

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

INVESTIGAÇÃO DE PLUMA DE CONTAMINANTES PROVENIENTE DE
LAGOA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE MATADOURO-ESCOLA –
CAMPUS USP DE PIRASSUNUNGA

Daniel Guilhem Barbosa

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

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012/10)

SÃO PAULO
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

INVESTIGAÇÃO DE PLUMA DE CONTAMINANTES PROVENIENTE DE
LAGOA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE MATADOURO-ESCOLA –
CAMPUS USP DE PIRASSUNUNGA

De acordo

Aluno: Daniel Guilhem Barbosa

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012/10)

SÃO PAULO
2012

*"Não deixe que a saudade sufoque, que a rotina acomode, que o medo impeça de tentar.
Desconfie do destino e acredite em você. Gaste mais horas realizando que sonhando, fazendo
que planejando, vivendo que esperando porque, embora quem quase morre esteja vivo, quem
quase vive já morreu..."*

Luís Fernando Veríssimo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Pedro e Sonia, pela educação, por servirem como modelos de conduta e caráter, por me apoiarem em todas as escolhas da minha vida, e por sempre estarem presentes nos momentos bons e ruins, como um porto seguro, para onde eu pudesse retornar sempre que precisasse.

Ao prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas pela orientação e conhecimento transmitido, pelas ideias e os conselhos valiosos durante toda a elaboração do trabalho.

Ao Dr. Fernando Augusto Saraiva, pelo inestimável auxílio durante a etapa de campo, bibliografia e com o processamento dos dados.

Ao técnico do CEPAS Paulo Rodrigues de Lima, o Paulinho, pelo esforço e dedicação durante a aquisição dos dados.

A Ana Laura, por ter aturado meu jeito rabugento durante as etapas finais do trabalho, pelo carinho e companheirismo durante todo tempo que estamos juntos.

Aos meus colegas de Geologia, em especial aos "Brows" Lesther, Hemorroida, Gogo Boy, Rejeito, galera das antigas da Republica Astenosfera (Boi, Bota-Fora, Bucho), Gargalo e Fiona pela amizade leal durante esta árdua caminhada,

E para todos que aqui não foram lembrados, que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para conclusão deste trabalho de formatura, a vocês o meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1. LOCALIZAÇÃO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. GEOLOGIA REGIONAL	3
2.2. TRABALHOS ANTERIORES	5
2.3. METODOLOGIA	6
2.3.1. ELETORRESISTIVIDADE	6
2.3.2. POTENCIAL ESPONTÂNEO.....	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
3.1. PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	14
4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	15
4.1. POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP).....	15
4.2. SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS	17
4.3. CAMINHAMENTO ELÉTRICO	20
5. CONCLUSÕES	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXO I	33
PERFIS DE SONDAGENS ELÉTRICA VERTICAL	33
ANEXO II	37
TABELA DE TRATAMENTO ESTATÍSTICO E HISTOGRAMAS.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Localização do município de Pirassununga, fonte: Google Maps (2012).	2
Figura 2.1. Mapa Geológico da região de Pirassununga, Massoli, (1983).	4
Figura 2.2. Arranjo do tipo dipolo-dipolo (Gallas, 2000).	7
Figura 2.3. Aumento de resolução lateral (horizontal), representado pelos pontos vermelhos e em profundidade (vertical), representado pelos pontos em azul. Nos dois casos o deslocamento do arranjo (D-D) é igual a meio dipolo ($\frac{1}{2} a$), (Gandolfo, 2007).	8
Figura 2.4. Arranjo do tipo <i>Schlumberger</i> (Gallas, 2000).	8
Figura 2.5. Potencial espontâneo técnica da base fixa (Gallas, 2000).	9
Figura 3.1. Resistivímetro multieletrodo da marca IRIS, modelo Syscal Switch Pro®, com 48 canais.	11
Figura 3.2.1-Eletrodo de potencial espontâneo; 2-Milivoltímetro para aquisição de dados.	11
Figura 3.3. Vista lateral das lagoas	12
Figura 3.4. Vista frontal das lagoas	12
Figura 3.5. Aquisição dos dados de SEV.	12
Figura 3.6. Mapa de distribuição dos levantamentos executados.	13
Figura 4.1. Levantamento de Potencial Espontâneo	16
Figura 4.2. Exemplos morfológicos de curvas de resistividade (BRAGA, 1999).	17
Figura 4.3. SEV-L0-20.	18
Figura 4.4. SEV-L0-90.	18
Figura 4.5. SEV-L20-60.	19
Figura 4.6. Seções de resistividade da linha 0.	22
Figura 4.7. Seções de resistividade da linha 10.	23
Figura 4.8. Seções de resistividade da linha 20.	24
Figura 4.9. Seções de resistividade da linha 30	25
Figura 4.10. Mapas de pseudo-resistividade elétrica para os níveis de investigações n1, n3. Hallof, (1957).	26
Figura 4.11. Mapa de pseudo-resistividade elétrica para os níveis de investigações n5, n7. Hallof, (1957).	27
Figura 4.12. Mapa 3D de pseudo-resistividade elétrica para os níveis de investigações n1, n3, n5, n7. Hallof, (1957).	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Resistividade de diversos materiais, modificada Telford et al., (1990).	6
Tabela II.i. Tratamento estatístico dos dados.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Ω = resistência elétrica

ρ = resistividade elétrica

ρ_a = resistividade elétrica aparente

A,B = eletrodos de correntes

M,N = eletrodos de potencial

ΔV = diferença de potencial

I = intensidade de corrente elétrica

K = coeficiente geométrico

L = espaçamento ou abertura entre eletrodos (corrente ou potencial)

n = níveis de investigação (n=1,2,...)

D-D = arranjo dipolo-dipolo

P-D = arranjo pólo-dipolo

P-P = arranjo pólo-pólo

SEV = sondagem elétrica vertical

SP = Potencial Espontâneo

CE = Caminhamento Elétrico

RESUMO

Este trabalho de formatura investigou e mapeou a contaminação do lençol freático a jusante de duas lagoas onde são dispostos os rejeitos oriundos do matadouro-escola da Faculdade de Veterinária do campus da USP no município de Pirassununga.

Para tanto, foram aplicados os métodos da eletrorresistividade e de Potencial espontâneo, por meio das técnicas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Caminhamento Elétrico (CE), nos arranjos *schlumberger* e dipolo-dipolo respectivamente.

Essas técnicas se apoiam na premissa que diferentes materiais, geológicos ou não, possuem faixas de valores distintos de resistividade elétrica, a contaminação por chorume gera resistividades mais baixas do as encontradas no meio natural ao entorno, sendo assim valores anômalos de baixa resistividade são interpretados como a assinatura da pluma de contaminação.

Os resultados obtidos, permitiram determinar o nível d' água local e mapear com sucesso a expansão da provável pluma de contaminante.

Os métodos geofísicos aplicados neste trabalho são importantes ferramentas de investigação indireta usadas para obtenção de informações confiáveis sobre como se comporta o subsolo da área de estudo permitindo um melhor direcionamento na programação das fases posteriores, de prevenção e remediação.

Palavras Chaves: Eletrorresistividade, Contaminação, Chorume, Pirassununga.

ABSTRACT

This Graduation work investigated and mapped the contamination of groundwater in downstream of two ponds where are disposed the tailings from the slaughterhouse-school of the School of Veterinary from USP campus in the city of Pirassununga.

Thus, were applied the methods of resistivity and spontaneous potential, through the techniques of vertical electrical sounding (VES) and electrical profiling (EC), in *schlumberger* and dipole-dipole arrangements respectively.

These techniques rely on the assumption that different materials, geological or not, have ranges of distinct values of electrical resistivity. A contamination by leachate generates resistivities lower than those found in the natural environment in the surroundings, and therefore the anomalous values of low resistivity are interpreted as the signature of the plume of contamination.

The results obtained were used to determine the local water level and to successfully map the expansion of probable contaminant plume.

The geophysical methods applied in this work are important indirectly survey tools used to obtain reliable information about how the subsoil of the study area behaves allowing better targeting in programming the later stages of prevention and remediation.

KeyWords: Electrical Resistivity, Contamination, Leachate , Pirassununga.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Atualmente no Brasil, assim como no mundo, são amplamente discutidos os problemas ambientais gerados pela atividade humana e pelo aumento desenfreado da população. Um dos maiores problemas ambientais enfrentados é o da contaminação de águas superficiais e águas subterrâneas por contaminantes advindos de depósitos de resíduos sólidos, empreendimentos industriais e também da migração de chorume de lixões e lagoas de tratamento e necrochorume de cemitérios e de valas para descarte de carcaças e restos animais.

O chorume era o nome dado a substância gordurosa expelida pelo tecido adiposo de animais. Diante do uso popular da palavra, o significado foi ampliado e passou a englobar todo tipo de líquido contaminante, de cor escura e odor nauseante, originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos

A proposta do presente trabalho foi de determinar por métodos geoeletricos a presença de contaminação do lençol freático a jusante de duas lagoas onde são dispostos os rejeitos oriundos do matadouro-escola da Faculdade de Veterinária do campus da USP no município de Pirassununga.

O município de Pirassununga está inserido na porção nordeste da Bacia do Paraná e é formado por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica (Subgrupo Itararé e Formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (Formações Rio Claro, Piraçununga).

Usando o método geofísico de eletrorresistividade foi investigada a área a leste das lagoas que, pela declividade do terreno, foi considerada como o provável sentido do fluxo de água subterrânea. Foi investigada a variação vertical das resistividades objetivando estabelecer-se a profundidade do aquífero freático local. Além disso, através de medidas de potencial espontâneo, tentou-se determinar o sentido do fluxo de água subterrânea.

Foram utilizadas para estas investigações 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.

1.1. LOCALIZAÇÃO

A área em que foi desenvolvido este Trabalho de Formatura situa-se no campus da USP no município de Pirassununga, a jusante de uma lagoa onde são dispostos os rejeitos oriundos do matadouro-escola. A localização da referida lagoa está indicada na Figura 2.1.

O município de Pirassununga está localizado na região leste-nordeste do Estado de São Paulo, a uma latitude $21^{\circ}59'46''$ Sul e a uma longitude $47^{\circ}25'33''$ Oeste, estando a uma altitude de média de aproximadamente 627 metros. Tem como principais acessos as rodovias SP 225, SP 328 e SP 330 (Rodovia Anhanguera) e dista aproximadamente 210 km da cidade de São Paulo (site: Portal do Município de Pirassununga).

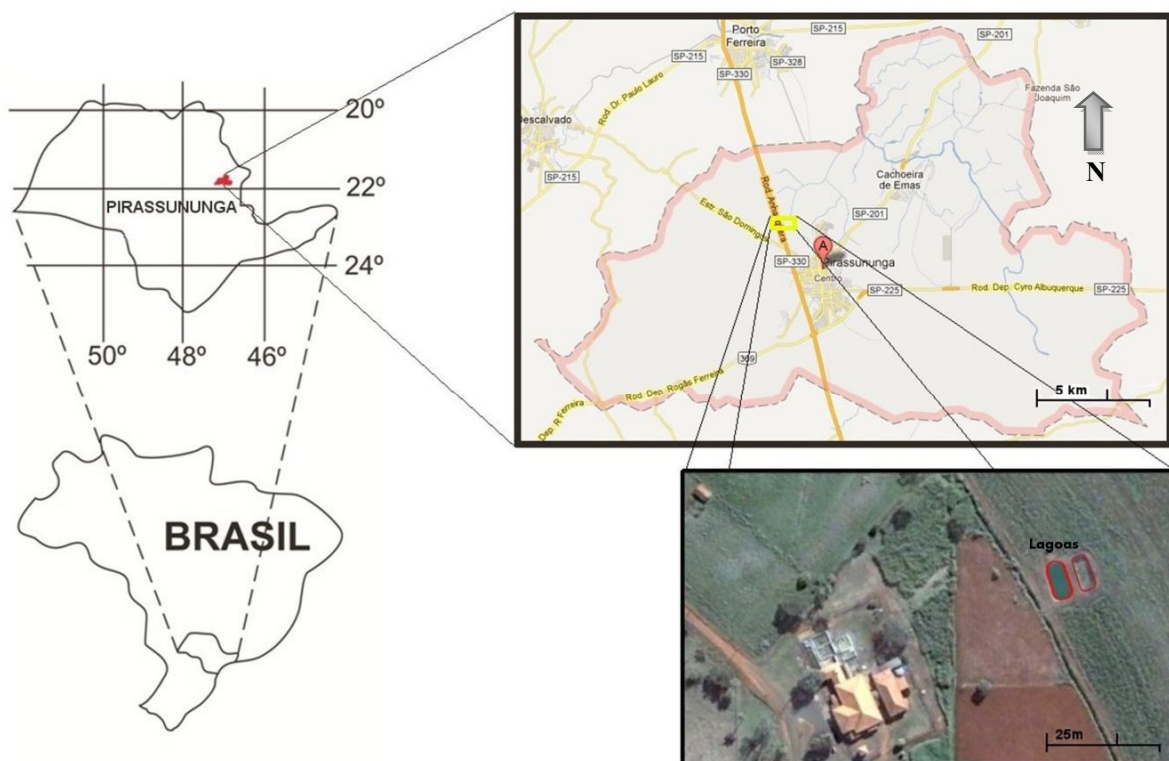


Figura 1.1. Localização do município de Pirassununga, fonte: Google Maps (2012).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi dividida em 3 partes, Geologia regional, Trabalhos Anteriores e Metodologia.

2.1. GEOLOGIA REGIONAL

O município de Pirassununga está inserido na porção nordeste da Bacia do Paraná, e segundo Massoli (1983), Ferreira (2005) e Saraiva (2010) é formado por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica (Subgrupo Itararé e Formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (Formações Rio Claro, Piraçununga). Os litotipos mais representativos na área são os diabásios da Formação Serra Geral, os siltitos e argilitos da Formação Corumbataí sendo recobertos pelos sedimentos inconsolidados areno-argilosos da Formação Piraçununga.

FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral é formada por basaltos e basaltos-andesitos de filiação tholeítica; riolitos e riodacitos. Intercalada com camadas de arenito, litoarenito e arenito vulcânico (CPRM, 2006). Segundo Saraiva (2010), na região destacam-se soleiras e diques de diabásio associadas ao magmatismo Serra Geral, intercaladas principalmente às Formações Irati e Tatuí; ocorrem ainda intercaladas às Formações Corumbataí e Pirambóia.

FORMAÇÃO CORUMBATAÍ

Esta Formação constitui a unidade superior do Grupo Passa Dois, formada por siltitos, lamitos e folhelhos de cores rosadas, marrons, mais raramente esverdeadas, creme e acinzentadas, maciços ou com acamamento plano-paralelo, apresentando fraturamento conchoidal. As estruturas predominantes são estratificação plano-paralela, cruzada de baixo ângulo. Podem ocorrer intercalações de arenitos finos, argilitos e siltitos carbonáticos constituindo camadas centimétricas (Massoli, 1983).

FORMAÇÃO PIRAÇUNUNGA

A Formação Piraçununga é composta por depósitos arenosos que recobrem indistintamente as unidades geológicas da Bacia do Paraná na região de Pirassununga e Porto Ferreira(Figura. 2.1.). Segundo Massoli (1983) caracteriza-se por constituir sedimentos inconsolidados, cor castanho claro, sem estruturas sedimentares, areno-argilosos, granulação variando entre as frações areia fina e silte grosso (com predomínio desta), muito pobremente selecionados. Apresenta duas fácies principais, sendo uma conglomerática basal, constituída por seixos de quartzo, quartzito e fragmentos de siltito e outra areno-argilosa caracterizada por ser mal selecionada e possuir grãos de quartzo dispersos na matriz. Na base apresenta, geralmente, uma linha de seixos ou cascalheira, com seixos de quartzo e quartzito e fragmentos de limonita, sobrepostos de forma discordante sobre a Formação Corumbataí.

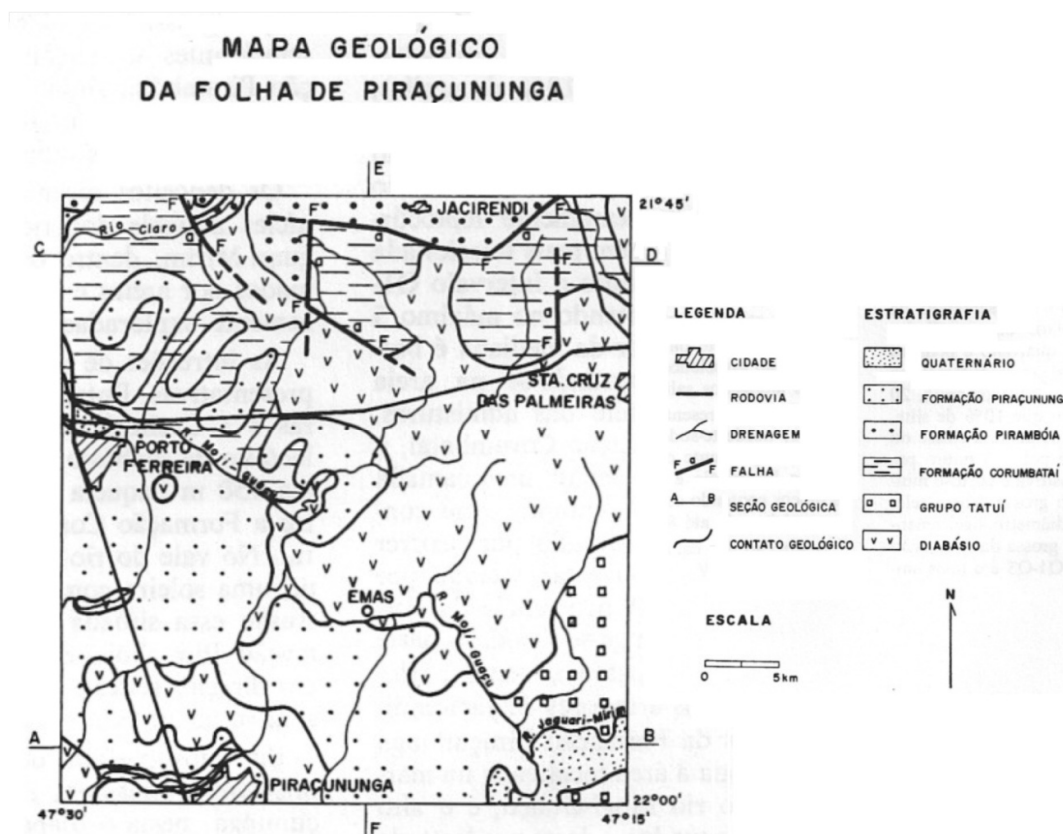


Figura 2.1. Mapa Geológico da região de Pirassununga, Massoli, (1983)

2.2. TRABALHOS ANTERIORES

De imediato cita-se Mendes *et al.*, (1989) que foi um dos primeiros trabalhos a utilizar métodos indiretos na avaliação da qualidade das águas subterrâneas nas proximidades de cemitérios.

Elis (1999), demonstrou diversas aplicações dos métodos elétricos e suas limitações no estudo da contaminação gerada em áreas de disposição de resíduos, conseguindo resultados que indicam que a aplicação dos métodos elétricos tem grande potencial, por estabelecerem grande base de dados, e principalmente por sua versatilidade, facilidade e rapidez com que são obtidos os dados em campo.

Gallas (2000), que discorre amplamente sobre os métodos geoeletricos e suas principais aplicações nas diversas áreas da geologia, apresentando resultados em casos reais com comprovada eficácia.

Gallas *et al.*, (2005), delimitaram e mapearam uma pluma de contaminação correlacionando baixos valores de resistividade com a presença de chorume, que por ser rico em íons gera uma alta condutividade justificando a presença de anomalias de baixa resistividade nas áreas contaminadas.

Gandolfo (2007), fez uma extensa análise dos métodos eletrorresistivos aplicados a objetivos rasos, detalhando suas metodologias de aquisição e processamento, concluiu que o arranjo D-D é o que fornece a melhor resolução dentre os arranjos estudados (D-D, P-D, P-P e Werner), demonstrando que sua principal limitação a baixa razão sinal-ruído pode ser compensada com a utilização de múltiplos espaçamentos entre eletrodos sobre o mesmo perfil de levantamento.

Moreira *et al.*, (2007), utilizaram as técnicas da Sondagem Elétrica Vertical e Caminhamento Elétrico no estudo de uma área irrigada com efluentes orgânicos provenientes de lagoas de estabilização do tipo aeróbica-facultativa na ETE (Estação de Tratamento de Esgotos) da SABESP, no município de Lins (SP), tendo resultados positivos na correlação de zonas de injeção desses efluentes com elevada quantidade de íons em solução com anomalias de baixa resistividade.

Silva, (2008), demonstrou em seu trabalho a importância dos métodos eletrorresistivos com instrumento indireto na avaliação da qualidade ambiental de cemitérios, mapeando a pluma de contaminação, usando ferramentas estatísticas para tratamento dos dados e definição das anomalias de resistividade encontradas..

Saraiva (2010), através do uso de métodos geofísicos analisou detalhadamente o comportamento de uma pluma de contaminantes em Pirassununga originada pela decomposição dos cadáveres animais enterrados, concluindo que o método de eletrorresistivo de Caminhamento Elétrico pode ser aplicado com sucesso para este tipo de contaminação.

2.3. METODOLOGIA

2.3.1. ELETORRESISTIVIDADE

Dentre as principais propriedades elétricas utilizadas na investigação geoeletrica, destaca-se a resistividade elétrica, que representa a dificuldade encontrada pela corrente elétrica para se propagar em um meio.

O método da eletrorresistividade tem como parâmetro medido a resistividade aparente do solo durante a passagem de uma corrente (I), que é transmitida por um par de eletrodos A e B, ligado a um emissor E. Mede-se a diferença de potencial (ΔV) entre dois eletrodos M e N.

A resistividade aparente (ρ_a) é obtida pela fórmula $\rho_a = K(\Delta V/I)$, onde K é um coeficiente que depende das dimensões e do tipo de arranjo usado para os eletrodos. Tem como fórmula geral $K = 2\pi(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN})^{-1}$, havendo várias possibilidades de arranjo para o quadripolo ABMN, como os que serão usados neste trabalho.

A resistividade é o parâmetro geofísico com um dos maiores intervalos de variações dependendo da natureza e do estado físico do material, como exemplificado na Tabela 2.1.

Materiais	Resistividade (ohm.m)
Água Doce	$10 - 10^3$
Água Salgada	0,2
Argilas	$10 - 10^2$
Areias	$10^2 - 10^4$
Quartzito	108
Diabásio	107
Basalto	107
Dolomito	$10^2 - 10^3$
Gabro	$10^3 - 10^6$
Granito Porfírico (saturado)	103
Argilito	102
Conglomerado	$10^3 - 10^4$

Tabela 2.1. Resistividade de diversos materiais, modificada Telford et al., (1990).

CAMINHAMENTO ELÉTRICO (ARRANJO DIPOLO-DIPOLO)

Este arranjo consiste em alinhar os eletrodos de corrente A e B e os eletrodos M e N de potencial ou de recepção sobre um mesmo perfil (Figura 2.2). O arranjo é definido pelos espaçamentos $L=AB=MN$. As medidas são feitas em várias profundidades de investigação ($n=1,2,3,\dots$) e interpoladas, gerando uma pseudo-seção de resistividade aparente. Esta configuração permite estudar as variações laterais do subsolo e, segundo Gallas (2000), é adequada para detectar contatos geológicos verticais ou inclinados, mineralizações, diques, fraturamentos e/ou falhamentos. Pode ser também utilizada na caracterização de aquíferos e de depósitos de areias e cascalhos, delineando os seus limites.

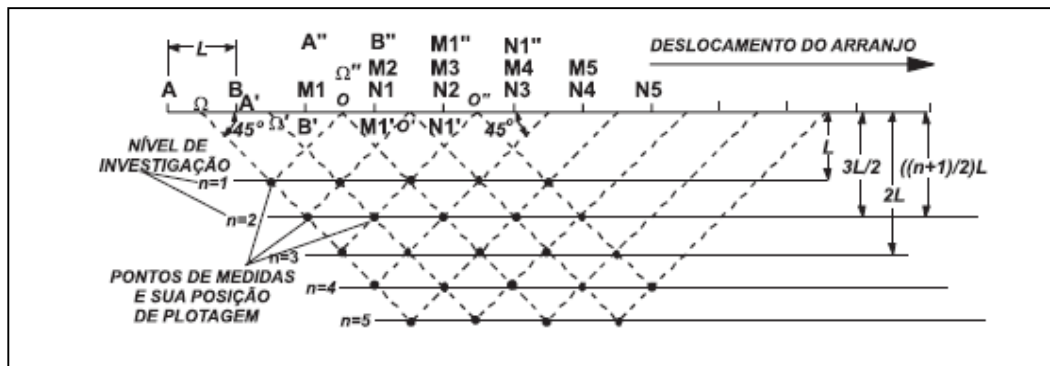


Figura 2.2. Arranjo do tipo dipolo-dipolo (Gallas, 2000).

Segundo Gandolfo (2007), o arranjo dipolo-dipolo pode ter sua resolução aumentada com simples modificações na aquisição dos dados, onde o arranjo é deslocado pela distância de meio dipolo durante o caminhamento. A seção, que originalmente teria a presença apenas dos pontos em preto (aquisição tradicional), teria sua resolução lateral dobrada, decorrente da presença de pontos intermediários (em vermelho na seção) correspondentes ao avanço de meio dipolo do arranjo em superfície (Figura 2.3a).

Se, adicionalmente, o fator de separação entre dipolos for um número não inteiro, por exemplo, $\frac{1}{2}$ a (Figura 2.3.b), observa-se que a resolução vertical também pode ser aumentada, com a intercalação de pontos em profundidade (em azul) sobre a aquisição tradicional (em destaque, na Figura 2.3.a).

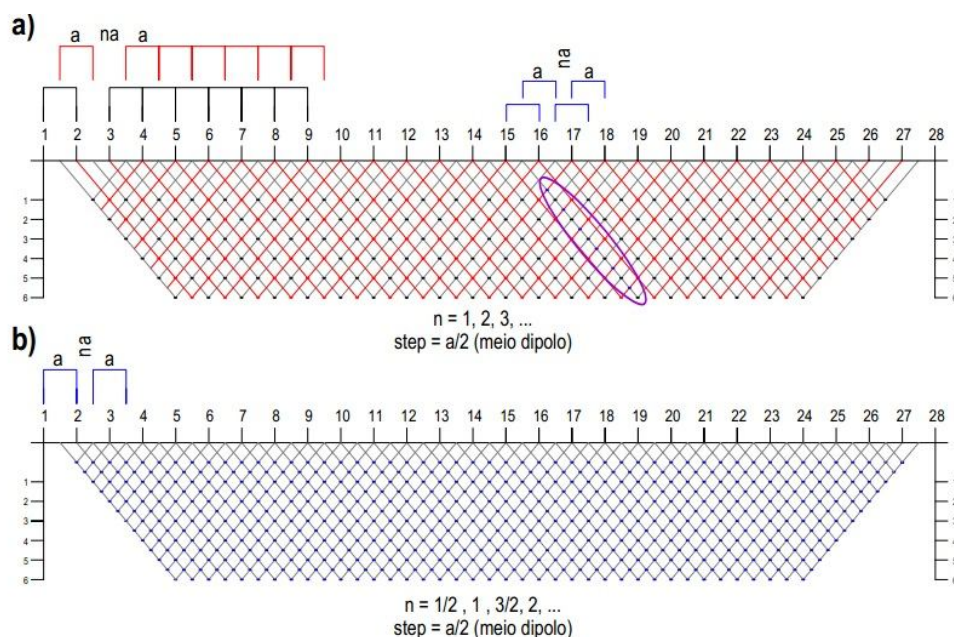


Figura 2.3. Aumento de resolução lateral (horizontal), representado pelos pontos vermelhos e em profundidade (vertical), representado pelos pontos em azul. Nos dois casos o deslocamento do arranjo (D-D) é igual a meio dipolo ($\frac{1}{2} a$), (Gandolfo, 2007).

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (ARRANJO *SCHLUMBERGER*)

Este arranjo tem com objetivo investigar as heterogeneidades verticais das resistividades. À medida que se expande a abertura entre os eletrodos A e B, aumenta a profundidade investigada, que normalmente é situada entre $1/4$ a $1/10$ de AB, dependendo das resistividades dos litotipos subjacentes, conforme exemplificado na Figura 2.4. O centro O é fixo e a abertura entre os eletrodos MN deve ser mantida constante o máximo possível.

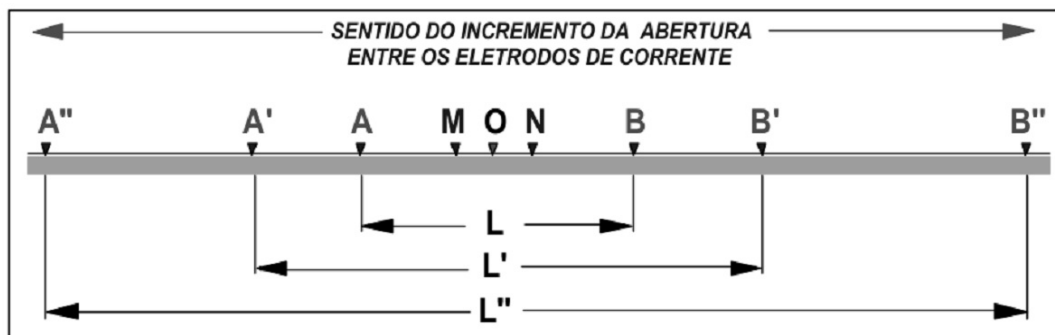


Figura 2.4. Arranjo do tipo *Schlumberger* (Gallas, 2000).

2.3.2. POTENCIAL ESPONTÂNEO

O método do Potencial Espontâneo, exemplificado na Figura 2.5, tem como parâmetro a medida da diferença natural de potencial, que parte do pressuposto que mesmo na ausência total de qualquer campo elétrico criado artificialmente, é possível medir uma diferença de potencial entre dois eletrodos introduzidos no terreno (Orellana 1972). É empregado na hidrogeologia e na geologia ambiental no estudo dos fluxos das águas subterrâneas.

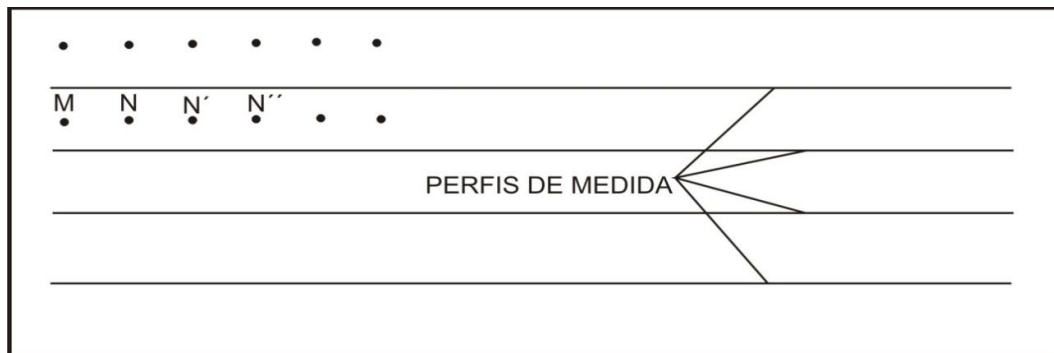


Figura 2.5. Potencial espontâneo técnica da base fixa (Gallas, 2000).

A técnica escolhida foi a dos potenciais, também conhecida como técnica da base fixa, que consiste em fixar um dos eletrodos como base(M), enquanto o outro(N) percorre os pontos de medida na malha do levantamento (Figura 2.5.) .

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades de campo foram realizadas no período do dia 18 a 22 de junho de 2012, onde foi realizada a aquisição dos dados. A equipe que realizou o levantamento consistia em dois alunos de graduação, o orientador, co-orientador e um técnico do CEPAS.

As duas lagoas que foram escolhidas para o estudo (Figuras 3.3 e 3.4) tem uma dimensão conjunta de 20mx30m, elas eram usadas para descarte de produtos advindos do matadouro escola localizado a leste das lagoas, esses produtos consistiam em restos de vísceras, hemoderivados, fezes de animais, água com produtos de limpeza (piso, equipamentos), efluentes dos sanitários e cozinha.

O levantamento foi feito de modo a caracterizar da melhor forma a área, e para isso foram selecionadas as técnicas que gerariam a melhor resolução para caracterizar o problema, levando em conta as dimensões do levantamento e profundidade de investigação.

Foram instaladas 4 linhas paralelas de caminhamento elétrico (CE) no arranjo dipolo-dipolo de 120 metros cada com uma distância de 10 metros uma da outra (Figura 3.6) com dois tipos de espaçamento entre os dipolos, buscando melhorar a resolução rasa, foi usado o espaçamento principal $AB=MN=5$ metros e outro espaçamento de $AB=MN=2,5$ metros que resultou em um grande adensamento dos pontos, totalizando de 660 medidas por linha com 7 níveis de investigação principais para $AB=MN=5$ ($n_1 = 5$ m; $n_2 = 7,5$ m; $n_3 = 10$ m; $n_4 = 12,5$ m; $n_5 = 15$ m; $n_6 = 17,5$ e $n_7 = 20$ m), respectivamente (Hallof, 1957).

Foram também executadas 3 sondagens elétricas verticais (SEVs), SEV-L0-20, SEV-L0-90 e SEV-L20-60 com arranjo *Schulumberger* e um levantamento de potencial espontâneo (SP) utilizando a técnica de base fixa, na qual foram instaladas 3 linhas paralelas entre si, as mesmas utilizadas na L0, L10 e L20 do caminhamento elétrico. A base estava fixada na estaca 60 da linha 2.

Para a aquisição dos dados de eletrorresistividade, além de eletrodos, fios, bobinas e trenas, foi utilizado o resistivímetro multieletrodo da marca IRIS (Figura 3.1), modelo Syscal Switch Pro®, com 48 canais. O equipamento possui um programa denominado Electre II®, que permite montar vários arranjos de campo com

os 48 canais, meio ou fim da linha. A programação com os arranjos escolhidos foi montada em notebook e enviada ao equipamento através de conexão via cabo.

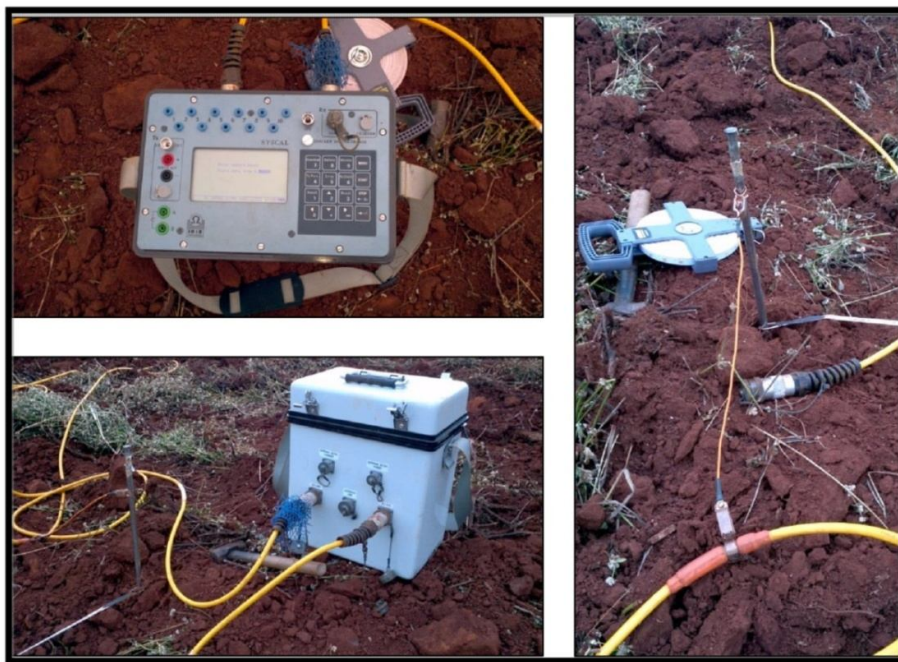


Figura 3.1. Resistivímetro multieletrodo da marca IRIS, modelo Syscal Switch Pro®, com 48 canais.

Para o levantamento de potencial espontâneo foram utilizados eletrodos, bobinas, fios e um milivoltímetro (Figura 3.2)..



Figura 3.2.1-Eletrodo de potencial espontâneo; 2-Milivoltímetro para aquisição de dados.



Figura 3.3. Vista lateral das lagoas.



Figura 3.4. Vista frontal das lagoas.



Figura 3.5. Aquisição dos dados de SEV.

Mapa de Distribuição dos Levantamentos Executados

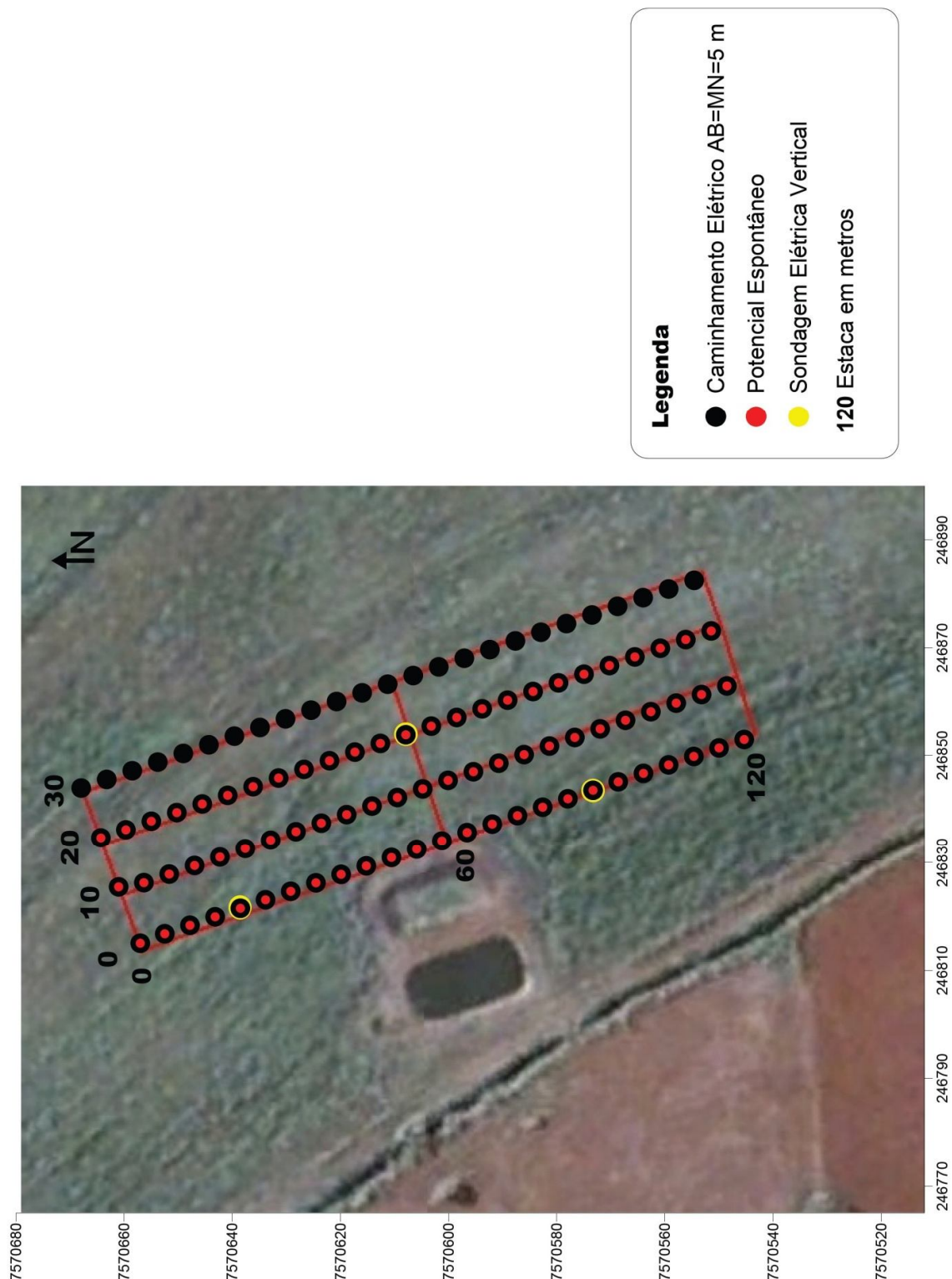


Figura 3.6. Mapa de distribuição dos levantamentos executados

3.1. PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento dos dados obtidos deu-se em 2 etapas, primeiro organizando os dados em forma de tabelas e, posteriormente, a utilização de 3 softwares (Res2dinv v.3.58 da Geotomo Software Malaysia, Surfer v.10.4 da Golden Software Inc. e IPI2Win v.3.0.1 da Moscow State University) para o processamento e modelagem.

O software Surfer é capaz de fornecer, através de diversos métodos de interpolações, a construção de uma malha regular (*grid*) baseada num conjunto de dados (XYZ), regularmente ou irregularmente distribuídos. Usando o *grid* estabelecido, são elaboradas as curvas de isovalores, gerando o mapa de contorno. O método utilizado na interpolação dos dados deste trabalho foi o da “Krigagem”.

O software Res2dinv é usado na inversão dos dados de modo a tornar o modelo gerado mais realístico, cujas profundidades de investigação fundamentam-se em no trabalho de Edwards, (1977) e são aproximadamente a metade daquelas propostas por Hallof, (1957), de forma automática determina um modelo bidimensional (2D) de resistividade elétrica em subsuperfície, a partir dos dados obtidos em levantamentos de caminhamento elétrico. O programa permite a inversão 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 traduz de maneira mais fiel a distribuição das resistividades elétricas em subsuperfície já que “sobreposição de medidas” possibilita o alcance em profundidade sem causar a perda de resolução nas porções mais rasas da subsuperfície Edwards, (1977). Gerando pseudo-seções modificadas mais representativas dos dados estudados, Gallas, (2000), constatou que a profundidade real de detecção para D-D deve se situar entre as profundidades de Edwards, (1977), e Hallof, (1957).

O software IPI2Win foi utilizado para a elaboração e interpretação 1D das curvas de sondagem elétrica vertical. A modelagem é feita a partir de um processo iterativo dos resultados empregando-se um filtro linear onde se pode através de sucessivas iterações diminuir o erro com que a curva se ajusta aos pontos. O IPI2Win foi elaborado pela Faculdade de Geologia da Universidade Estadual de Moscow, Rússia.

4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)

A Figura 4.1 é o resultado da interpolação pelo método de krigagem do levantamento de potencial espontâneo no software Surfer,

O mapa de potencial espontâneo mostra uma anomalia negativa se espalhando a partir das estacas L0-40 e L0-45, que coincide com o limite norte da área que delimita as lagoas, essa mesma localidade também marca o começo de uma declividade para noroeste da topografia local. As direções de fluxo observadas que vão das cores mais frias para as mais quentes indicaram direções inversas ao esperado, ou seja, opostas a declividade.

Os resultados do potencial espontâneo deveriam refletir as direções dos fluxos freáticos, indicadas pelo aumento dos potenciais medidos nas direções dos fluxos (das cores mais frias para as mais quentes). No entanto, o que foi verificado é que as medidas parecem estar sendo influenciadas pela presença de íons oriunda da lagoa. Um outro fator de influência pode ser a variação de minerais argilosos que localmente podem interferir nos fluxos, uma vez que a topografia local apresenta uma declividade bastante suave.

Saraiva (2010), encontrou problemas similares em levantamentos de potencial espontâneo realizados a alguns quilômetros a oeste da área de estudo, levantando a hipótese do fluxo subterrâneo ser muito suave, o que ocasionaria o movimento também suave da migração de cátions. Somando-se isto com a variação dos resultados causada pela litologia/mineralogia, seria também uma hipótese para justificar a discrepância entre a topografia observada e as direções freáticas indicadas pelo SP.

Levantamento de Potencial Espontâneo (SP)

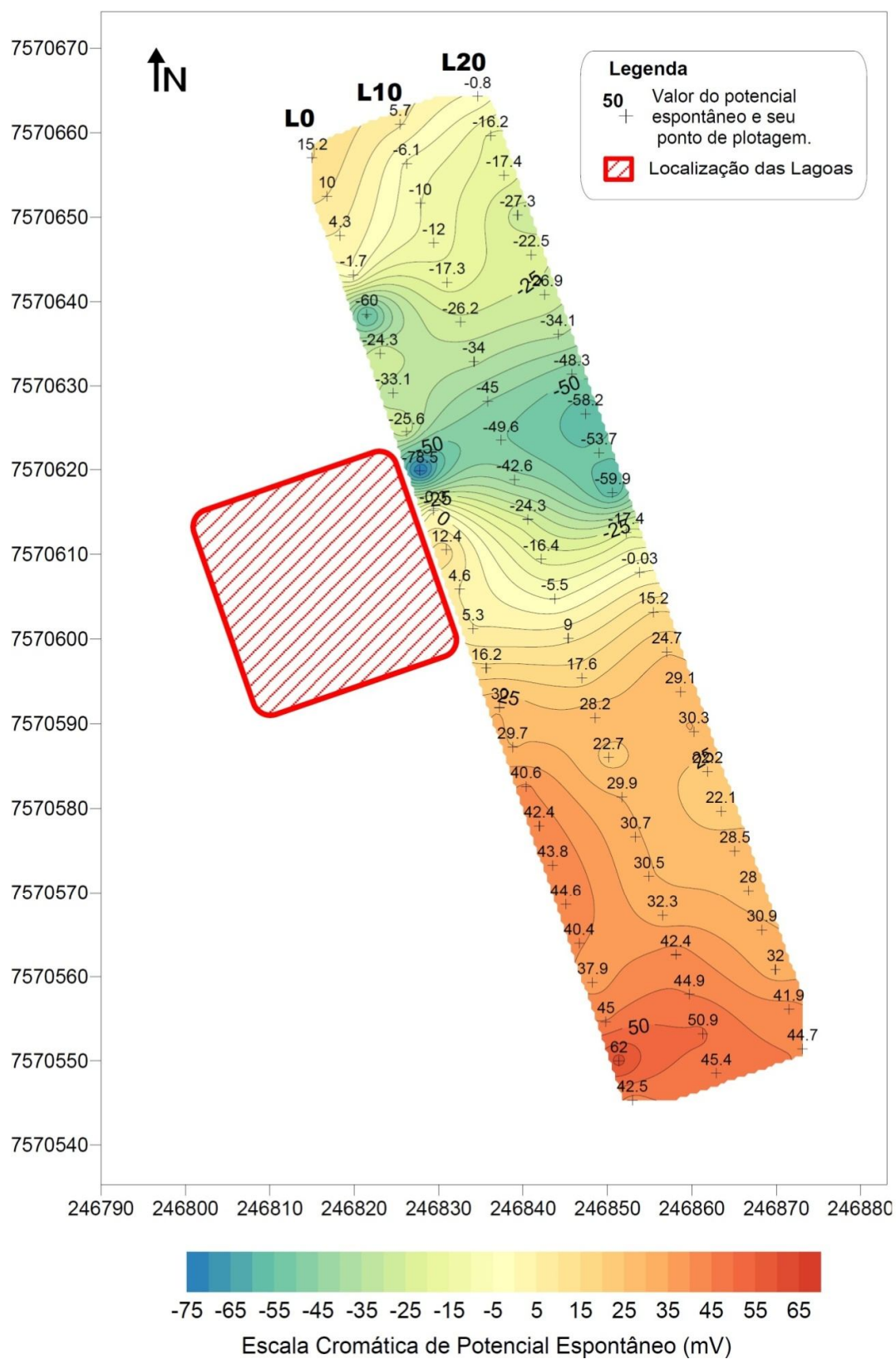


Figura 4.1. Levantamento de Potencial Espontâneo.

4.2. SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS

As Figuras 4.2, 4.3 e 4.4, a seguir, são resultados do processamento dos dados obtidos nas sondagens elétricas verticais SEV-L0-20, SEV-L0-90, SEV-L20-60 respectivamente .

Segundo Braga, (1999), as SEVs podem ser classificadas segundo seu número de camadas geelétricas, isto é, de uma, duas, três, quatro camadas, etc.. As seções de resistividade de três camadas podem ser denominadas de:

Tipo K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ **Tipo H:** $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$

Tipo A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ **Tipo Q:** $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$

Entretanto, as SEVs com quatro ou mais camadas, são combinações resultantes dos tipos ilustrados acima, como por exemplo: HK, QK, AK, etc. Na Figura 5.2, são ilustrados alguns exemplos existentes, com duas, três e quatro camadas, mostrando as variações das resistividades em função das espessuras.

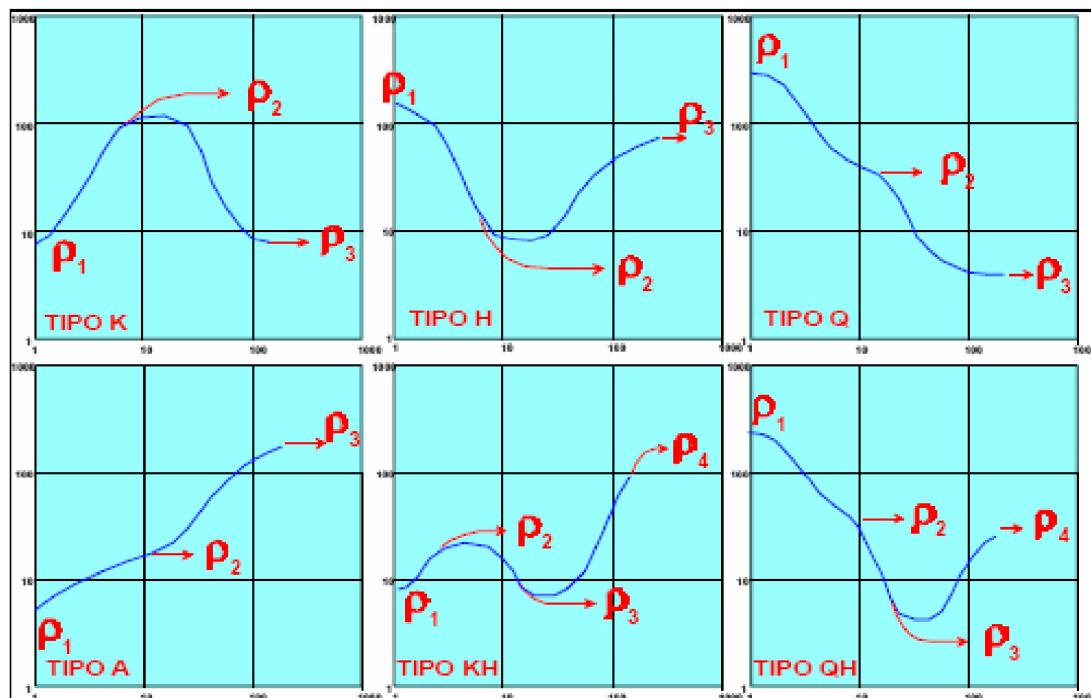


Figura 4.2. Exemplos morfológicos de curvas de resistividade (BRAGA, 1999).

Para a classificação morfológica não foram consideradas os últimos níveis que aparecem nos modelos, pois essas camadas seguem a mesma tendência das anteriores, com resistividade descendente, servindo apenas para o melhor ajuste do mesmo, os perfis completos em conjunto com a tabela de dados de campo se encontram no anexo 1.

Quanto à morfologia das curvas, duas delas, a SEV-L0-20, SEV-L0-90, podem ser classificadas como sendo do tipo KQ onde ($p_1 < p_2 > p_3 > p_4$), tendo quatro camadas geoeletricas, e a SEV-L20-60 como do tipo K onde ($p_1 < p_2 > p_3$), tendo três camadas. Essas camadas foram interpretadas de acordo com o conhecimento da geologia local, referências de resistividades, adquiridos através da revisão bibliográfica e pelas observações feitas durante a etapa de campo.

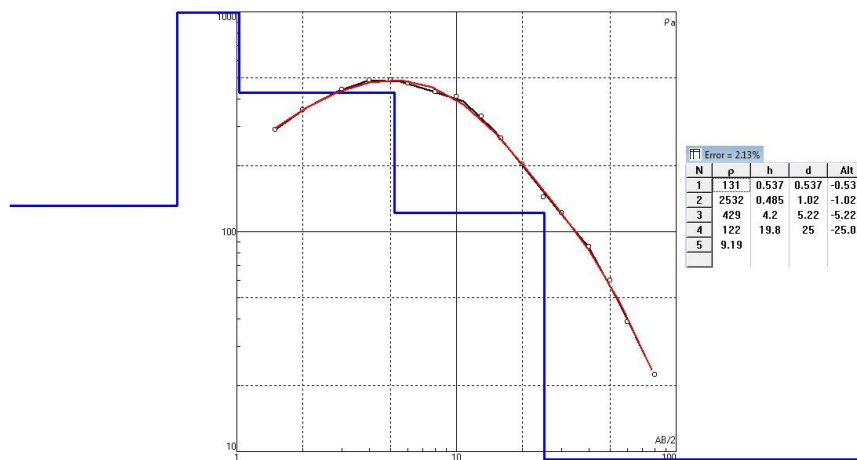


Figura 4.3. SEV-L0-20.

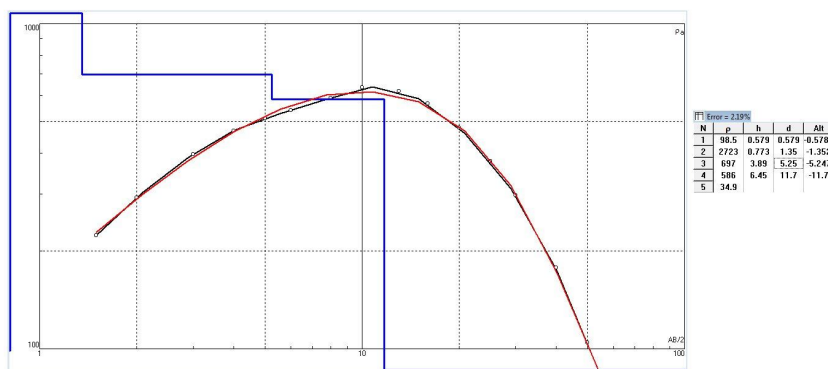


Figura 4.4. SEV-L0-90.

Curvas do tipo KQ (SEV-L0-20 e SEV-L0-90).

Primeira camada geoeétrica: indo de 0 a 0,58 m, com baixas resistividades variando entre 98,5 e 131 Ωm , trata-se de um horizonte areno-argiloso não saturado, com presença de matéria orgânica, estando na zona de evapotranspiração do solo.

Segunda camada que vai de 0,58 a 1,35 m, têm altas resistividades variando de 2532 a 2723 Ωm , foi interpretada como um horizonte arenoso não saturado, estando na zona de retenção do solo.

Terceira camada, vai de 1,35 a 5,25 m, com resistividades baixando novamente indo 429 a 697 Ωm , sendo um horizonte arenoso não saturado que está sob influência da zona capilar.

Quarta camada que vai de 5,25 m em diante, com resistividades de ordem mais baixas indo de 122 a 585 Ωm , sendo um horizonte areno-argiloso que marca o começo da zona saturada, nota-se a presença de uma redução nos valores de resistividade no ultimo nível do modelo da SEV-L0-20 para o valor de 49,70 Ωm na profundidade de 11,7 m, esse nível foi interpretado como sendo o mesmo horizonte areno-argiloso já em contato com a pluma de contaminação, na SEV- L0-90 isso não acontece havendo apenas uma diminuição da resistividade conforme a profundidade aumenta.

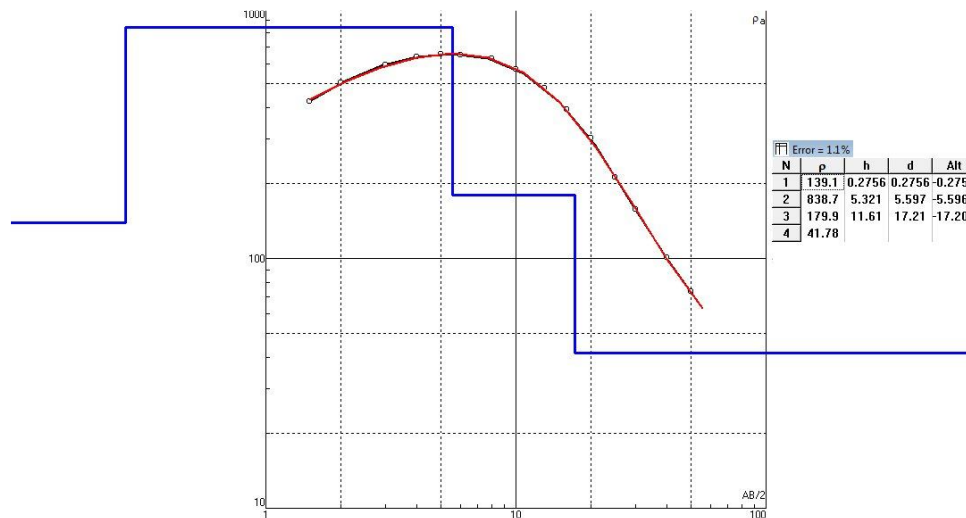


Figura 4.5. SEV-L20-60.

Curva do tipo K (SEV-L20-60).

Primeira camada geoeétrica indo de 0 a 0,28 m com uma baixa resistividade de 139,1 Ωm , trata-se de um horizonte areno-argiloso não saturado, com presença de matéria orgânica, estando na zona de evapotranspiração do solo,

Segunda camada vai de 0,28 a 5,60 m, com uma resistividade de 838,7 Ωm , sendo um horizonte arenoso não saturado, estando sob a influência da zona capilar.

Terceira que vai de 5,60 m em diante, com uma resistividade mais baixa de 179,9 Ωm , sendo um horizonte areno-argiloso que se situa também no começo da zona saturada, nota-se presença de uma redução na resistividade no ultimo nível do modelo para o valor de 41,78 Ωm na profundidade de 11,61, esse nível foi interpretado como sendo o mesmo horizonte areno-argiloso em contato com a pluma de contaminação.

A partir dessas interpretações e da concordância entre as camadas das três SEVS foi possível situar o nível d'água da região estudada em aproximadamente 5 metros de profundidade.

4.3. CAMINHAMENTO ELÉTRICO

As figuras 4.6 a 4.9 são resultado do processamento dos dados obtidos no caminhamento elétrico e mostram as pseudo-seções de resistividade e seções modeladas após a inversão dos dados das linhas 0, 10, 20, 30 respectivamente em seções conjuntas dos espaçamentos $AB=MN=5\text{m}$ e $AB=MN=2,5\text{m}$. Na inversão dos dados de campo realizada pelo Res2dinv foi adotado um número máximo de 5 iterações por perfil, resultando num erro variando de 3,2% a 5,3%.

Na seção L0 nota-se uma concentração de baixos valores de resistividade (menores que 300 ohm.m) entre as estacas de 20 e 60 m. Este fato se repete nas outras seções L10, L20 e L30, tendo variações na amplitude de sua distribuição e na profundidade de ocorrência. Esses valores anômalos foram interpretados como a assinatura da pluma de contaminação quanto à resistividade, uma vez que a condução elétrica em condições naturais se dá principalmente através dos íons, e a contaminação por chorume é normalmente rica em sais minerais dissolvidos liberando íons no ambiente, resultando em baixas resistividades.

A anomalia se espalha a partir da borda NW da lagoa, localizada na L0 entre as estacas de 40 e 50 m, primeiramente se espalhando perpendicularmente às linhas tanto para NW quanto para SE, conforme se distancia da lagoa no sentido das linhas L10, L20 e L30. A anomalia tende a se aprofundar mais decaindo da superfície e se espalhando preferencialmente em direção a N-NW assim como na direção NE, como pode ser visto nos mapas de resistividade por níveis de investigação presente nas figuras 4.10 ,4.11 e 4.12.

A partir desses mapas de resistividade pode-se acompanhar o deslocamento da provável pluma de contaminação. Observa-se que no mapa do nível de investigação 5 metros (Figura 4.10) ela se encontra restrita, espalhada em uma área pequena delimitada no mapa, na zona de solo não saturado. Já no nível de 10 metros (Figura 4.10) nota-se que ela se espalhou consideravelmente em direção a NE. Nos níveis de 15 e 20 m (Figura 4.11) a contaminação se espalha por toda a parte a NW. Além disso, é notável a diminuição das resistividades com o aumento da profundidade.

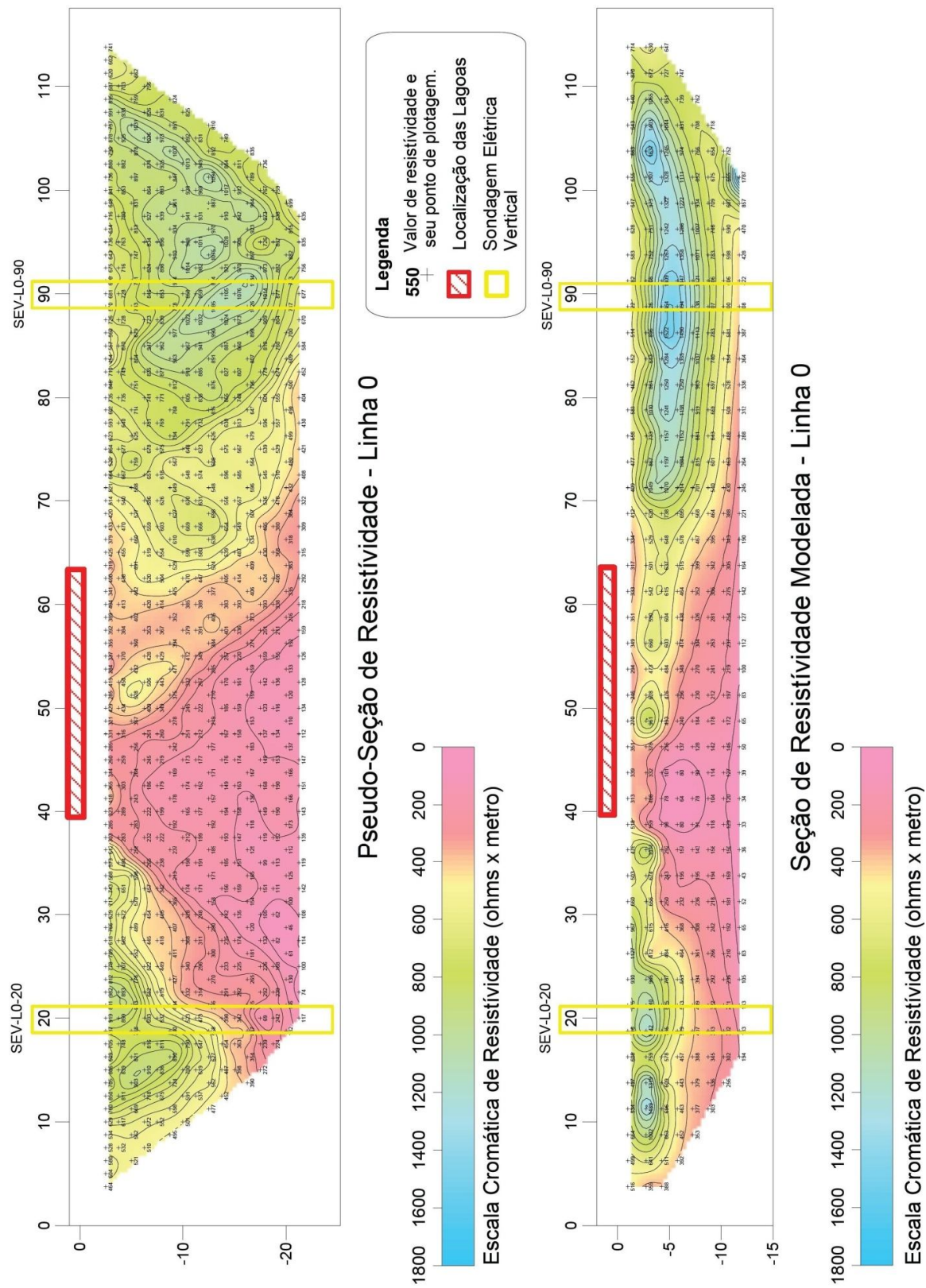
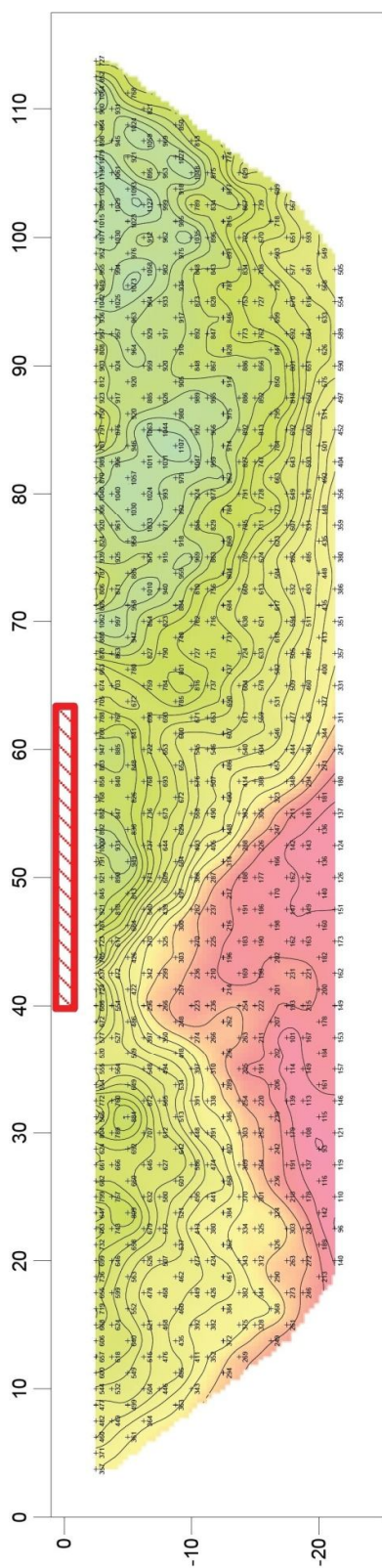
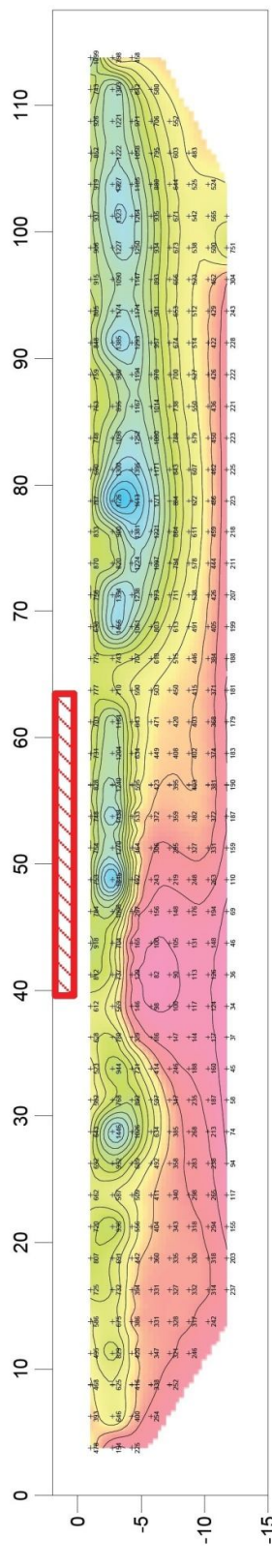


Figura 4.6. Seções de resistividade da linha 0.



Pseudo-Seção de Resistividade - Linha 10



Seção Modelada de Resistividade - Linha 10

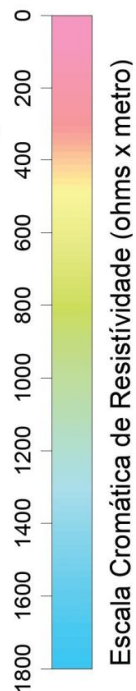


Figura 4.7. Seções de resistividade da linha 10.

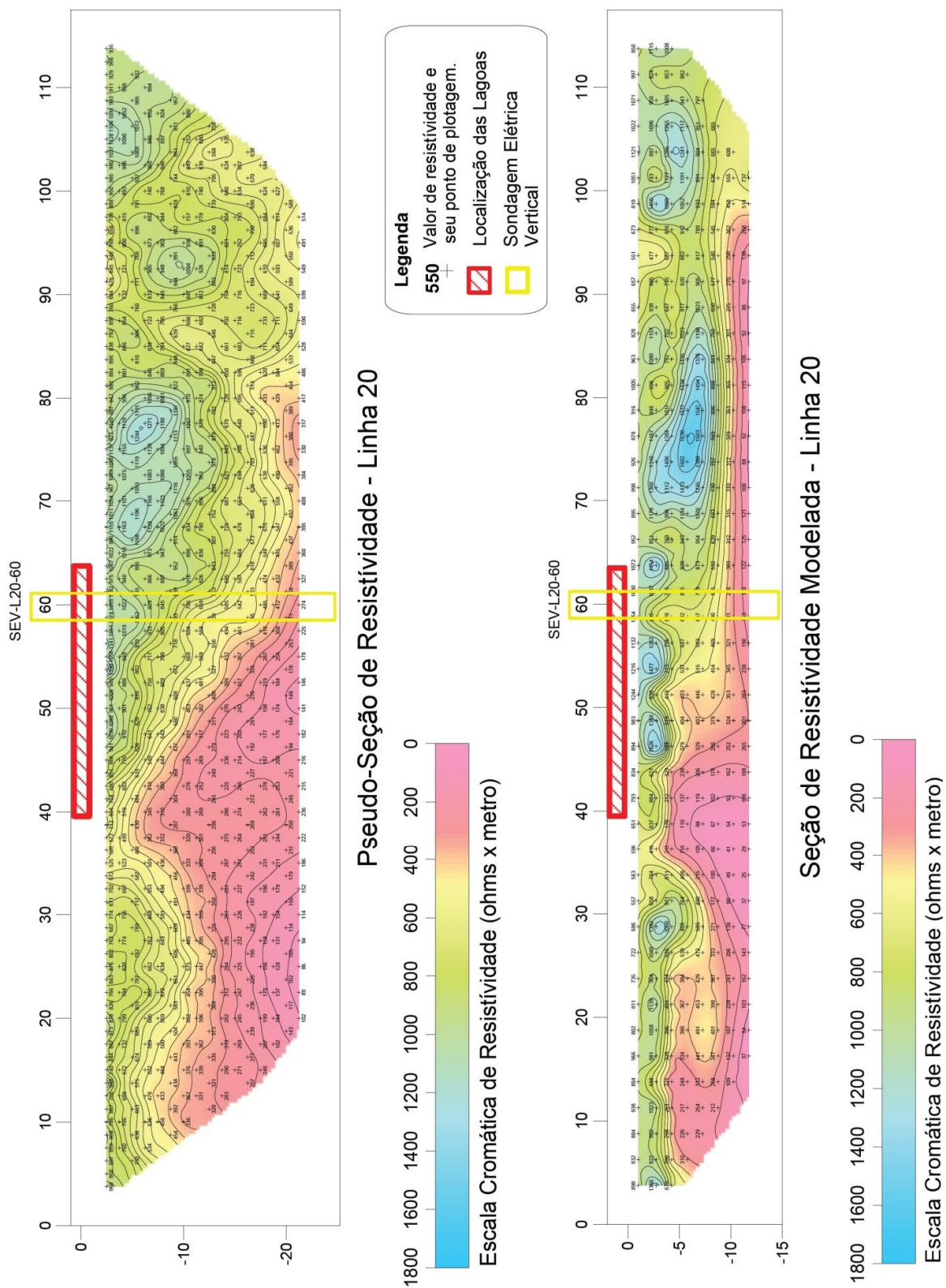


Figura 4.8. Seções de resistividade da linha 20.

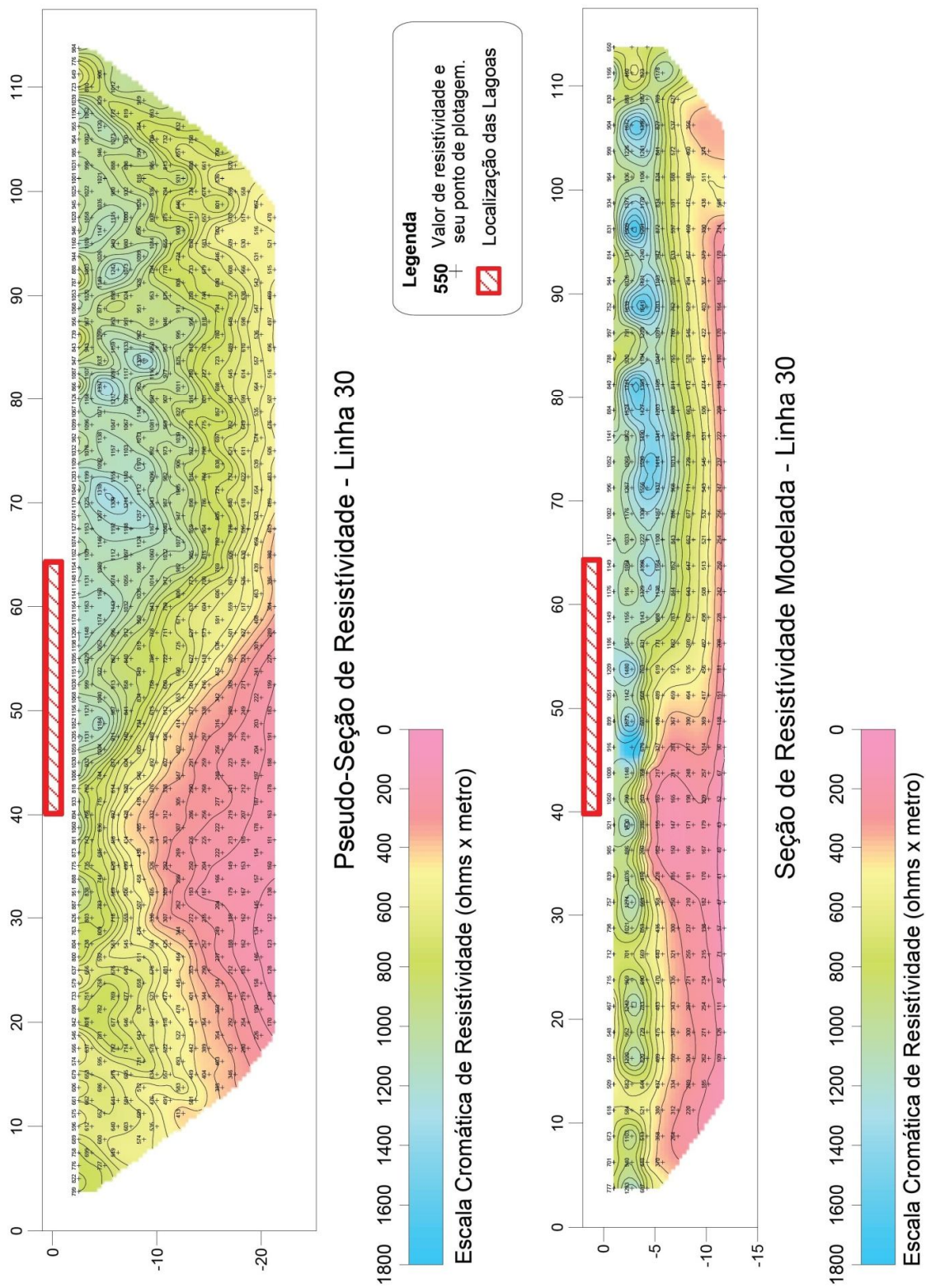


Figura 4.9. Seções de resistividade da linha 30.

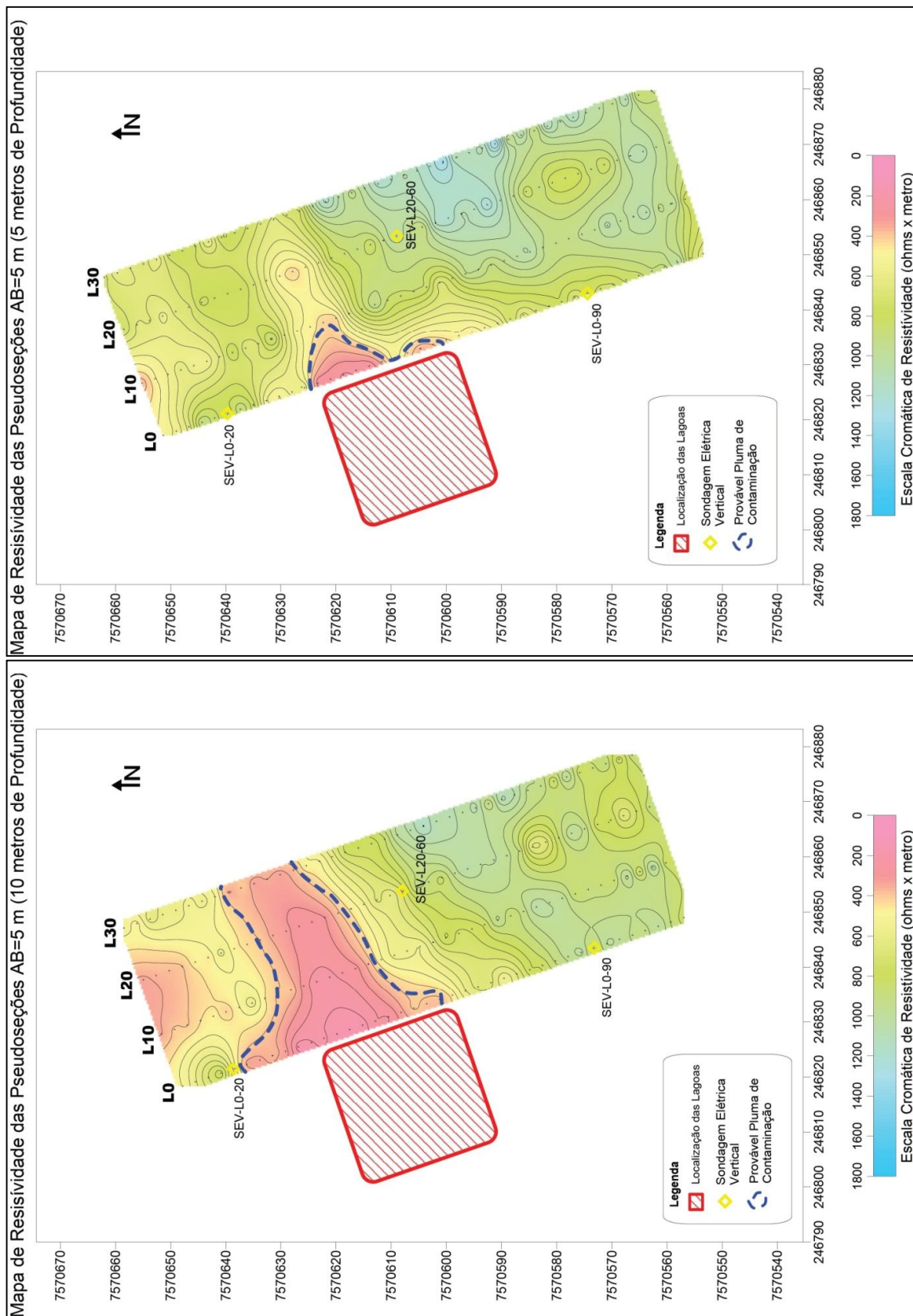


Figura 4.10. Mapas de pseudo-resistividade elétrica para os níveis de investigações n1, n3. Hallof, (1957).

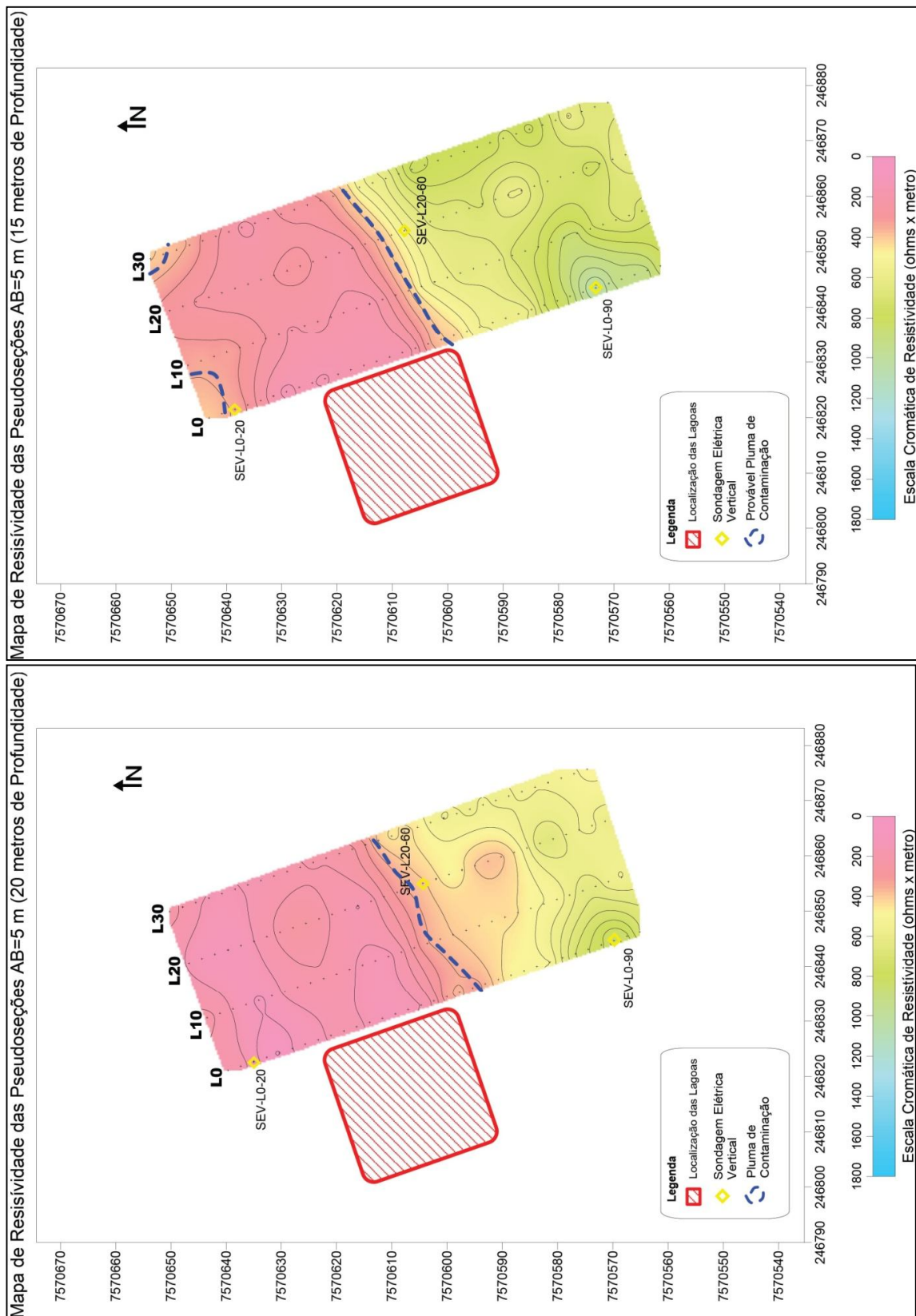


Figura 4.11. Mapa de pseudo-resistividade elétrica para os níveis de investigações n5, n7. Hallöf, (1957).

Mapa 3D de pseudo-resistividade elétrica para os níveis de investigação (AB=5m).

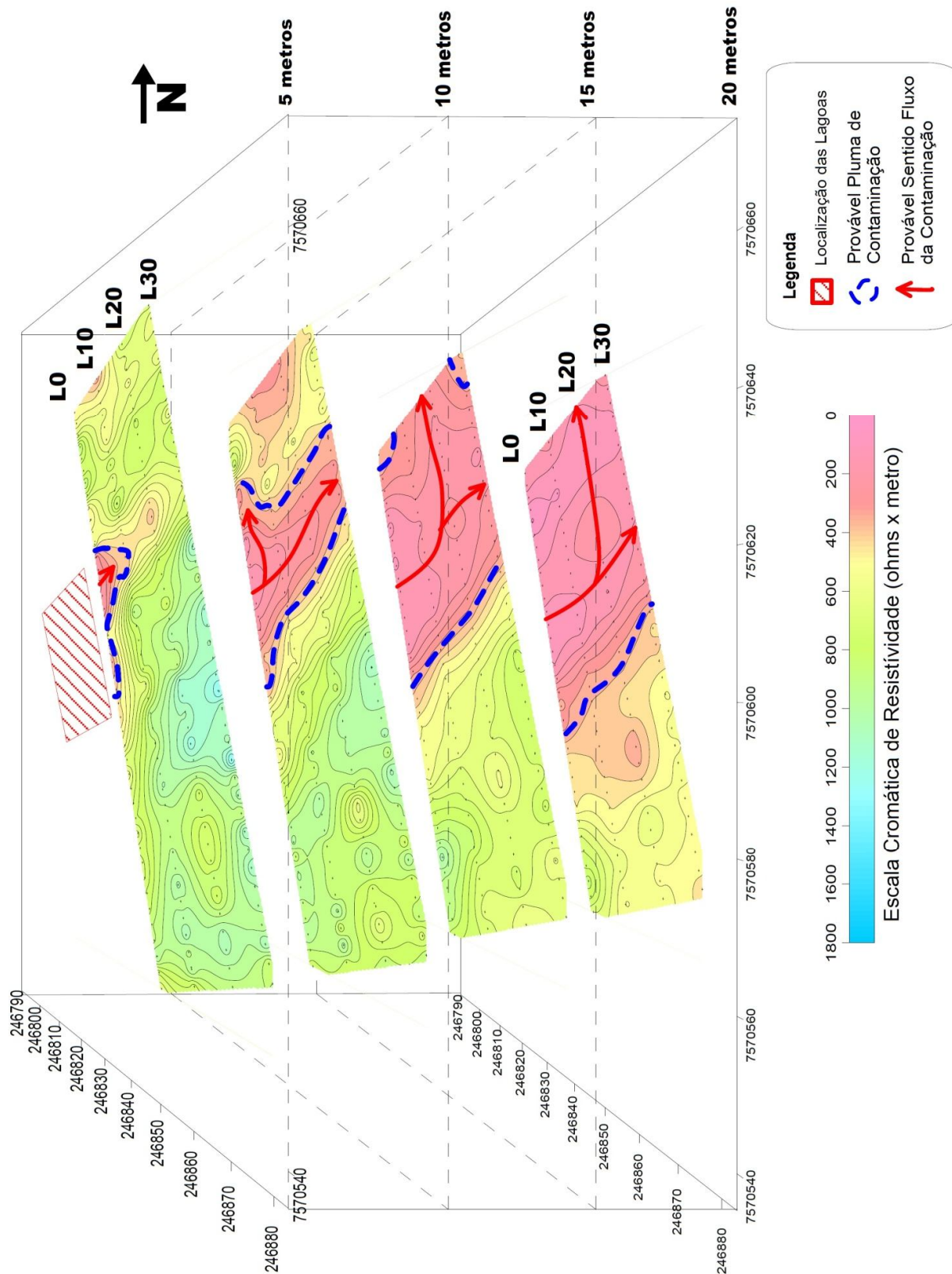


Figura 4.12. Mapa 3D de pseudo-resistividade elétrica para os níveis de investigações n1, n3, n5, n7. Hallof, (1957)

Para a delimitação das prováveis plumas de contaminação que foram desenhadas, para cada nível de investigação foram executadas análises estatísticas no software Microsoft Excel (Tabelas presentes no anexo 2). A partir da análise conjunta dessas estatísticas e das pseudo-seções, levando em conta as anomalias resistivas e também as áreas aparentemente livres delas, foi delimitada a zona de contaminação, representada pelo tom de rosa nas figuras para facilitar a visualização da anomalia e sua continuidade em profundidade.

A Figura 4.12 apresenta o mapa simulação 3D resistividade elétrica, realizado a partir dos dados 2D. O mapa de simulação 3D foi gerado por meio do método de interpolação da krigagem dos dados de cada nível. Esse mapa foi elaborado usando as coordenadas UTM e as profundidades teóricas de investigação de Hallof, (1957), para cada ponto amostrado com suas respectivas resistividades aparentes. Essa composição foi escolhida por permitir uma melhor visualização da expansão em 3D da provável pluma de contaminação, sendo nela delimitada a pluma e as direções de sua expansão.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados dos três métodos é evidente o potencial dos mesmos para investigar e mapear a presença de anomalias de baixa resistividade em substratos geológicos, que são correlacionáveis com contaminantes que espalhados pela área de estudo.

O levantamento de potencial espontâneo (SP), não refletiu corretamente a direção dos fluxos freáticos, por influência de alguns fatores como presença da contaminação a níveis rasos, a variação de minerais argilosos que em topografias suaves pode interferir nos fluxos.

As sondagens elétricas verticais propiciaram a definição do nível de água local e a definição de alguns horizontes geológicos correlacionáveis à Formação Pirassununga que recobre toda região. O nível d'água interpretado nas SEVs foi da ordem de 5m, compatível com a realidade geológica local.

Os caminhamentos elétricos mapearam uma pluma de contaminação com um comportamento condizente com o esperado pela topografia da área, que se move preferencialmente para NW em direção à drenagem.

Os mapas de resistividade mostraram que a migração da pluma, tanto em profundidade como em área, é intensificada nos níveis mais profundos onde há horizontes arenosos com maior porosidade. A disseminação nessas faixas de profundidade sugere que os contaminantes têm uma densidade maior que a da água e isso em conjunto a profundidade rasa do NA tornou a área suscetível à dispersão do contaminante.

Em síntese, pode-se concluir que os métodos aplicados e os resultados obtidos atenderam com sucesso os objetivos propostos para este Trabalho de Formatura.

Vale lembrar que esses métodos são técnicas de investigações indiretas e estão sujeitos a ruídos e ambiguidades.

Assim, os resultados aqui obtidos devem ser usados para subsidiar e otimizar futuras investigações diretas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, A. C. O. 1999. Curso Básico de Geofísica Aplicada Módulo 1: Métodos Geoelétricos Aplicados a Hidrogeologia. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, 1 CD-ROM.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – 2001. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>.

CPRM, 2006. Serviço Geológico do Brasil - Mapa Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, Escala 1:750.000

EDWARDS LS. 1977. A modified pseudo-section for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, 3: p78–95.

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.

FERREIRA, S.R., 2005. Análise pedoestratigráfica das Formações Rio Claro e Piraçununga, no centro-leste do Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 157p.

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. 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.

GANDOLFO, O.C.B., 2007. Um estudo do imageamento geoelétrico na investigação rasa. Tese (Doutorado em Geociências, Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 215p.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <http://maps.google.com.br>. Acessado dia 13/03/2012.

HALLOF PG. 1957. On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements: Cambridge, MIT, Ph. D. thesis.

MASSOLI, M., 1983. Geologia da folha Piraçununga, SP. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 4(1/2):25-51, jan./dez.

MENDES, J.M.B.; PACHECO, A.; HASSUDA, S., 1989. Cemitérios e meio ambiente - a geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas subterrâneas. In:... Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, 2., Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, v. 1, p. 50-57.

MOREIRA, C. A.; DOURADO, J. C.; SANTOS, K. Geofísica aplicada no estudo de área de lançamento de efluentes de tratamento de esgoto. Revista Geociências. UNESP, São Paulo. v. 26, n. 1. p 17-25, 2007.

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

PORTAL DO MUNICÍPIO DE PIRASSUNUNGA. Disponível em: <http://pirassununga.municipios.sp.gov.br>. Acessado dia 16/03/2012.

SARAIVA, F.A., 2010. Avaliação de métodos geofísicos no comportamento espacial de Plumas de Necrochorume. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo. 103p.

SILVA, R. W. C, 2008. Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios – o exemplo do cemitério de Vila Rezende, Piracicaba/SP. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 156 p.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E., 1990. Applied Geophysics. 2º ed., New York, Cambridge University Press, p.774.

ANEXO I

PERFIS DE SONDAGENS ELÉTRICA VERTICAL

PERFIL DE SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL - SEV

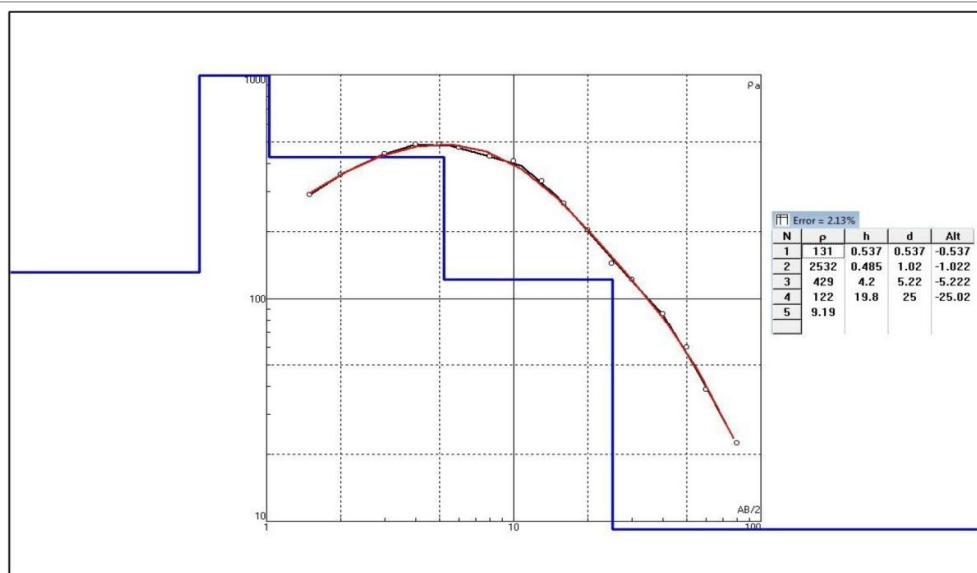
NOME: **SEV-L0-20**

COORDENADAS UTM: 246821,474 / 7570638,493

LOCAL: Campus da USP no município de Pirassununga-SP.

DADOS DE CAMPO					FORMULAS DE CÁLCULO
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	$\Delta V/I$ (m Ω)	ρ (Ω)	
1,5	0,5	6,28	46,5	292	$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad K = \frac{\pi \cdot (\overline{AM} \cdot \overline{AN})}{\overline{MN}}$
2	0,5	11,78	30,5	359.3	
3	0,5	27,48	16,18	441.9	MORFOLOGIA DA CURVA
4	0,5	49,48	9,92	490.8	
5	0,5	77,75	6,29	489	Quatro camadas geolétricas, Tipo: KQ ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$)
6	0,5	112,31	4,23	475	
8	0,5	200,27	2,16	432.6	
10	0,5	313,37	1,307	41.1	
13	0,5	530,14	0,634	336.1	
16	0,5	803,46	0,33	265.2	
20	0,5	1255,85	0,1614	202.7	
25	0,5	1962,71	0,0733	143.9	
30	0,5	2826,64	0,0431	121.9	
40	0,5	5025,76	0,01696	85.2	
50	0,5	7853,19	0,00765	60.1	
60	0,5	11308,94	0,00344	38.9	
80	0,5	20105,4	0,00111	22.3	

DADOS PLOTADOS E PROCESSADOS



MODELO GEOELÉTRICO INTERPRETADO

CAMADA	PROF. (m) de Base	PROF. (m) de Topo	RESISTIVIDADE (ohm.m)	INTERPRETAÇÃO
1	0	0,537	131	Horizonte Areno-Argiloso, Zona não Saturada
2	0,537	1,02	2723	Horizonte Arenoso, Zona não Saturada
3	1,02	5,22	429	Horizonte Arenoso, Zona Capilar N.A.
4	5,22	25	122	Horizonte Areno-Argiloso, com Saturação Crescente Descendente
5	25	-	9,19	

PERFIL DE SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL - SEV

NOME: **SEV-L0-90**

COORDENADAS UTM: 246843,506 / 7570573,270

LOCAL: Campus da USP no município de Pirassununga-SP.

DADOS DE CAMPO

AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	$\Delta V/I$ (mV)	ρ (Ω)
1,5	0,5	6,28	35,5	223.00
2	0,5	11,78	24,8	292.10
3	0,5	27,48	14,43	396.50
4	0,5	49,48	9,48	469.00
5	0,5	77,75	6,57	510.80
6	0,5	112,31	4,82	541.30
8	0,5	200,27	2,95	590.80
10	0,5	313,37	2,03	636.95
13	0,5	530,14	1,17	620.30
16	0,5	803,46	0,708	568.80
20	0,5	1255,85	0,381	478.50
25	0,5	1962,71	0,1925	377.80
30	0,5	2826,64	0,1048	296.20
40	0,5	5025,76	0,0353	177.40
50	0,5	7853,19	0,0133	104.40

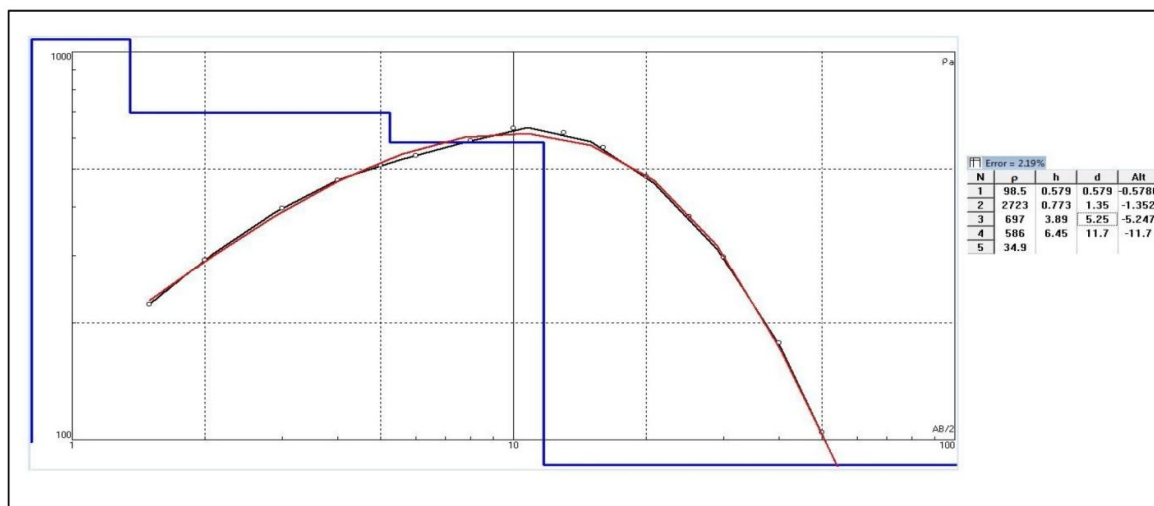
FORMULAS DE CÁLCULO

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad K = \frac{\pi \cdot (\overline{AM} \cdot \overline{AN})}{\overline{MN}}$$

MORFOLOGIA DA CURVA

Quatro camadas geoeétricas,
Tipo: KQ ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$)

DADOS PLOTADOS E PROCESSADOS



MODELO GEOELÉTRICO INTERPRETADO

CAMADA	PROF. (m) de Base	PROF. (m) de Topo	RESISTIVIDADE (ohm.m)	INTERPRETAÇÃO
1	0	0.579	98,5	Horizonte Areno-Argiloso, Zona não Saturada
2	0,579	1,35	2723	Horizonte Arenoso, Zona não Saturada
3	1,35	5,25	697	Horizonte Arenoso, Zona Capilar N.A
4	5,25	11,7	586	Horizonte Areno-Argiloso, com Saturação Crescente Descendente
5	11,7	-	34,9	

PERFIL DE SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL - SEV

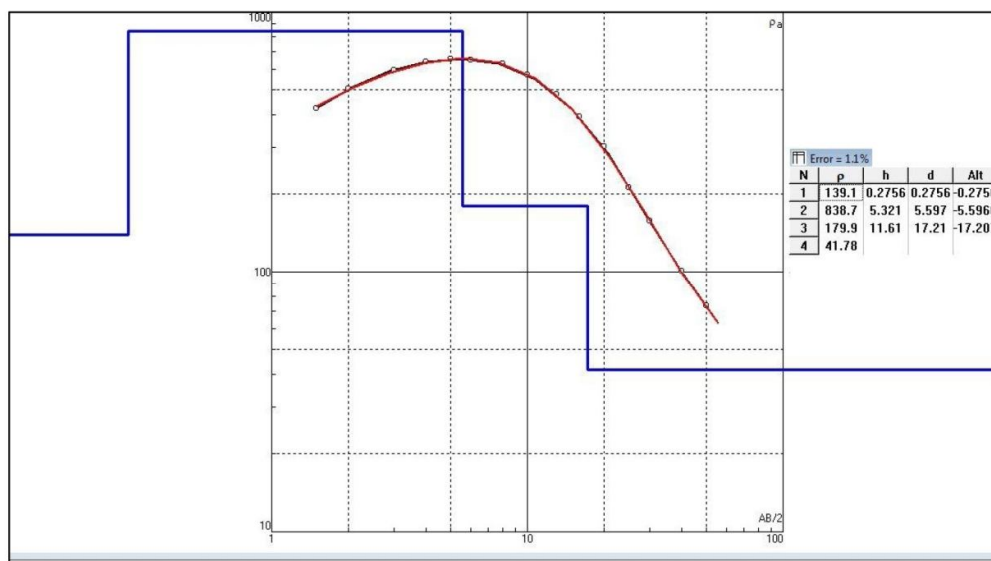
NOME: **SEV-L20-60**

COORDENADAS UTM: 246853,824 / 7570607,893

LOCAL: Campus da USP no município de Pirassununga-SP.

DADOS DE CAMPO					FORMULAS DE CÁLCULO	
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	$\Delta V/I$ (m Ω)	ρ (Ω)	$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad K = \frac{\pi \cdot (\overline{AM} \cdot \overline{AN})}{\overline{MN}}$	
1,5	0,5	6,28	67,6	424.50		
2	0,5	11,78	42,8	504.20		
3	0,5	27,48	27,7	596.30		
4	0,5	49,48	12,94	640.30		
5	0,5	77,75	8,45	657,00		
6	0,5	112,31	6,08	622.80	MORFOLOGIA DA CURVA Três camadas geoeletricas, Tipo: $K (\rho_1 < \rho_2 > \rho_3)$	
8	0,5	200,27	3,14	628.80		
10	0,5	313,37	1,83	573.50		
13	0,5	530,14	0,904	479.20		
16	0,5	803,46	0,493	396.10		
20	0,5	1255,85	0,241	302.60		
25	0,5	1962,71	0,1079	211.80		
30	0,5	2826,64	0,0555	156.90		
40	0,5	5025,76	0,02	100.90		
50	0,5	7853,19	0,0094	73.80		

DADOS PLOTADOS E PROCESSADOS



MODELO GEOELÉTRICO INTERPRETADO

CAMADA	PROF. (m) de Base	PROF. (m) de Topo	RESISTIVIDADE (ohm.m)	INTERPRETAÇÃO
1	0	0,2756	139,1	Horizonte Areno-Argiloso, Zona não Saturada
2	0,2756	5,597	838,7	Horizonte Arenoso, Zona Capilar N.A
3	5,597	17,21	179,9	Horizonte Areno-Argiloso, com Saturação Crescente Descendente
4	17,21	-	41,78	

ANEXO II

TABELA DE TRATAMENTO ESTATÍSTICO E HISTOGRAMAS

<i>Análise Estatística</i>	n1	n3	n5	n7
Média	789,23	636,40	485,44	342,93
Erro padrão	18,34	21,72	20,48	17,13
Mediana	787,14	604,47	473,95	318,49
Desvio padrão	235,55	268,65	245,81	194,56
Variância da amostra	55484,16	72174,24	60420,24	37854,97
Curtose	-0,42	-1,25	-1,28	-0,79
Assimetria	-0,10	0,08	0,23	0,47
Intervalo	1094,03	1001,51	941,69	836,42
Mínimo	242,64	165,30	134,59	45,95
Máximo	1336,67	1166,81	1076,28	882,37
Soma	130223,29	97369,54	69902,92	44237,78
Contagem	165	153	144	129,00
Nível de confiança(95,0%)	36,21	42,91	40,49	33,90

Tabela II.i. Tratamento estatístico dos dados.

