodos não ionizáveis fabricados pelo CEPAS, bobinas, fios e um milivoltímetro (**Fig. 4.6**).

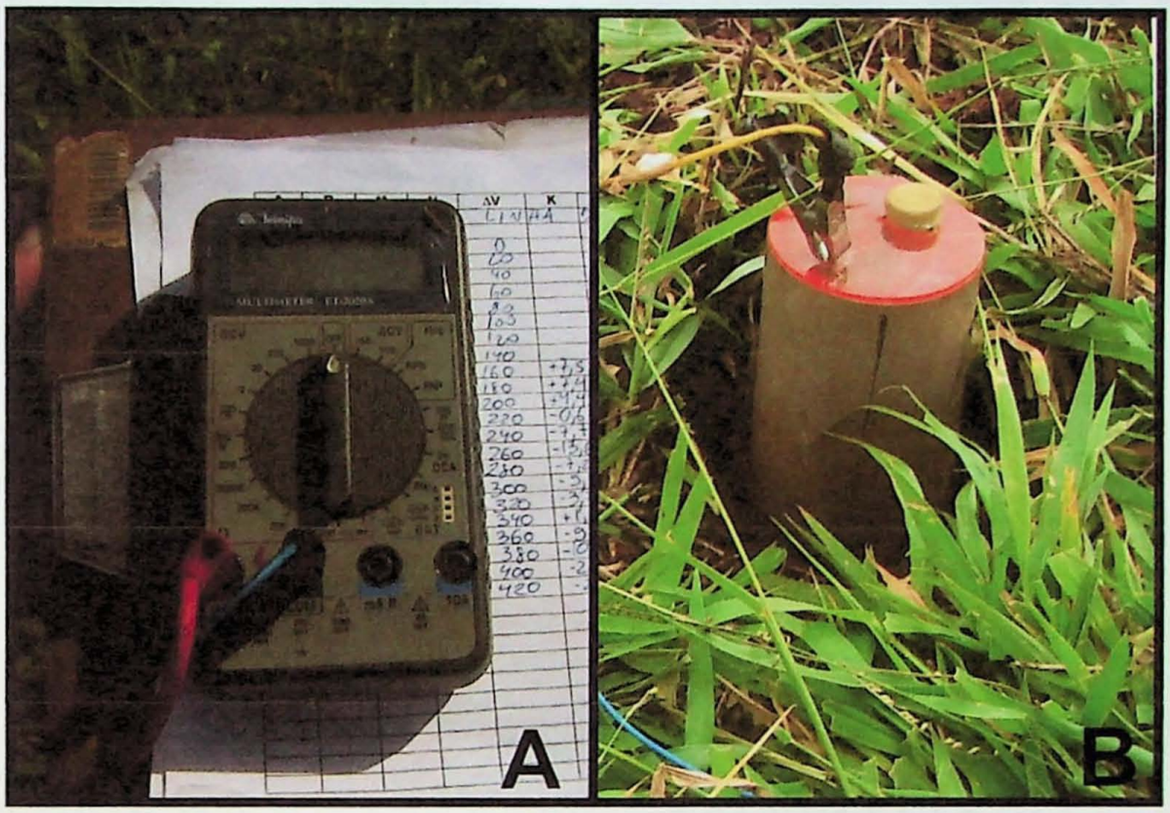
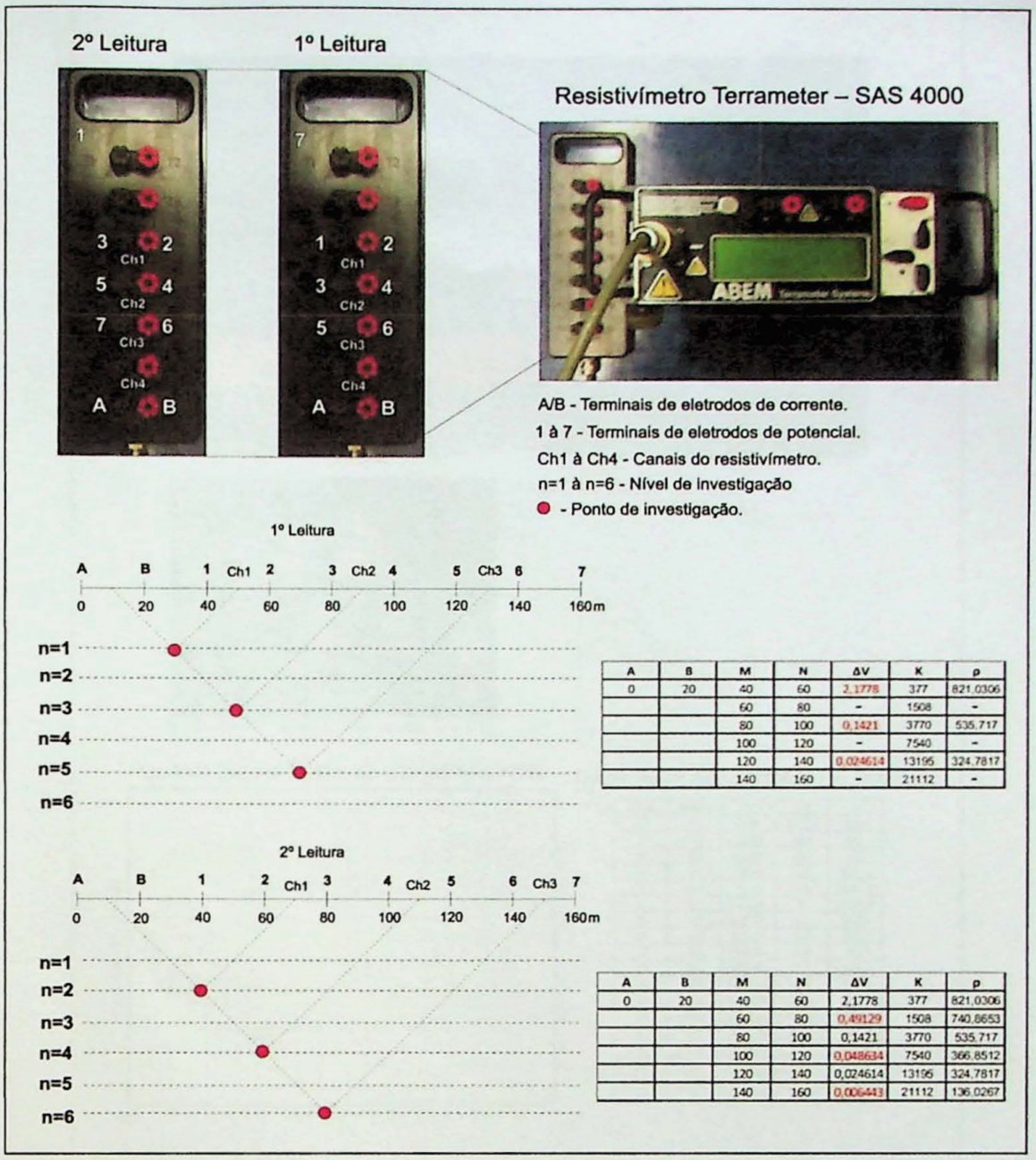


Fig. 5.2. A- Milivoltímetro para aquisição de dados; **B**- Eletrodo de potencial espontâneo.

5.1. Atividades de Campo

No período compreendido de 25 a 29 de abril de 2011 foi realizada a etapa de campo para aquisição de dados. O levantamento foi executado pelo aluno, orientador, co-orientador e um técnico do CEPAS, além da ajuda de duas pessoas contratadas pela equipe.

Foram realizados 3 caminhamentos elétricos (CE) dipolo-dipolo, linha A (480 metros), linha B (420 metros) e linha C (420metros), com AB=MN=20 metros, 6 níveis de investigação, sendo as linhas paralelas entre si e espaçadas de 60 metros (**Fig. 5.3**).

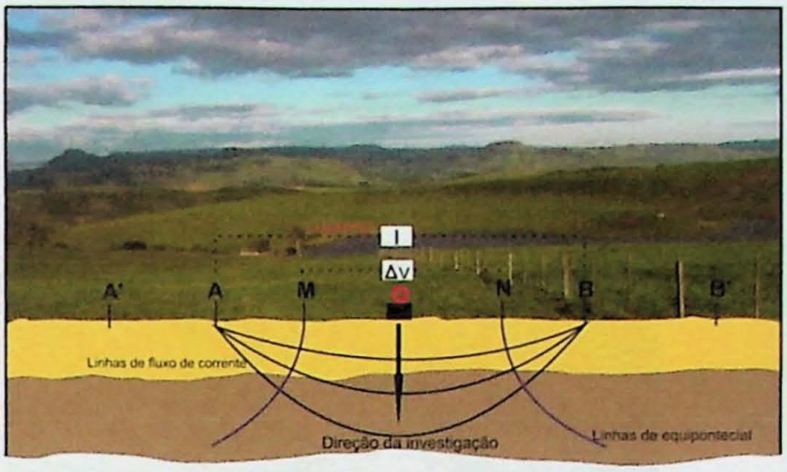


A	B	M	N	ΔV	K	ρ
0	20	40	60	2,1778	377	821,0306
		60	80	-	1508	-
		80	100	0,1421	3770	535,717
		100	120	-	7540	-
		120	140	0,024614	13195	324,7817
		140	160	-	21112	-

A	B	M	N	ΔV	K	ρ
0	20	40	60	2,1778	377	821,0306
		60	80	0,49129	1508	740,8653
		80	100	0,1421	3770	535,717
		100	120	0,048634	7540	366,8512
		120	140	0,024614	13195	324,7817
		140	160	0,006443	21112	136,0267

Fig. 5.3. Método de aquisição de dados de campo para o caminhamento elétrico.

Foram realizadas 6 sondagens elétricas verticais (SEVs) com arranjo *Schulumberger*, SEV100A, SEV340A, SEV160B, SEV280B, SEV120C, SEV300C, de modo a cobrir adequadamente a área do terreno. O "método" de aquisição das SEVs pode ser visto na **Fig. 5.4**.



A e B- Eletrodos de corrente.
M e N- Eletrodos de Potencial.

Fig.O: Resistivímetro e bobinas usadas na S.E.V.

CURVA DE RESISTIVIDADE APARENTE

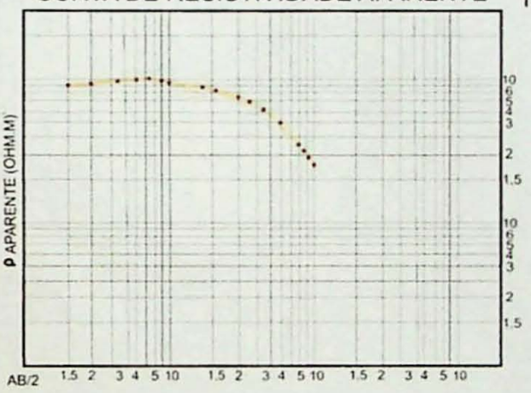


TABELA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

AB/2	MN/2	K	ΔV	ρ
1,5	0,5	6,28	112,01	703,4
2	0,5	11,78	68,8	811
3	0,5	27,48	34,5	947
4	0,5	49,48	22	1092,4
5	0,5	77,75	14	1083,36
6	0,5	112,31	9	1014,7
8	0,5	200,27	4,5	915,1
10	0,5	313,37	2,7	846,5
13	0,5	530,14	1,3	719,2
16	0,5	803,46	0,7	616,2
20	0,5	1255,85	0,4	534,8
25	0,5	1962,71	0,24	474,2
30	0,5	2826,64	0,155	438,8
40	0,5	5025,76	0,07	352,7
50	0,5	7853,19	0,03	253,4
60	0,5	11308,94	0,02	256,9
80	5	2020,76	0,1	202,5
100	5	3133,73	0	186,4

Fig. 5.4. Método de aquisição de dados de campo para a sondagem elétrica vertical.

As medidas de potencial espontâneo (SP) usando a técnica de base fixa, foram realizadas em 3 linhas paralelas entre si, as mesmas utilizadas no caminhamento elétrico, abrangendo uma área de 50.400 m^2. A base foi fixada na estaca 220 da linha B.

A **Fig. 5.5**, mostra a disposição dos caminhamentos elétricos, sondagens elétricas verticais e potencial espontâneo.

Fig. 5.5. Distribuição em planta dos métodos aplicados.

5.2. Processamento dos Dados

No processamento dos dados foram utilizados os softwares RES2DINV v.3.4 (Geoelectrical Imaging 2D & 3D, M. H. Loke), SURFER v.8.09 da Golden Software Inc. (EUA) e IPI2Win v.3.0.1 da GEOSCA-M Ltd. (Rússia).

O SURFER permite, através de diversos métodos de interpolações, a construção de uma malha regular (*grid*) baseada num conjunto de dados, regularmente ou irregularmente distribuídos. A partir do *grid* estabelecido, são elaboradas as curvas de isovalores, gerando o mapa de contorno. O método utilizado na interpolação dos dados foi a "Krigagem". O SURFER foi utilizado também para a apresentação dos dados de campo e elaboração das curvas de isovalores de resistividade elétrica aparente.

O RES2DINV determina de forma automática um modelo bi-dimensional (2D) de resistividade para os dados de subsuperfície obtidos através do "imageamento" elétrico (Griffiths and Barker 1993). O programa permite a inversão de um número de dados adquiridos a partir de um número de eletrodos cravados no solo e arranjados ao longo de uma linha com espaçamento constante entre eletrodos adjacentes.

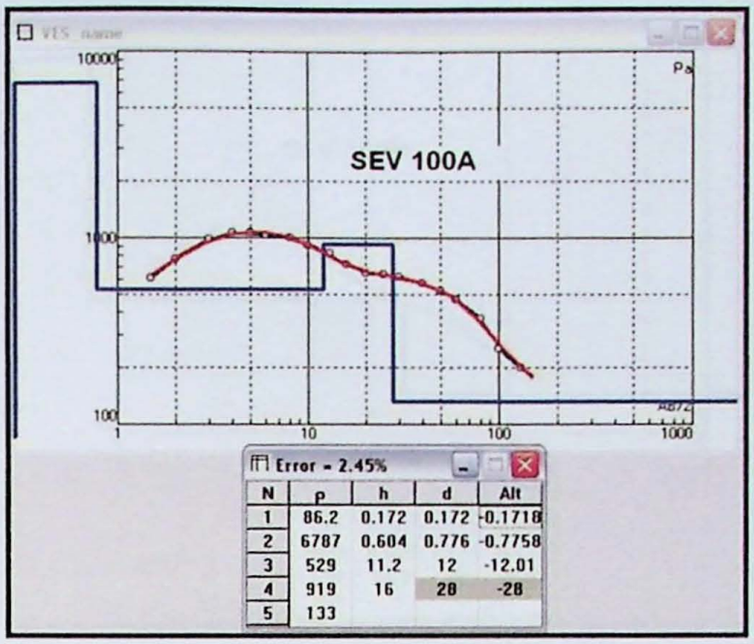
A inversão dos dados produz um modelo que representa, teoricamente, a distribuição das resistividades elétricas em subsuperfície. O software é capaz de produzir uma seção geoelétrica hipotética gerada a partir deste modelo calculado e que pode ser diretamente comparada com a seção obtida a partir dos dados coletados em campo. Com o modelo calculado, é possível estabelecer uma melhor correlação com a geologia do local investigado.

O IPI2Win foi utilizado para a interpretação 1D das curvas de sondagem elétrica vertical ao logo dos perfis. Esse processo é dado a partir de um processo iterativo dos resultados empregando-se um algoritmo linear elaborado pela Faculdade de Geologia da Universidade Estadual de Moscow, Rússia (GEOSCA-M Ltd. 2000).

6. RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

6.1 Sondagem Elétrica Vertical

As **Figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5** e **6.6,** exibem os gráficos bi-logarítmicos obtidos nas SEVs 100A, 340A, 160B, 280B, 120C e 300C respectivamente:



N	ρ	h	d	Alt
1	86.2	0.172	0.172	-0.1718
2	6787	0.604	0.776	-0.7758
3	529	11.2	12	-12.01
4	919	16	28	-28
5	133			

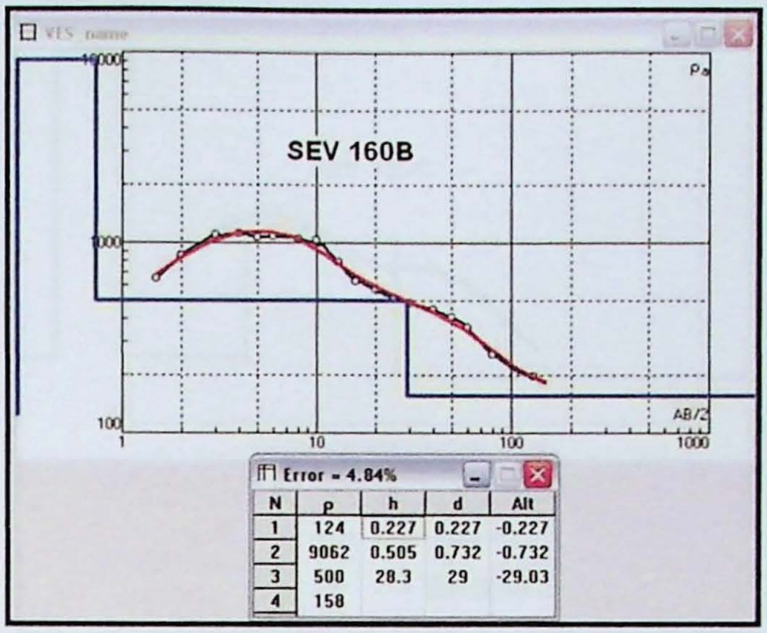
ρ = resistividade.
h = espessura do estrato geoelétrico.
d = profundidade da base do estrato geoelétrico.
Alt = altitude da base do estrato em relação à superfície.

Fig. 6.1. SEV 100A.

N	ρ	h	d	Alt
1	424	0.596	0.596	-0.5962
2	1558	2.95	3.55	-3.549
3	446	21.5	25	-25
4	153			

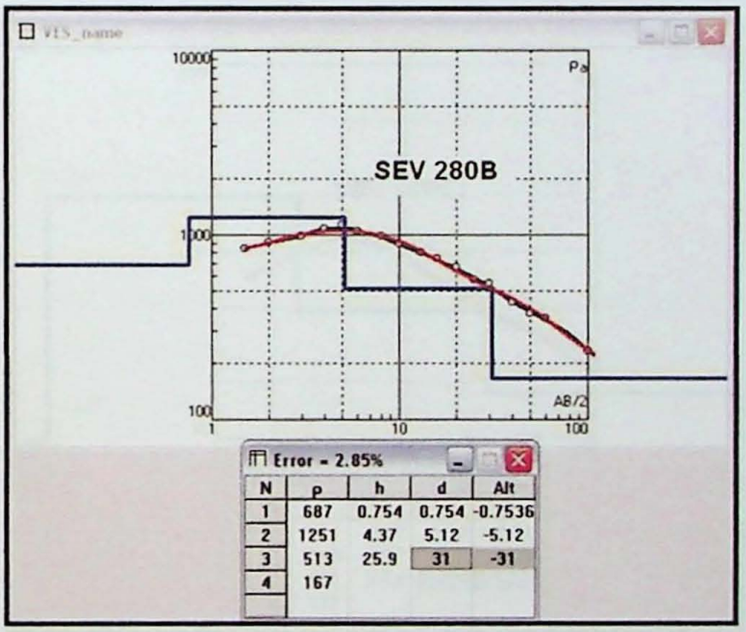
ρ = resistividade.
h = espessura do estrato geoelétrico.
d = profundidade da base do estrato geoelétrico.
Alt = altitude da base do estrato em relação à superfície.

Fig. 6.2. SEV 340A.



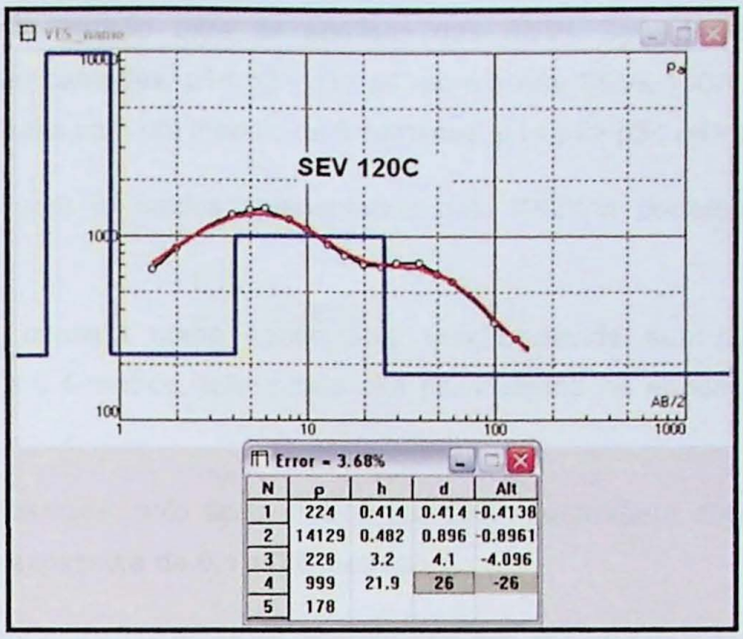
ρ = resistividade.
h = espessura do estrato geoelétrico.
d = profundidade da base do estrato geoelétrico.
Alt = altitude da base do estrato em relação à superfície.

Fig. 6.3. SEV 160B.



ρ = resistividade.
h = espessura do estrato geoelétrico.
d = profundidade da base do estrato geoelétrico.
Alt = altitude da base do estrato em relação à superfície.

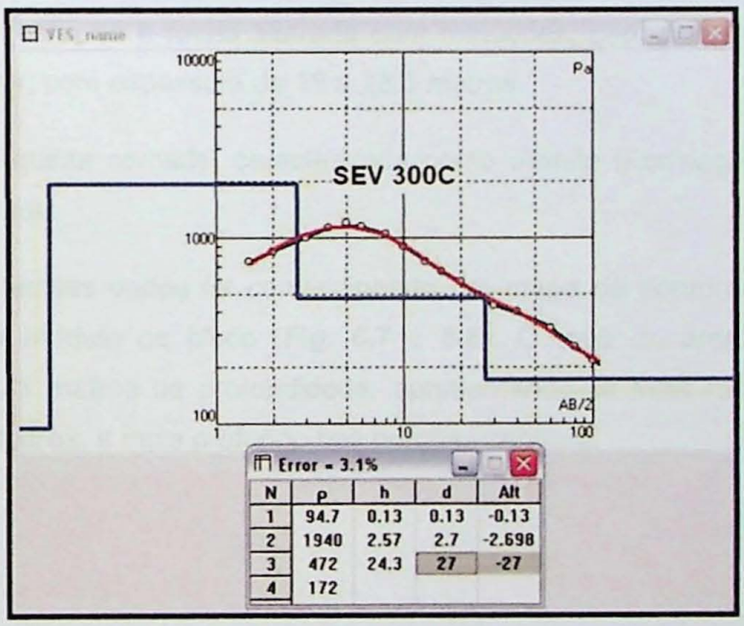
Fig. 6.4. SEV 280B.



N	ρ	h	d	Alt
1	224	0.414	0.414	-0.4138
2	14129	0.482	0.896	-0.8961
3	228	3.2	4.1	-4.096
4	999	21.9	26	-26
5	178			

ρ = resistividade.
h = espessura do estrato geoelétrico.
d = profundidade da base do estrato geoelétrico.
Alt = altitude da base do estrato em relação à superfície.

Fig. 6.5. SEV 120C.



N	ρ	h	d	Alt
1	94.7	0.13	0.13	-0.13
2	1940	2.57	2.7	-2.698
3	472	24.3	27	-27
4	172			

ρ = resistividade.
h = espessura do estrato geoelétrico.
d = profundidade da base do estrato geoelétrico.
Alt = altitude da base do estrato em relação à superfície.

Fig. 6.6. SEV 300C.

Há um certo padrão para as análises das SEVs 340A,160B, 280B e 300C, apresentando quatro camadas, $\rho 1 < \rho 2 > \rho 3 > \rho 4$, porém nas SEVs 100A e 120C as curvas foram melhor ajustadas com um modelo de 5 camadas, $\rho 1 < \rho 2 > \rho 3 < \rho 4 > \rho 5$.

De acordo com os dados apresentados pelo IPI2Win podemos caracterizar as diferentes camadas:

- Primeira camada como sendo solo úmido, devida sua baixa resistividade, apresentando 0,1 a 0,4 metros, talvez pela alta pluviosidade na época das atividades de campo.

- Segunda camada, solo seco, devido sua alta resistividade observada nas SEVs 100A e 120C, com espessura de 0,4 a 0,6 metros.

Eventualmente as duas primeiras camadas podem ser interpretadas como uma única camada, apenas com uma fração mais úmida na superfície.

- Terceira camada, como sendo solo úmido à rocha alterada úmida, pois apresenta uma queda significativa da resistividade em relação à camada anterior, talvez pela presença de água preenchendo os poros, com espessura de 2,5 a 4,4 metros.

- Quarta camada apresentou resistividades maiores que a terceira camada, interpretada como rocha sã e rocha alterada com matacões, com porosidade e saturação menor que a anteiror, com espessura de 16 a 28,3 metros.

- Por fim a quinta camada, caracterizada como arenito (Formação Botucatu), pela sua baixa resistividade.

Com base nesses dados foi confeccionado um mapa de contorno para o topo do arenito Botucatu e modelo de bloco (**Fig. 6.7** e **6.8**). O topo do arenito está irregular, variando de 25 a 31 metros de profundidade, apresentando-se mais raso nas bordas de direções SW-NE da área, e mais profundo nas porções centrais.

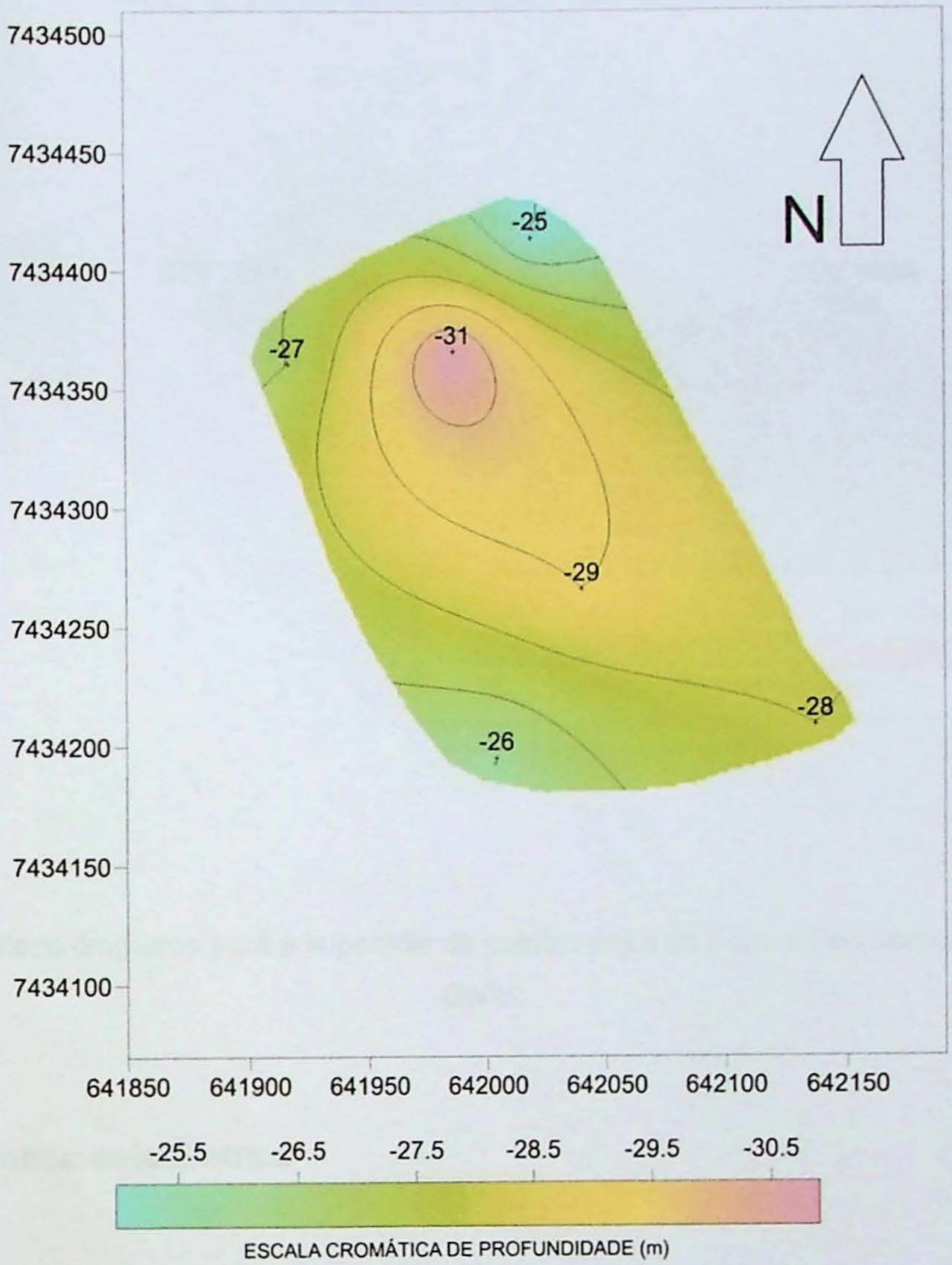


Fig. 6.7. Mapa de contorno do topo do Arenito Botucatu.

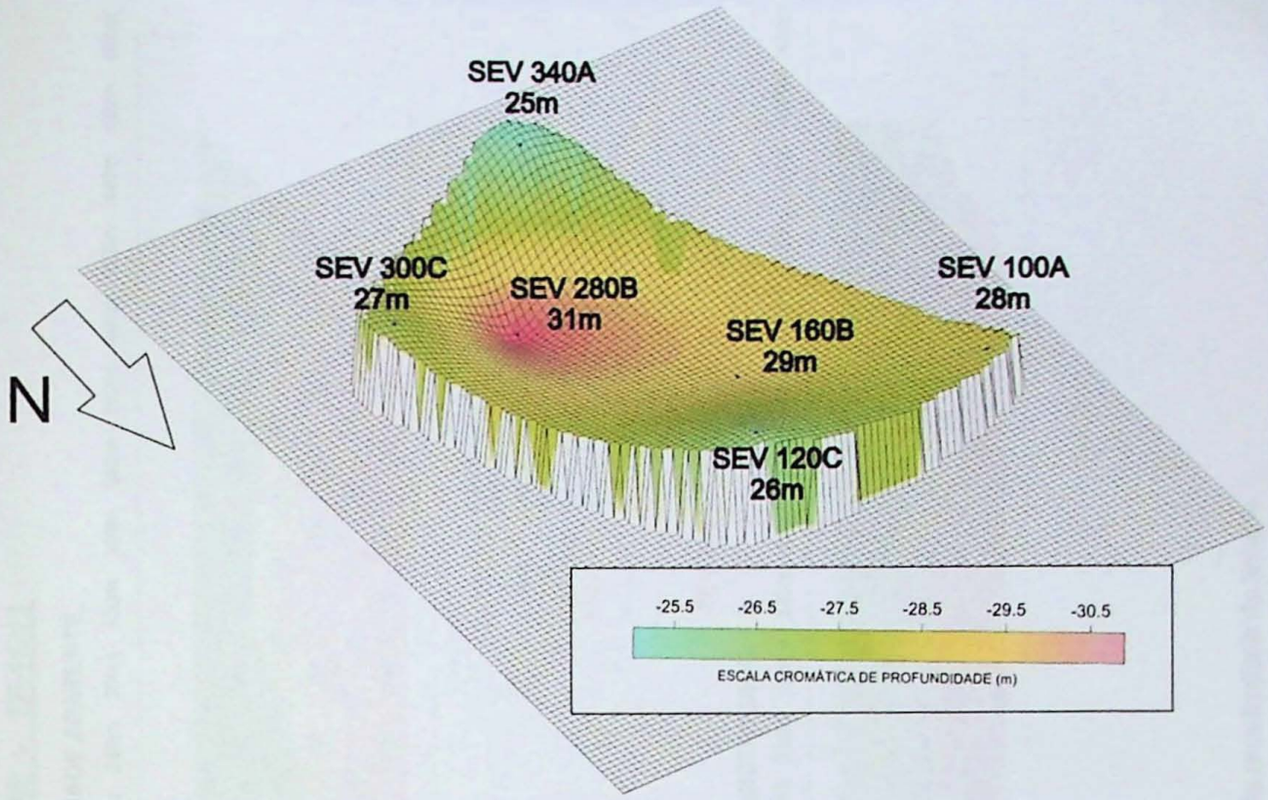


Fig. 6.8. Bloco diagrama para a superfície de contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral.

6.2. Caminhamento Elétrico

As **Figuras 6.9, 6.10** e **6.11**, mostram as pseudo-seções de resistividade e seções modeladas das Linhas A, B, e C, respectivamente.

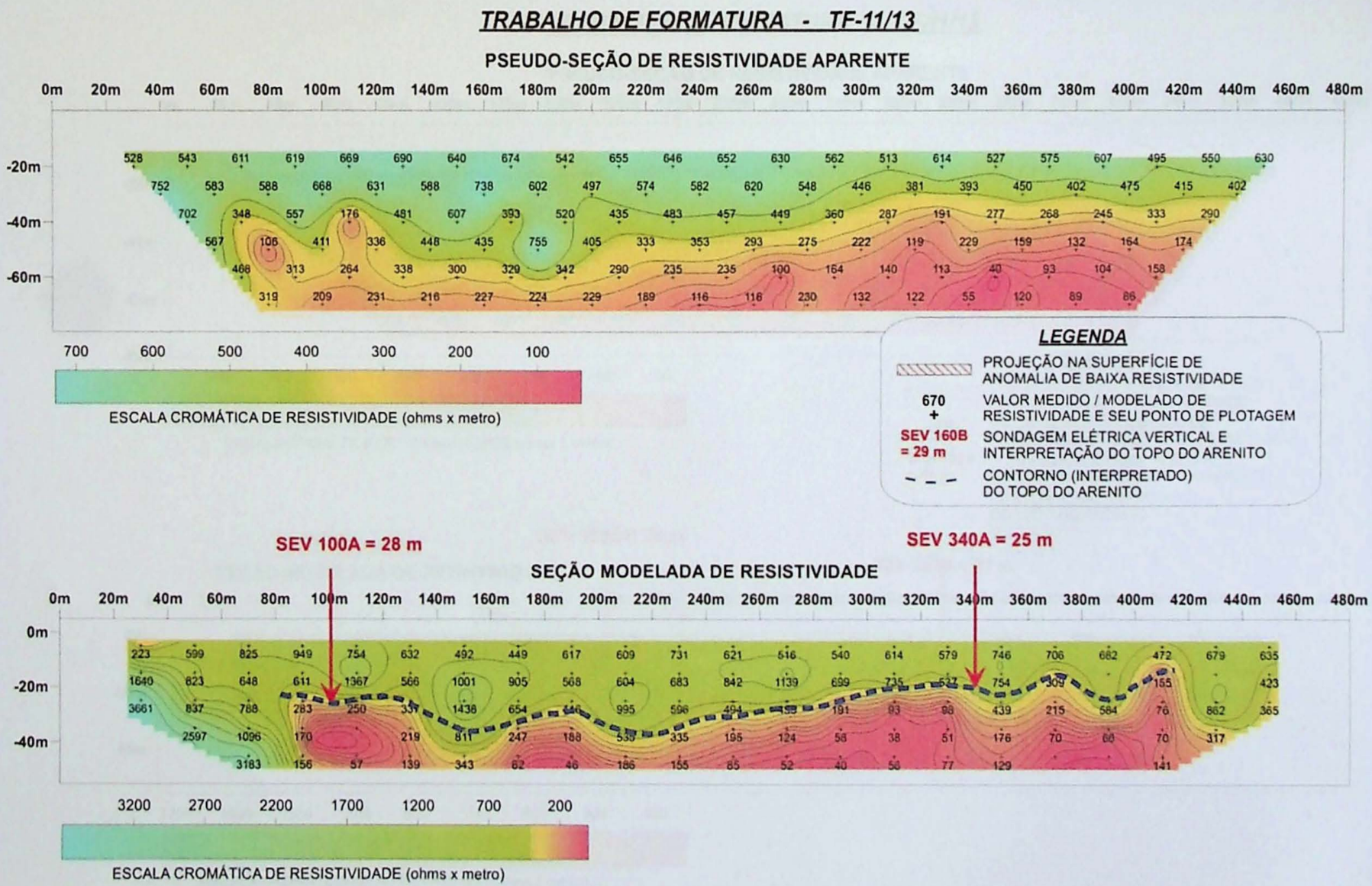


Fig. 6.9. Pseudo-seção e seção modelada de resistividade da linha A.

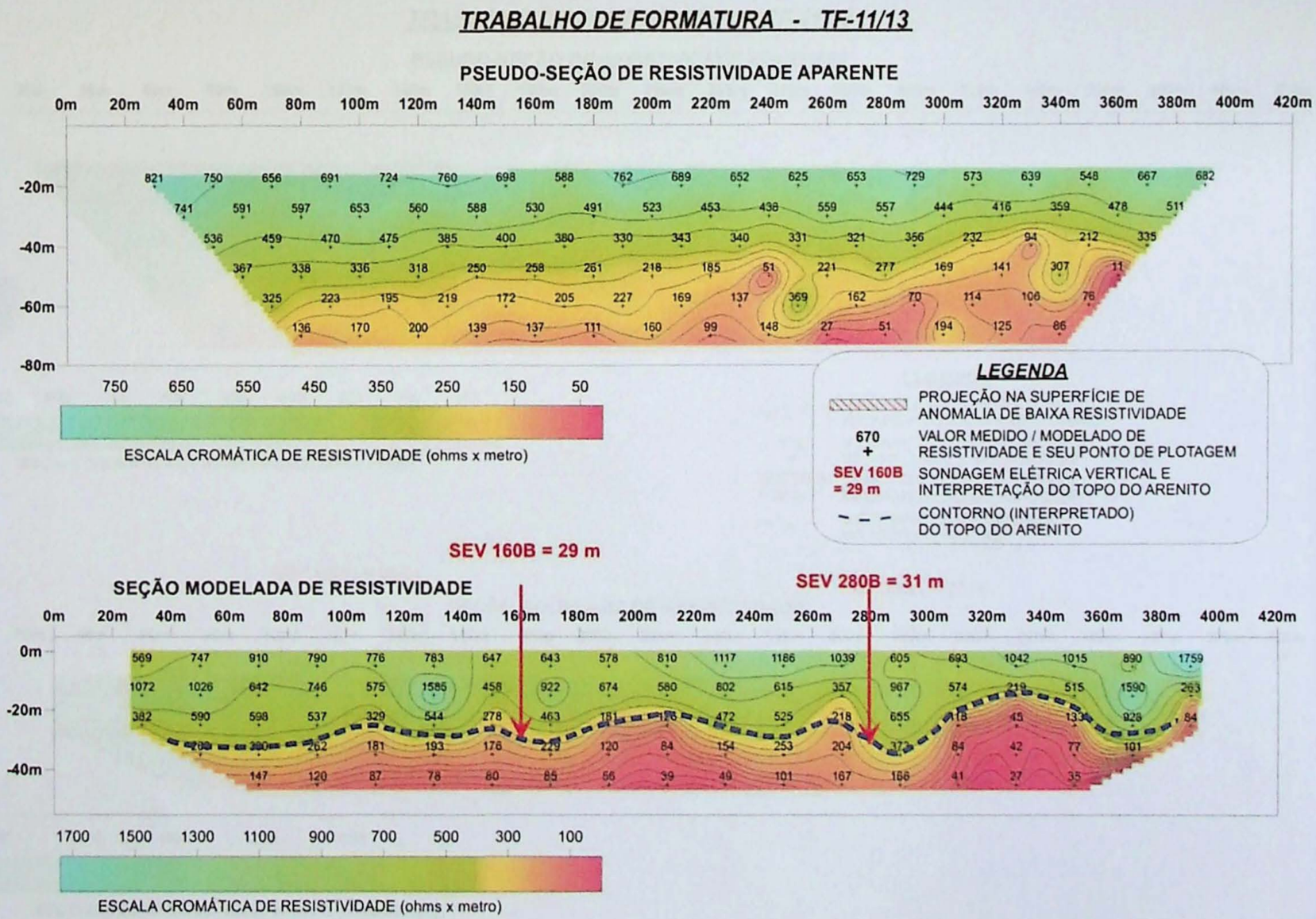


Fig. 6.10. Pseudo-seção e seção modelada de resistividade da linha B.

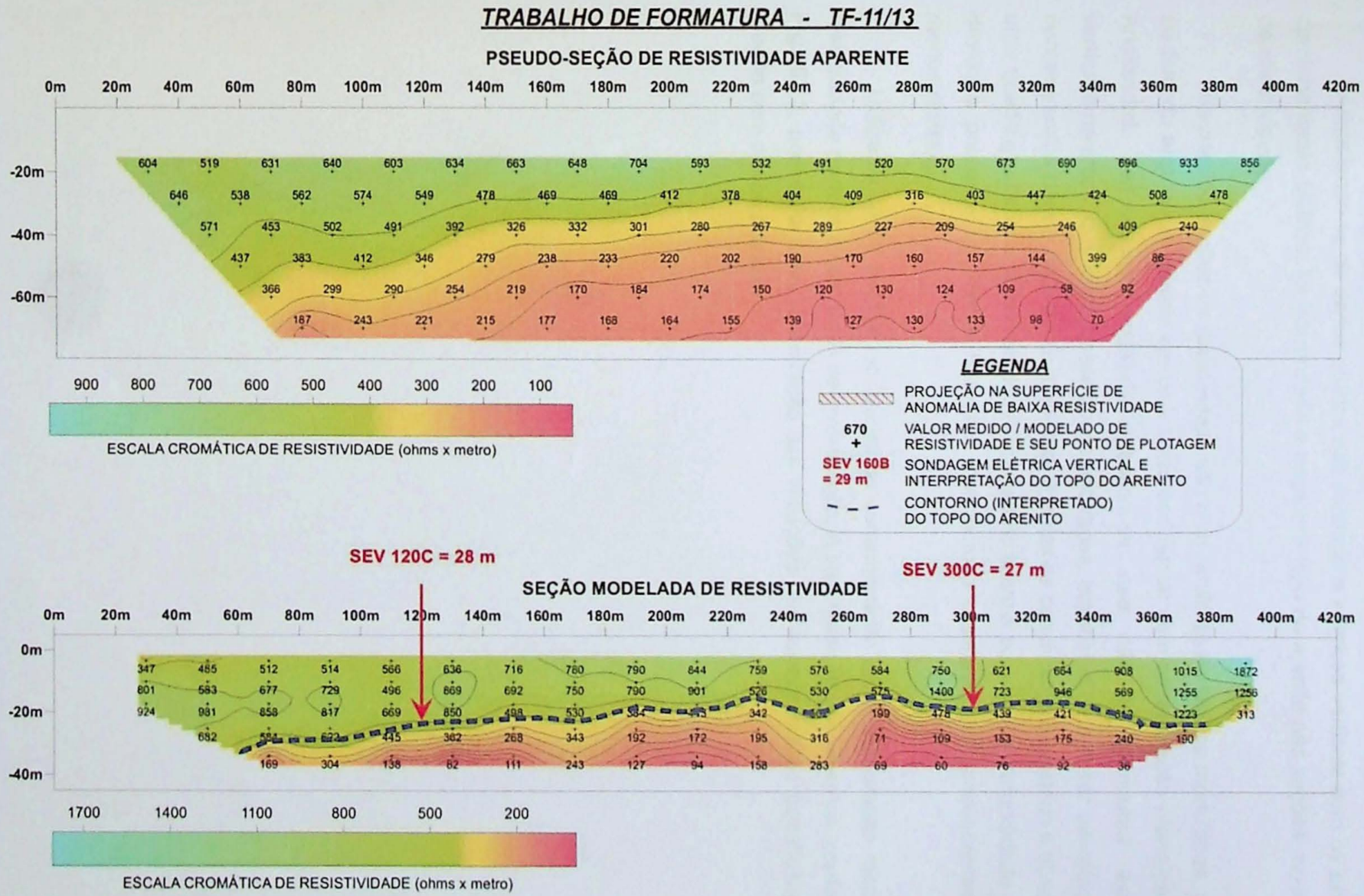


Fig. 6.11. Pseudo-seção e seção modelada de resistividade da linha C.

Associando-se os dados obtidos nas sondagens elétricas verticais com os perfis de caminhamento elétrico, foi interpretado e traçado o topo do arenito nas seções modeladas de resistividade.

As pseudo-seções de resistividade são bem similares às seções modeladas, devido ao fato da área estar situada em uma bacia sedimentar com estratificação plano-paralela. Analisadas as seções modeladas observa-se que não há nenhuma estrutura vertical/subvertical que identificasse zonas fraturadas, impedindo uma maior percolação de contaminantes para o Aquífero Guarani. Nas 3 linhas de caminhamento elétrico é observada uma queda gradativa dos valores de resistividade conforme aumenta a profundidade. Isto é devido à presença do Arenito Botucatu, mais poroso e saturado e, consequentemente, menos resistivo.

Utilizadando as seções modeladas de caminhamento foram elaboradas mapas de resistividade para os cinco níveis de investigação. A superposição dos mesmos, conforme a **Fig. 6.12**, possibilita uma visualização das variações das espessuras do basalto/topo do arenito com a profundidade.

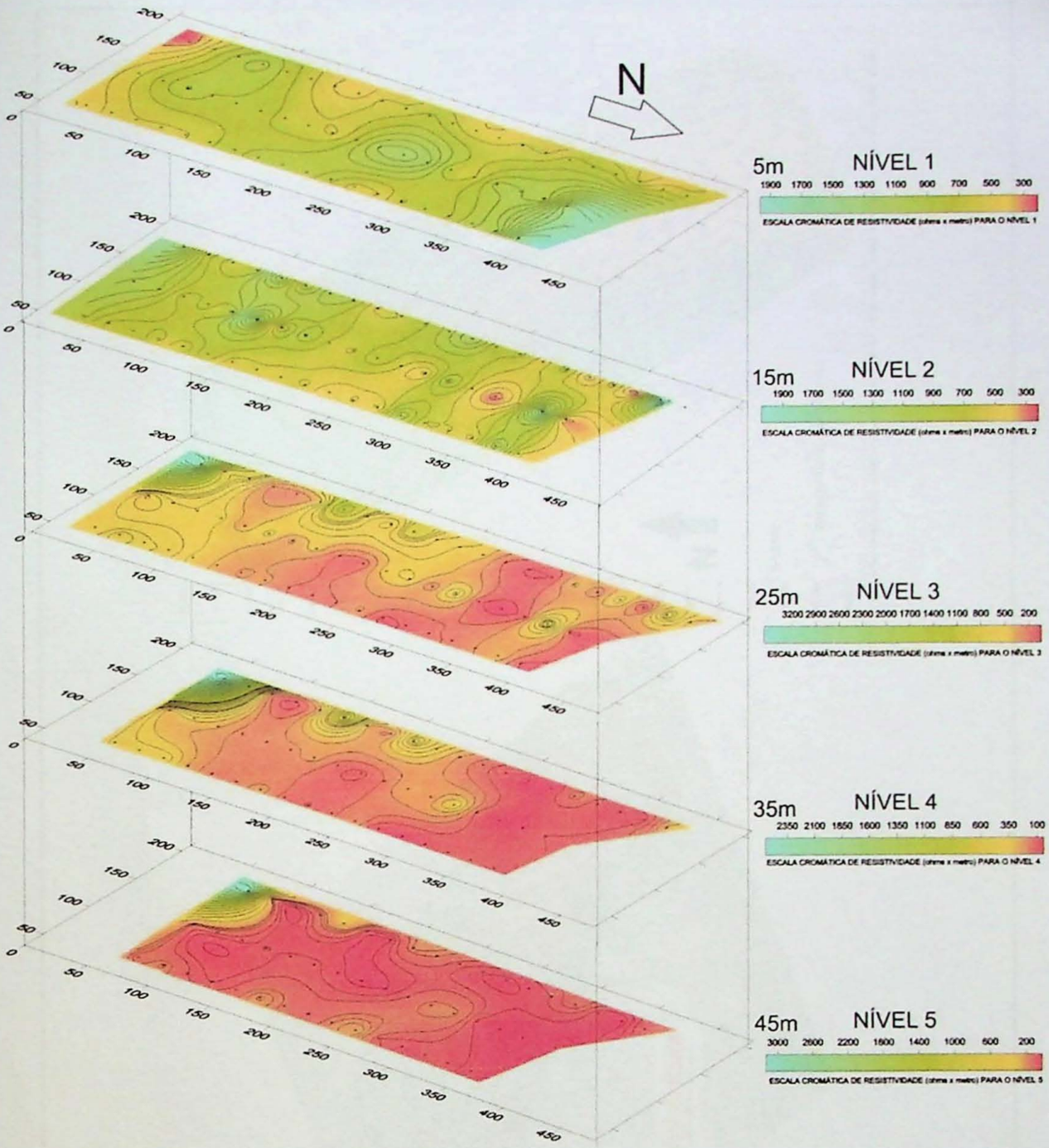


Fig. 6.12. Níveis de investigação (1 a 5).

6.3. Potencial Espontâneo

Para os dados de potencial espontâneo foi elaborado um mapa de isovalores e modelo de bloco **Fig. 6.13.**

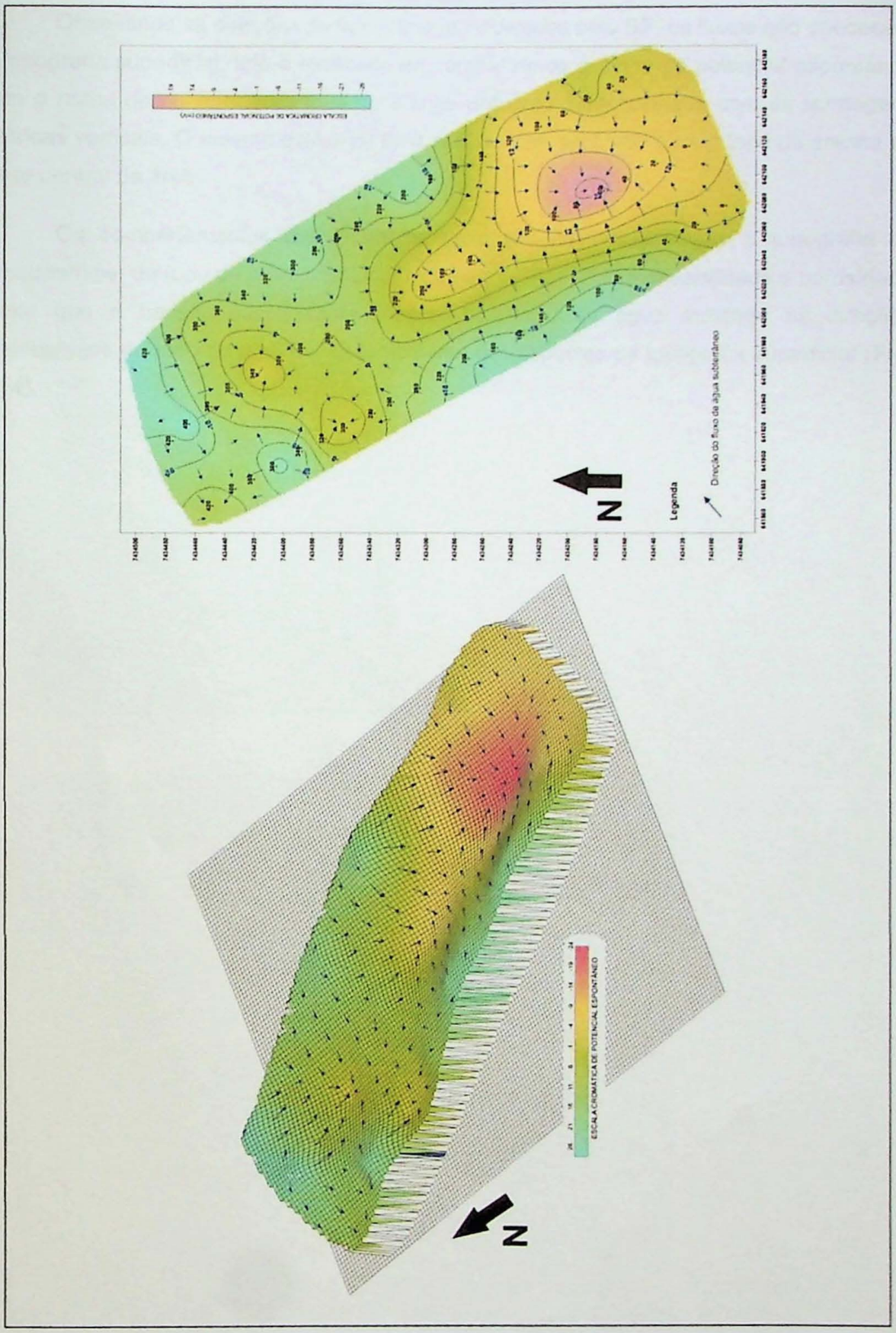
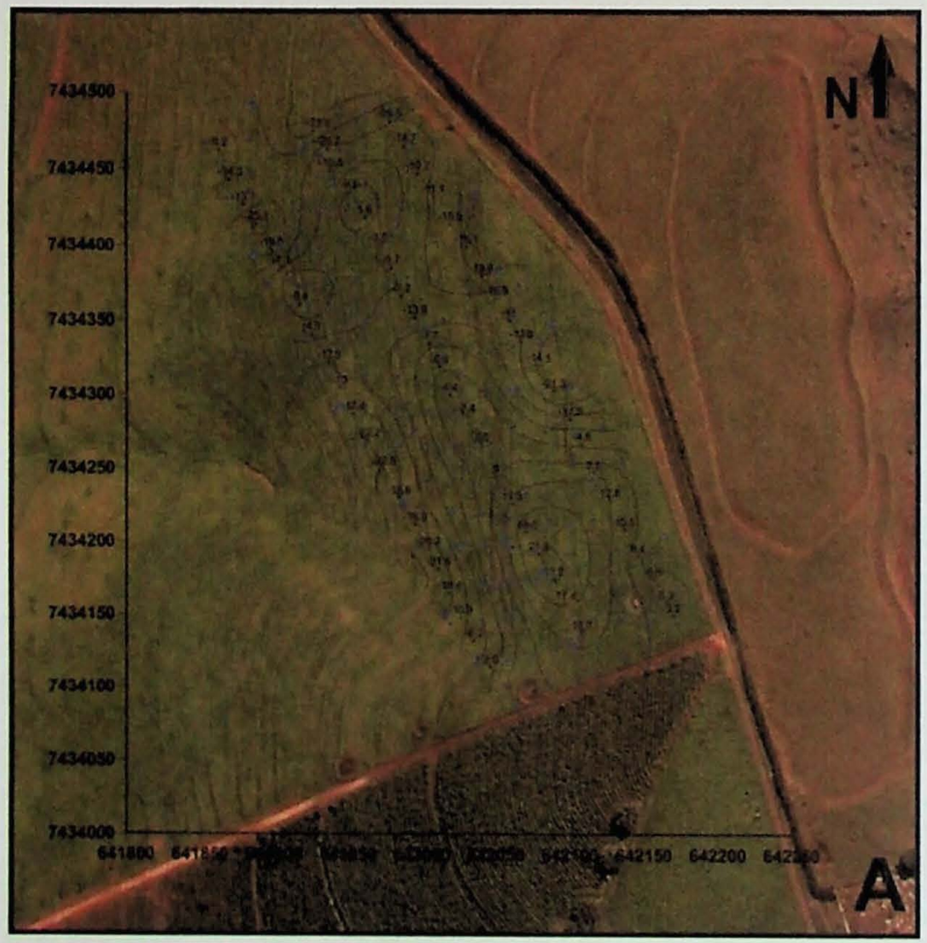
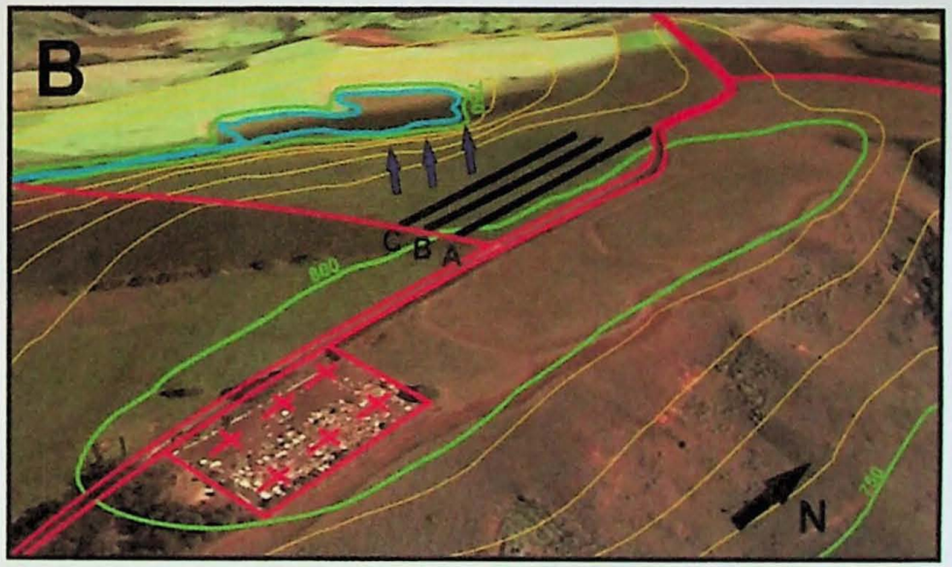


Fig. 6.13. Mapa de direções de fluxo de água subterrânea e modelo de bloco.

Obsevando as direções de fluxo de água indicados pelo SP, os fluxos não obedecem à topografia superficial. Isto é explicado ao compararmos o mapa de potencial espontâneo com o mapa de contornos do topo do arenito Botucatu confeccionada com as sondagens elétricas verticais. O mesmo evidencia uma porção mais profunda para o topo do arenito na parte central da área.

Os comportamentos das linhas de fluxo são coincidentes com a topografia de subsuperfície do topo do arenito Botucatu, que apresenta uma permeabilidade e porosidade maior que o basalto sobrejacente. Assim, os fluxos de água mostram as direções preferenciais do topo do arenito, diferentemente dos aspectos da topografia superficial **(Fig. 6.14).**





LEGENDA

- Sentido do fluxo esperado pela topografia existente
- 800 Linha de cota
- Estrada pavimentada.
- Estrada sem pavimento.
- Cemitério.

Fig. 6.14. A- Mapa de direções do fluxo de água subterrânea; B- Topografia superficial da área.

24526
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
— BIBLIOTECA —

7. CONCLUSÃO

Os métodos geoelétricos mostraram-se rápidos e eficientes na aquisição e interpretação dos dados, além de serem métodos indiretos de custos relativamente baixos.

Com a interpretação dos resultados obtidos das SEVs, podemos observar uma espessura que varia de 25 metros a 31 metros para a Formação Serra Geral. Em sua porção superior ocorre uma pequena camada de solo decorrente da alteração das rochas vulcânicas, sobrejacente a uma camada de rocha alterada e por fim na porção inferior, em contato com o arenito, foi caracterizado como rocha sã. Após esse pacote, ocorre o Arenito Botucatu.

Através das analises feitas nos caminhamentos elétricos, não foi detectada nenhuma estrutura vertical/subvertical, do tipo falhas/fraturas, que seria uma zona favorável a percolação de fluidos para o Aquífero Guarani quando implantado o aterro sanitário. As seções aparentes e modeladas são bem similares, devido ao fato da área estudada estar num contexto geológico onde as rochas apresentam estruturas plano-paralelas. Neste tipo de geologia, na maioria das vezes, os dados originais (brutos) são pouco afetados pelos processos de inversão.

Com o método de potencial espontâneo, foram caracterizadas as direções de fluxo das águas subterrâneas. Os fluxos apresentam direções das bordas para o centro da área, local onde o arenito é mais profundo, mostrando que os fluxos da área não obedecem a topografia superficial, neste caso com a vertente do morro com declividade NE-SW. Esta definição do real fluxo das águas é importante na locação de poços de monitoramento para a área.

De acordo com o objetivo principal deste trabalho, a área estudada apresenta todas as características geológicas necessárias para a implantação de um aterro sanitário, não havendo nenhuma estrutura vertical/subvertical associada. Além disso, a grande espessura de material de baixa permeabilidade funciona como um filtro ou mesmo como obstáculo à migração dos contaminantes, já que a profundidade do topo da Fm. Botucatu em sua porção mais rasa está a 25 metros da superfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEM, 2006. Terrameter SAS 4000/SAS 1000 – Instruction Manual, 136p.

Almeida, F. F. M.; Hasul, 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.

Araújo L.M., França A.B., Potter P.E., 1999. Hydrology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South American, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal*, 7:317-336.

Barboza, H. A. O., 2007. Avaliação de área para Implantação de um Aterro Sanitário no Município de Timburi (SP) Utilizando Métodos Geoelétricos. Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências-USP. 33p.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 404, de 11 de novembro de 2008. Pres. do Conselho Carlos Minc.

Cruz, F. A. R., 2003. Aplicação de Métodos Geofísicos Para a Determinação de Medidas Preventivas em Local Destinado à Disposição de um Aterro Sanitário, em Timburi, SP. Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências-USP p.42.

Elis, V. R., 1999. Avaliação de aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP (Rio Claro). 264p.

Gallas, J. D. F., 2000. Principais Métodos Geoelétricos e Suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP (Rio Claro). 174p.

Gallas,J.D.F., Taioli,F., Silva, S.M.C.P., Coelho, O.G.W. & Paim, P.S.G., 2005. Contaminação por chorume e sua detecção por resistividade. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(1): 51-59.

GOLDEN SOFTWARE, Inc., 1997. Surfer® for Windows v. 8 User's Guide. Golden, Colorado, USA.

Griffiths, D. H.; Baker, R. D., 1993. Two-dimensional resistity imaging and modeling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29: 211-226.

Lago, A.L.; Elis, V.R.; Giacheti, H.L., 2006. Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(3): 357-374.

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. 196p.

Milani, E.J.;Melo, J.H.G.; Souza, P.A.; Fernandes, L.A.; França, A.B., 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, 15(2): 265-287.

Moreira, C.A. 2009. Geofísica Aplicada no Monitoramento de Área de Disposição de Resíduos Domiciliares. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP (Rio Claro). 88p.

Negri, F. A.;Montanheiro, T.J.; Janasi, V.A.; Reis, P.M., 2006. Mapa de distribuição das Rochas Vulcânicas nas folhas Piraju/SP e Jacarezinho/SP-PR. In*: Anais XLIII Congresso Brasiliero de Geologia*, Aracaju (SE), p.247.

Orellana, E., 1972. Prospection Geoelectrica en Corriente Continua, Biblioteca Técnica Philips, Madri: Paraninfo, 523p.

Rebouças, A.C.,1994. Sistema Aqüífero Botucatu no Brasil. In: *VIII Congresso Brasileiro de Água Subterrânea*, Recife (PE), p.500-509.

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 Bacias do Paraná. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. G.; Derze, G. P. R.; Asmus, H. E. Geologia do Brasil, DNPM. p. 331-355.

Sartori, P.L.P & Maciel Filho, C.L. 1978. Importância e significado dos derrames granofíricos no vulcanismo da Bacia do Paraná. In: *Anais XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, Recife (PE), p.90.

Telford, W.M.; Geldart, L.P.; Sheriff, R.E.,1990. Applied Geophysics. 2º ed., New York, Cambridge University Press, p.774.

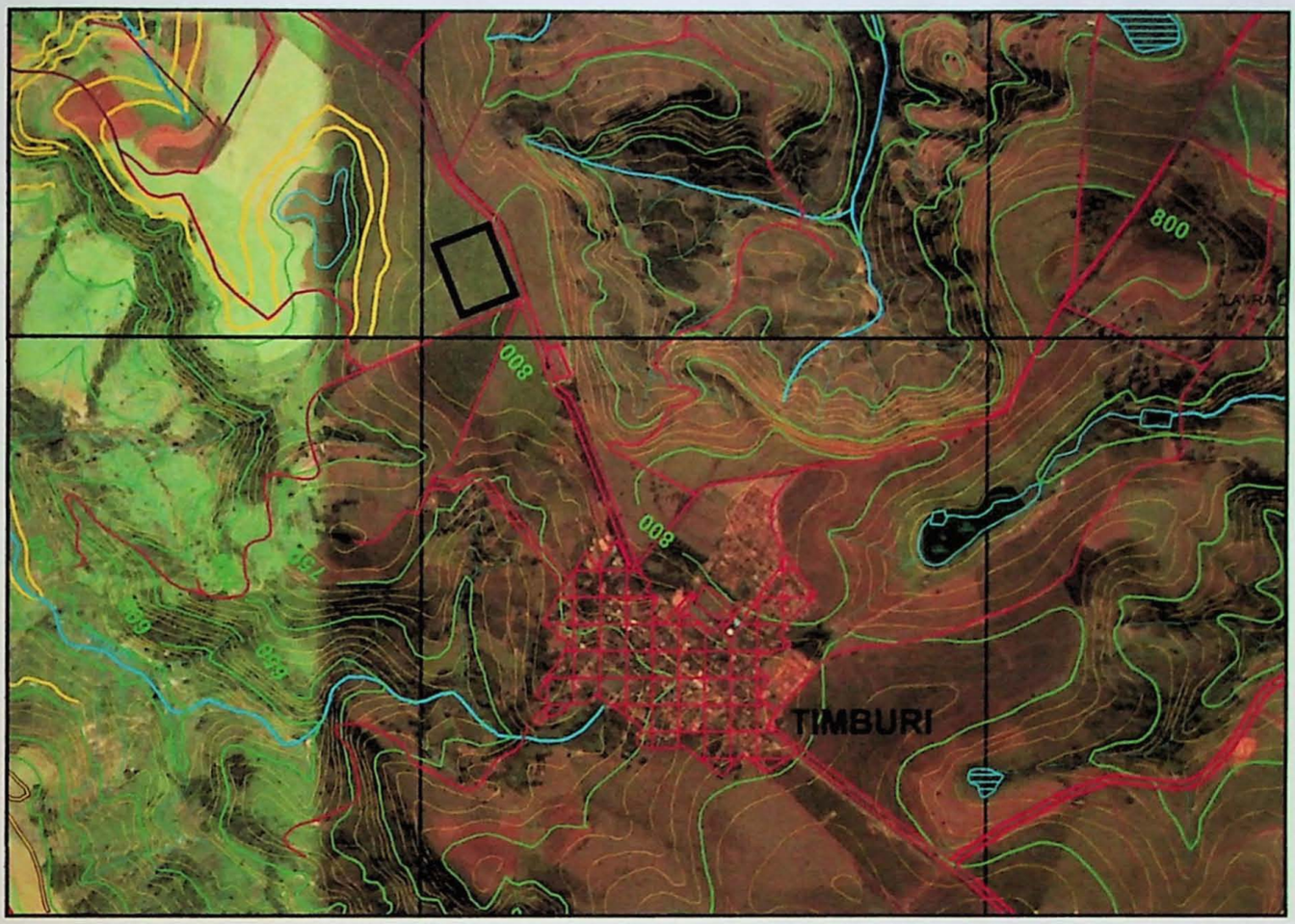
Vieira, F. L., 2004. Utilização de Métodos Geoelétricos em Estudo e Avaliação das Condições Geológicas Para a Instalação de Aterro Sanitário no Município de Timburi-SP. Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências-USP 37p.

Zalán, P. V.; Wolf, S.; Conceição, J. C. J.; Marques, A.; Astolfl, 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.

ANEXO I

MAPA TOPOGRÁFICO DA REGIÃO DE TIMBURI-SP.

MAPA TOPOGRÁFICO
TIMBURI-SP



MUNICÍPIO DE TIMBURI
1:25.000

Estereocompilação apartir de fotografias aéreas SEP/CAR - IGC 1:35.000 de 1988.
Ajuste plani-altimétrico obtido graficamente de folhas topográficas IBGE-Folha Ipauçu
(SF-22-Z-C-III-2) e Folha Carlopolis (SF-22-Z-C-III-4) - 1:50.000

SCTDE-SECRETARIA DA CIENCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO ECONOMICO-Programa de Assistencia Tecnica aos Municipios-PATEM							
MAPA PLANI-ALTIMETRICO DO MUNICIPIO DE TIMBURI							
INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A - DIGEO							
Isabel/Airton		J.A.R.Saragiotto	J.A.R.Saragiotto	24/03/1994	1:25.000	N° 1-R.32130	
DESENHO	VERIFICADO	RESP. TÉCNICO	APROVADO	DATA	ESCALA		

LEGENDA

CONVENÇÕES PLANIALTIMÉTRICAS

- ESTRADA PAVIMENTADA
- ESTRADA SEM PAVIMENTAÇÃO
- ÁREA URBANIZADA
- RIBEIRÃO E CÓRREGO
- LAGOA
- LAGOA PERIÓDICA
- AÇUDE
- CURVA DE NÍVEL
- 7426 / 652 COORDENADAS UTM
- AREA DE ESTUDO

ANEXO II

DADOS DOS CAMINHAMENTOS ELÉTRICOS.

CAMINHAMENTO ELÉTRICO - LINHA A

POSIÇÃO DOS ELETRODOS				RESISTIVIDADE DIPOLO-DIPOLO			POSIÇÃO DOS ELETRODOS				RESISTIVIDADE DIPOLO-DIPOLO			POSIÇÃO DOS ELETRODOS				RESISTIVIDADE DIPOLO-DIPOLO		
A	B	M	N	ΔV (ohm)	K	ρ (ohm x m)	A	B	M	N	ΔV (ohm)	K	ρ (ohm x m)	A	B	M	N	ΔV (ohm)	K	ρ (ohm x m)
0	20	40	60	1,3998	377	528			220	240	0,10014	7540	755	260	280	300	320	1,4911	377	562
		60	80	0,49854	1508	752			240	260	0,025882	13195	342			320	340	0,29607	1508	446
		80	100	0,18626	3770	702			260	280	0,010843	21112	229			340	360	0,076207	3770	287
		100	120	0,075136	7540	567	140	160	180	200	1,7879	377	674			360	380	0,015742	7540	119
		120	140	0,035487	13195	468			200	220	0,39941	1508	602			380	400	0,0085713	13195	113
		140	160	0,015126	21112	319			220	240	0,1378	3770	520			400	420	0,0026032	21112	55
20	40	60	80	1,4398	377	543			240	260	0,053728	7540	405	280	300	320	340	1,3595	377	513
		80	100	0,38649	1508	583			260	280	0,022015	13195	290			340	360	0,2525	1508	381
		100	120	0,092322	3770	348			280	300	0,0089534	21112	189			360	380	0,050669	3770	191
		120	140	0,014099	7540	106	160	180	200	220	1,4389	377	542			380	400	0,030349	7540	229
		140	160	0,023687	13195	313			220	240	0,32969	1508	497			400	420	0,0030377	13195	40
		160	180	0,0099028	21112	209			240	260	0,11533	3770	435			420	440	0,0056708	21112	120
40	60	80	100	1,6197	377	611			260	280	0,044195	7540	333	300	320	340	360	1,6291	377	614
		100	120	0,38966	1508	588			280	300	0,017784	13195	235			360	380	0,26079	1508	393
		120	140	0,14773	3770	557			300	320	0,0055084	21112	116			380	400	0,07357	3770	277
		140	160	0,054552	7540	411	180	200	220	240	1,7379	377	655			400	420	0,021126	7540	159
		160	180	0,020011	13195	264			240	260	0,38083	1508	574			420	440	0,0070494	13195	93
		180	200	0,010959	21112	231			260	280	0,12808	3770	483			440	460	0,0042056	21112	89
60	80	100	120	1,6409	377	619			280	300	0,046775	7540	353	320	340	360	380	1,3984	377	527
		120	140	0,44273	1508	668			300	320	0,017828	13195	235			380	400	0,29816	1508	450
		140	160	0,046622	3770	176			320	340	0,0055128	21112	116			400	420	0,071112	3770	268
		160	180	0,044619	7540	336	200	220	240	260	1,7147	377	646			420	440	0,01756	7540	132
		180	200	0,025596	13195	338			260	280	0,38618	1508	582			440	460	0,0079009	13195	104
		200	220	0,010224	21112	216			280	300	0,12127	3770	457			460	480	0,0040884	21112	86
80	100	120	140	1,7743	377	669			300	320	0,038865	7540	293	340	360	380	400	1,5251	377	575
		140	160	0,41871	1508	631			320	340	0,0075565	13195	100			400	420	0,26645	1508	402
		160	180	0,12766	3770	481			340	360	0,01091	21112	230			420	440	0,064892	3770	245
		180	200	0,059478	7540	448	220	240	260	280	1,7303	377	652			440	460	0,021768	7540	164
		200	220	0,022754	13195	300			280	300	0,41139	1508	620			460	480	0,011982	13195	158
		220	240	0,010729	21112	227			300	320	0,11907	3770	449	360	380	400	420	1,6092	377	607
100	120	140	160	1,831	377	690			320	340	0,03644	7540	275			420	440	0,31495	1508	475
		160	180	0,38961	1508	588			340	360	0,012408	13195	164			440	460	0,088222	3770	333
		180	200	0,16096	3770	607			360	380	0,0062605	21112	132			460	480	0,023056	7540	174
		200	220	0,057727	7540	435	240	260	280	300	1,6706	377	630	380	400	420	440	1,3137	377	495
		220	240	0,024925	13195	329			300	320	0,3637	1508	548			440	460	0,27529	1508	415
		240	260	0,010603	21112	224			320	340	0,095474	3770	360			460	480	0,077041	3770	290
120	140	160	180	1,6981	377	640			340	360	0,029398	7540	222	400	420	440	460	1,4591	377	550
		180	200	0,48915	1508	738			360	380	0,010577	13195	140			460	480	0,26626	1508	402
		200	220	0,10428	3770	393			380	400	0,0057634	21112	122	420	440	460	480	1,6708	377	630

CAMINHAMENTO ELÉTRICO - LINHA B

POSIÇAO DOS ELETRODOS				RESISTIVIDADE DIPOLO-DIPOLO			POSIÇAO DOS ELETRODOS				RESISTIVIDADE DIPOLO-DIPOLO			POSIÇAO DOS ELETRODOS				RESISTIVIDADE DIPOLO-DIPOLO		
A	B	M	N	ΔV (ohm)	K	ρ (ohm x m)	A	B	M	N	ΔV (ohm)	K	ρ (ohm x m)	A	B	M	N	ΔV (ohm)	K	ρ (ohm x m)
0	20	40	60	2,1778	377	821			200	220	0,034172	7540	258	220	240	260	280	1,6583	377	625
		60	80	0,49129	1508	741			220	240	0,015558	13195	205			280	300	0,3704	1508	559
		80	100	0,1421	3770	536			240	260	0,0052506	21112	111			300	320	0,085107	3770	321
		100	120	0,048654	7540	367	120	140	160	180	1,8525	377	698			320	340	0,036704	7540	277
		120	140	0,024614	13195	325			180	200	0,3513	1508	530			340	360	0,0052968	13195	70
		140	160	0,0064431	21112	136			200	220	0,1007	3770	380			360	380	0,0091978	21112	194
20	40	60	80	1,9899	377	750			220	240	0,034663	7540	261	240	260	280	300	1,731	377	653
		80	100	0,39158	1508	591			240	260	0,017196	13195	227			300	320	0,36914	1508	557
		100	120	0,12174	3770	459			260	280	0,0076001	21112	160			320	340	0,094388	3770	356
		120	140	0,044785	7540	338	140	160	180	200	1,5584	377	588			340	360	0,022366	7540	169
		140	160	0,016874	13195	223			200	220	0,32528	1508	491			360	380	0,0086673	13195	114
		160	180	0,008072	21112	170			220	240	0,087494	3770	330			380	400	0,0059139	21112	125
40	60	80	100	1,7388	377	656			240	260	0,028878	7540	218	260	280	300	320	1,9334	377	729
		100	120	0,39613	1508	597			260	280	0,012814	13195	169			320	340	0,29471	1508	444
		120	140	0,12474	3770	470			280	300	0,0046877	21112	99			340	360	0,061453	3770	232
		140	160	0,044612	7540	336	160	180	200	220	2,0201	377	762			360	380	0,018673	7540	141
		160	180	0,014778	13195	195			220	240	0,34673	1508	523			380	400	0,0080302	13195	106
		180	200	0,0094577	21112	200			240	260	0,090889	3770	343			400	420	0,0040899	21112	86
60	80	100	120	1,8317	377	691			260	280	0,024577	7540	185	280	300	320	340	1,52	377	573
		120	140	0,43297	1508	653			280	300	0,010349	13195	137			340	360	0,27565	1508	416
		140	160	0,12589	3770	475			300	320	0,0070279	21112	148			360	380	0,025007	3770	94
		160	180	0,042183	7540	318	180	200	220	240	1,8265	377	689			380	400	0,040747	7540	307
		180	200	0,016599	13195	219			240	260	0,30043	1508	453			400	420	0,00574692	13195	76
		200	220	0,0065965	21112	139			260	280	0,090132	3770	340	300	320	340	360	1,6946	377	639
80	100	120	140	1,9197	377	724			280	300	0,006816	7540	51			360	380	0,23785	1508	359
		140	160	0,37119	1508	560			300	320	0,027953	13195	369			380	400	0,056241	3770	212
		160	180	0,10209	3770	385			320	340	0,0012816	21112	27			400	420	0,0014228	7540	11
		180	200	0,033146	7540	250	200	220	240	260	1,7306	377	652	320	340	360	380	1,4548	377	548
		200	220	0,013056	13195	172			260	280	0,29035	1508	438			380	400	0,31688	1508	478
		220	240	0,0064992	21112	137			280	300	0,087808	3770	331			400	420	0,088745	3770	335
100	120	140	160	2,0155	377	760			300	320	0,029294	7540	221	340	360	380	400	1,7704	377	667
		160	180	0,38992	1508	588			320	340	0,012305	13195	162			400	420	0,33904	1508	511
		180	200	0,1062	3770	400			340	360	0,0023975	21112	51	360	380	400	420	1,8085	377	682

CAMINHAMENTO ELÉTRICO - LINHA C

POSIÇÃO DOS ELETRODOS				RESISTIVIDADE DIPOLO-DIPOLO			POSIÇÃO DOS ELETRODOS				RESISTIVIDADE DIPOLO-DIPOLO			POSIÇÃO DOS ELETRODOS				RESISTIVIDADE DIPOLO-DIPOLO		
A	B	M	N	ΔV (ohm)	K	ρ (ohm x m)	A	B	M	N	ΔV (ohm)	K	ρ (ohm x m)	A	B	M	N	ΔV (ohm)	K	ρ (ohm x m)
0	20	40	60	1,6016	377	604			200	220	0,031619	7540	238	220	240	260	280	1,3021	377	491
		60	80	0,42806	1508	646			220	240	0,012874	13195	170			280	300	0,27135	1508	409
		80	100	0,15154	3770	571			240	260	0,0079748	21112	168			300	320	0,060322	3770	227
		100	120	0,057984	7540	437	120	140	160	180	1,7573	377	663			320	340	0,021164	7540	160
		120	140	0,027762	13195	366			180	200	0,31105	1508	469			340	360	0,0093755	13195	124
		140	160	0,0088768	21112	187			200	220	0,088069	3770	332			360	380	0,0063153	21112	133
20	40	60	80	1,3767	377	519			220	240	0,03091	7540	233	240	260	280	300	1,3799	377	520
		80	100	0,357	1508	538			240	260	0,01392	13195	184			300	320	0,20968	1508	316
		100	120	0,12021	3770	453			260	280	0,0077531	21112	164			320	340	0,055537	3770	209
		120	140	0,050764	7540	383	140	160	180	200	1,7187	377	648			340	360	0,020856	7540	157
		140	160	0,022692	13195	299			200	220	0,3113	1508	469			360	380	0,0082434	13195	109
		160	180	0,011502	21112	243			220	240	0,079832	3770	301			380	400	0,0046497	21112	98
40	60	80	100	1,674	377	631			240	260	0,029162	7540	220	260	280	300	320	1,5113	377	570
		100	120	0,37255	1508	562			260	280	0,013157	13195	174			320	340	0,26707	1508	403
		120	140	0,13314	3770	502			280	300	0,0073202	21112	155			340	360	0,067328	3770	254
		140	160	0,054656	7540	412	160	180	200	220	1,8677	377	704			360	380	0,019096	7540	144
		160	180	0,022006	13195	290			220	240	0,27314	1508	412			380	400	0,004433	13195	58
		180	200	0,010483	21112	221			240	260	0,074355	3770	280			400	420	0,0033076	21112	70
60	80	100	120	1,6966	377	640			260	280	0,026836	7540	202	280	300	320	340	1,7843	377	673
		120	140	0,38057	1508	574			280	300	0,01136	13195	150			340	360	0,29645	1508	447
		140	160	0,13028	3770	491			300	320	0,0065753	21112	139			360	380	0,06528	3770	246
		160	180	0,045944	7540	346	180	200	220	240	1,573	377	593			380	400	0,052895	7540	399
		180	200	0,019248	13195	254			240	260	0,25097	1508	378			400	420	0,0069534	13195	92
		200	220	0,010175	21112	215			260	280	0,070841	3770	267	300	320	340	360	1,8311	377	690
80	100	120	140	1,5993	377	603			280	300	0,025191	7540	190			360	380	0,28103	1508	424
		140	160	0,3638	1508	549			300	320	0,0090937	13195	120			380	400	0,10845	3770	409
		160	180	0,1041	3770	392			320	340	0,0060379	21112	127			400	420	0,011471	7540	86
		180	200	0,037018	7540	279	200	220	240	260	1,4118	377	532	320	340	360	380	1,8461	377	696
		200	220	0,016612	13195	219			260	280	0,26775	1508	404			380	400	0,33711	1508	508
		220	240	0,0083999	21112	177			280	300	0,076541	3770	289			400	420	0,063564	3770	240
100	120	140	160	1,6816	377	634			300	320	0,022601	7540	170	340	360	380	400	2,4755	377	933
		160	180	0,31729	1508	478			320	340	0,0098723	13195	130			400	420	0,31721	1508	478
		180	200	0,086422	3770	326			340	360	0,0061576	21112	130	360	380	400	420	2,2707	377	856

ANEXO III

DADOS DAS SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS

SEV 100 A UTM: 642181/7434248 22K					
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	ΔV (ohm)	I (mA)	ρ (ohm x m)
1,5	0,5	6,28	97,311	10	611,11
2	0,5	11,78	65,325	10	769,53
3	0,5	27,48	35,586	10	977,90
4	0,5	49,48	21,561	10	1066,84
5	0,5	77,75	13,596	10	1057,09
6	0,5	112,31	9,1555	10	1028,25
8	0,5	200,27	4,9877	10	998,89
10	0,5	313,37	2,9135	10	913,00
13	0,5	530,14	1,5583	10	826,12
16	0,5	803,46	0,8931	20	717,57
20	0,5	1255,85	0,5173	20	649,65
25	0,5	1962,71	0,32417	20	636,25
30	0,5	2826,64	0,21875	20	618,33
40	0,5	5025,76	0,11372	50	571,53
50	0,5	7853,19	0,0663	50	520,67
60	0,5	11308,94	0,041188	50	465,79
60	5	1123,11	0,38823	50	436,02
80	0,5	20105,4	0,021378	100	429,81
80	5	2020,76	0,18179	100	367,35
100	5	3133,73	0,081511	100	255,43
130	5	5301,43	0,038189	100	202,46

SEV 340 A UTM: 642246/7434170 22K					
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	ΔV (ohm)	I (mA)	ρ (ohm x m)
1,5	0,5	6,28	103	10	646,84
2	0,5	11,78	72,688	10	856,26
3	0,5	27,48	39,894	10	1096,29
5	0,5	77,75	13,599	10	1057,32
6	0,5	112,31	9,664	10	1085,36
8	0,5	200,27	5,2647	10	1054,36
10	0,5	313,37	3,2952	10	1032,62
13	0,5	530,14	1,4865	10	788,05
16	0,5	803,46	0,78076	20	627,31
20	0,5	1255,85	0,45541	20	571,93
25	0,5	1962,71	0,2589	20	508,15
30	0,5	2826,64	0,17164	20	485,16
40	0,5	5025,76	0,088608	50	445,32
50	0,5	7853,19	0,051978	50	408,19
50	5	777,54	0,47799	50	371,66
60	0,5	11308,94	0,031743	50	358,98
60	5	1123,11	0,25313	50	284,29
80	5	2020,76	0,12726	100	257,16
100	5	3133,73	0,10899	100	341,55
130	5	5301,43	0,037175	100	197,08

SEV 160 B UTM: 642095/7434280 22K					
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	ΔV (ohm)	I (mA)	ρ (ohm x m)
1,5	0,5	6,28	112,01	10	703,42
2	0,5	11,78	68,846	10	811,01
3	0,5	27,48	34,491	10	947,81
4	0,5	49,48	22,078	10	1092,42
5	0,5	77,75	13,934	10	1083,37
6	0,5	112,31	9,0352	10	1014,74
8	0,5	200,27	4,5694	10	915,11
10	0,5	313,37	2,7013	10	846,51
13	0,5	530,14	1,3567	10	719,24
16	0,5	803,46	0,76706	20	616,30
20	0,5	1255,85	0,42591	20	534,88
25	0,5	1962,71	0,24162	20	474,23
30	0,5	2826,64	0,15524	20	438,81
40	0,5	5025,76	0,070191	50	352,76
50	0,5	7853,19	0,032271	50	253,43
60	0,5	11308,94	0,022722	50	256,96
60	5	1123,11	0,21817	50	245,03
80	5	2020,76	0,10025	100	202,58
100	5	3133,73	0,05951	100	186,49

SEV 280 B UTM: 642040/7434385 22K					
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	ΔV (ohm)	I (mA)	ρ (ohm x m)
1,5	0,5	6,28	133,6	10	839,01
2	0,5	11,78	76,869	10	905,52
3	0,5	27,48	35,64	10	979,39
4	0,5	49,48	22,019	10	1089,50
5	0,5	77,75	14,475	10	1125,43
6	0,5	112,31	9,3455	10	1049,59
8	0,5	200,27	4,8856	10	978,44
10	0,5	313,37	2,8399	10	889,94
13	0,5	530,14	1,5128	10	802,00
16	0,5	803,46	0,92457	20	742,86
20	0,5	1255,85	0,53351	20	670,01
25	0,5	1962,71	0,29137	20	571,87
30	0,5	2826,64	0,19248	20	544,07
40	0,5	5025,76	0,086077	50	432,60
50	0,5	7853,19	0,047672	50	374,38
60	0,5	11308,94	0,031061	50	351,27
60	2	2824,29	0,093417	50	263,84
80	2	5023,4	0,040921	100	205,56
100	2	7850,84	0,030192	100	237,03

SEV 120 C UTM: 642061/7434223 22K					
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	ΔV (ohm)	I (mA)	ρ (ohm x m)
1,5	0,5	6,28	105,17	10	660,47
2	0,5	11,78	73,036	10	860,36
3	0,5	27,48	41,177	10	1131,54
4	0,5	49,48	26,13	10	1292,91
5	0,5	77,75	17,697	10	1375,94
6	0,5	112,31	12,542	10	1408,59
8	0,5	200,27	6,0651	10	1214,66
10	0,5	313,37	3,4396	10	1077,87
13	0,5	530,14	1,6901	10	895,99
16	0,5	803,46	0,97457	20	783,03
20	0,5	1255,85	0,55903	20	702,06
25	0,5	1962,71	0,34531	20	677,74
30	0,5	2826,64	0,25295	20	715,00
40	0,5	5025,76	0,14224	50	714,86
50	0,5	7853,19	0,078278	50	614,73
50	2	1960,35	0,25951	50	508,73
60	0,5	11308,94	0,049998	50	565,42
60	2	2824,29	0,15635	50	441,58
80	2	5023,4	0,071081	100	357,07
100	2	7850,84	0,043177	100	338,98
130	2	13270,08	0,020628	100	273,74

SEV 300 C UTM: 641347/7434382 22K					
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	ΔV (ohm)	I (mA)	ρ (ohm x m)
1,5	0,5	6,28	119,08	10	747,82
2	0,5	11,78	71,796	10	845,76
3	0,5	27,48	36,46	10	1001,92
4	0,5	49,48	22,724	10	1124,38
5	0,5	77,75	15,414	10	1198,44
6	0,5	112,31	10,22	10	1147,81
8	0,5	200,27	5,2091	10	1043,23
10	0,5	313,37	2,8623	10	896,96
13	0,5	530,14	1,4129	10	749,03
16	0,5	803,46	0,82069	20	659,39
20	0,5	1255,85	0,46542	20	584,50
25	0,5	1962,71	0,2505	20	491,66
30	0,5	2826,64	0,15247	20	430,98
40	0,5	5025,76	0,078998	50	397,02
50	2	1960,35	0,1394	50	273,27
60	2	2824,29	0,083737	50	236,50
100	2	7850,84	0,027762	100	217,96

ANEXO IV

DADOS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO

POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)

LINHA A		LINHA B		LINHA C	
Estaca	(mV)	Estaca	(mV)	Estaca	(mV)
0	23,5	0	59,8	0	62,3
20	3,7	20	13,7	20	3,6
40	5,3	40	17,4	40	-6,2
60	0,1	60	23,2	60	-10,9
80	8,4	80	21,3	80	-16,4
100	10,5	100	18,6	100	-21,5
120	12,8	120	11,3	120	-20,2
140	2,8	140	5	140	-16,6
160	-4,8	160	7,5	160	-18,9
180	-17,5	180	7,4	180	-22,5
200	-21,3	200	4,4	200	-22,2
220	-14,1	220	-0,6	220	-17,4
240	-13,8	240	-7,7	240	-13
260	-11	260	-13,6	260	-12,5
280	-19,9	280	-7,2	280	-4,3
300	-19,6	300	-9,7	300	-0,4
320	-16,1	320	-3,7	320	-1,1
340	-15,5	340	1,8	340	-19,9
360	-11,1	360	-9,6	360	-25,1
380	-10,2	380	-10,4	380	-13,1
400	-14,7	400	-28,7	400	-14,3
420	-26,5	420	-21,4	420	-9,2

DOAÇÃO
IGC-USP
Data: 02/02/12