

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Geociências - IGc

Monografia

**Deteção e Mapeamento de Contaminação do Subsolo por Poluentes Oriundos de
Lagoas de Disposição de Resíduos**

TF-18/20

Aluno: José Guilherme dos Santos

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

São Paulo

2018

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família, por ser uma base de apoio, amor e compreensão durante toda minha trajetória. Sou extremamente grato à minha mãe Claudia, que me alfabetizou em casa e sempre estimulou a minha curiosidade pelo mundo. Desde de criança já saia em busca de enciclopédias pra sanar minhas dúvidas mais aleatórias, sempre participando da minha educação na escola, indo atrás de bolsas de estudo para dar uma melhor oportunidade de ensino pra mim e principalmente por sempre estar aberta a diálogos que me tornaram quem sou hoje. Ao meu pai Aparecido, que sempre fez das tripas coração para dar o melhor para nossa família, sempre colocando nosso bem à frente de qualquer coisa e se mostrando um exemplar de trabalhador dedicado, honesto e responsável. À minha irmã Letícia, pelo carinho e alegria durante nosso crescimento e também por se mostrar um exemplo de força mesmo com grandes adversidades na vida. Ao meu namorado Nicolas, por ser tão companheiro e presente no meu dia-a-dia, sempre me encorajando, ajudando e colocando um sorriso no meu coração. À minha vó Dita pelas orelhas de burro sempre quentinhas quando ia chegava para visitar; ao meu avô Antero pelas conversas na sacada observando a praça; ao meu vô João pelos muitos causos e risadas partilhadas. Aos meus tios Gilmar, Paca, Silsa, Joãozinho, Silso e Maria; aos meus primos que partilharam brincadeiras e risadas no nosso crescimento.

Aos meus amigos que tornaram a minha caminhada mais leve, badalada e feliz. Os de São José que sempre tem um lugar no meu coração e na minha casa por onde quer que eu vá. Ao Rodrigo, que já faz minha programação cultural e é colega de shade desde a sexta série. Ao Lucas, por sempre carregar essa alegria que preenche qualquer cômodo que ele adentre e sempre nos coloca pra cima e sempre cuidando de quem está por perto. A Mah, por sempre ser essa canceriana cheia de amor, que acolhe, defende e briga por nós. Ao Math, pelas risadas de faltar o ar, laricas da madrugada e rolês do perigon. À Eme, pelas muitas festas, risadas e conselhos. Ao Bruninho pelos bons drinks partilhados. Ao Bruno, pela eterna disposição pro rolê e o amor partilhado pela mother monster.

Aos amigos que a USP me trouxe, por me acompanharem nesse período de grandes mudanças e desconstruções. Gostaria de ressaltar o quanto admiro as mulheres da Geologia, por sempre resistirem num ambiente no qual para ser ouvida e respeitada é preciso ultrapassar muitos obstáculos. À Cruz, pelos vinhos partilhados, risadas e conselhos dados. À Xica, por topar sempre ir pras festas, ser companheira na academia e principalmente por derreter esse coração caprica pra mim. À Ymps, pelos abraços calorosos e conversas enriquecedoras. À Peps, por todo apoio nesse trabalho, risadas e conversas. À Fu, por ser esse amor em forma de ser humano, sempre preocupada em ver todo mundo bem e ajudar a todos. À Porks, minha irmãzinha de trabalho de formatura. Ao Rhenan, que partilhou uma casa comigo e se tornou família também. E aos tantos outros da Geologia com os quais tive

a oportunidade de conviver e partilhar boas experiências: Bamby, Maria, Pinga, Gari, Pedrita, Lys, Putão, Micoze, The, Comi, Narubia, Rapha, Tenia, Ariadna, Manja, Consti, Xana, Vads, Meia, Carol, Bukaki, Milani, Avatar, Mãeloka, Bug, Pika, Bandida, Fedida, Meti, Arregão, Dama, Mila, Murtinha.

Aos meus amigos de Budapest, minha eterna gratidão por estarem ao meu lado nessa caminhada que trouxe enormes mudanças nas nossas vidas. À Julia, por partilhar um lar comigo e me mostrar lados diferentes do mundo. Ao Fernando, pelo jeito pisciano que é puro amor. À Bia, pelas conversas existências em torno dos filmes e músicas. Ao Ryan, pela eterna disposição pra festejar. Ao PH, por ser esse espírito livre que admiro tanto. Ao Igor, pelo shade na ponta da língua, mas sempre cheio de afeto. À Bruna, pelo seu jeito tão amável e afetuoso. À Flavia, por ser a personificação da alegria. À Camila, por sempre trazer uma paz de espírito contagiante. À Lenu, pela arte compartilhada e calma partilhada. Ao Lucas, pelos muitos closes compartilhados. Ao Nélber, por ser minha companheira de cozinha e academia. Ao Elton, por toda sua arte e alegria. Ao Jeff, pela energia contagiante que carrega. Não poderia deixar de agradecer também a Presidente Dilma e então Ministro da Educação Fernando Haddad, pela criação do programa Ciências Sem Fronteiras, o qual possibilitou um enriquecimento imensurável para os estudantes contemplados pelo programa.

Meu grande agradecimento aos funcionários do IGc, uma vez que sem vocês esses anos de estudos não seriam possíveis. Muito obrigado aos professores, porteiros, responsáveis pela limpeza, biblioteca, laboratórios e motoristas.

Agradeço muitíssimo também ao Professor Gallas, pela excelente orientação, sempre disposto a esclarecer minhas dúvidas de maneira atenciosa e regada de bom humor. E também ao Fernando e Paulinho, por todo auxílio prestado durante o trabalho de campo.

Aluno: José Guilherme dos Santos

De acordo.

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

Sumário

1. IDENTIFICAÇÃO	1
2. RESUMO	1
3. ABSTRACT	1
4. INTRODUÇÃO	2
5. METAS E OBJETIVOS	6
6. TRABALHO PRÉVIOS	6
6.1 Geologia	6
6.2 Trabalhos Anteriores.....	7
7. MATERIAIS E MÉTODOS	8
7.1 Caminhamento elétrico (CE)	9
7.2 Sondagem elétrica vertical (SEV).....	10
7.3 Ensaio de Campo.....	10
7.4 Tratamento de Dados	12
8. RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÕES PRELIMINARES	13
8.1 Caminhamento Elétrico (CE).....	13
8.2 Sondagem Elétrica Vertical (SEV).....	21
9. CONCLUSÕES	24
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. IDENTIFICAÇÃO

Projeto/Nº: Detecção e Mapeamento de Contaminação do Subsolo por Poluentes Oriundos de Lagoas de Disposição de Resíduos / TF-18/20.

Aluno: José Guilherme dos Santos.

Orientador: Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas.

2. RESUMO

Os problemas ambientais estão em constante pauta no cenário mundial, sendo estes desencadeados por ações antrópicas. Neste campo, a água subterrânea tem muito destaque, uma vez que tal bem é primordial para humanidade. Tal recurso mineral pode ser poluído em consequência do armazenamento inadequado de poluentes provenientes de resíduos industriais, depósitos de resíduos sólidos e matadouros. Neste presente estudo, é investigada uma lagoa de dejetos em que estes contaminantes sem estocagem correta atingem níveis de águas subterrâneas e superficiais.

A fim de delimitar pluma de contaminante, foram utilizados métodos geoeletricos. Esses, com destaque para Sondagem Elétrica Vertical e Caminhamento Elétrico, apresentaram resultados muito satisfatórios para delimitação da pluma e definição do nível d'água. Tais dados foram comparados com resultados obtidos e processados na mesma área em anos anteriores, assim também foi possível observar a evolução da pluma em momentos distintos.

3. ABSTRACT

Environmental problems occasioned by anthropic actions have been constantly discussed. In this field, groundwater has a lot of emphasis, since such good is essential for humanity. Such mineral resource can be polluted as a result of inadequate storage of pollutants from industrial waste, solid waste deposits and slaughterhouses. In the present study, a pond of waste in which these contaminants without proper storage reach levels of groundwater is investigated.

In order to delimitate the contaminant, geoelectric methods have been used. These, with emphasis on vertical electrical sounding and electric profiling, presented very satisfactory results for the delimitation of the anomaly and definition of the water level. This data was compared with results obtained and processed in the same area in previous years, so it was also possible to observe the evolution of the anomalies in different moments.

4. INTRODUÇÃO

A geofísica é uma ferramenta de possível aplicação nos mais diversos campos da geologia. Dentre eles, pode-se destacar sua eficiência para caracterização de problemas ambientais. Os métodos/técnicas geofísicos são ferramentas indiretas de prospecção e podem ser considerados um excelente apoio no campo ambiental, tendo em vista seu custo baixo relativo, rápida obtenção de dados e não se tratar de um processo invasivo.

Segundo Cetesb (2017), os métodos geofísicos de investigação proporcionam informações sobre o meio físico, sobre a natureza e a distribuição das substâncias químicas de interesse em situações de incertezas quanto à identificação, caracterização e localização de áreas contaminadas, áreas fonte e/ou das fontes potenciais de contaminação associadas a essas áreas fonte.

Para delimitação de plumas de contaminação, é muito indicado valer-se da Eletrorresistividade, com técnicas como o Caminhamento Elétrico e a Sondagem Elétrica Vertical. Esses, além de determinar a pluma de contaminação, também nos indicam o nível d'água e estabelecem correlações com a geologia em subsuperfície, podendo identificar falhas e fraturas, por exemplo. No presente caso, podem indicar um subsolo com maior ou menor conteúdo de argilas, além da presença de contaminantes (Nero et al., 2016; Gallas, 2010; Saraiva, 2010; Becegato et al., 2009).

A pesquisa deste trabalho de formatura tem por objetivo definir a pluma de contaminação do subsolo à jusante de uma das lagoas da área, gerada pela disposição de resíduos oriundos da suinocultura, matadouro-escola e da fábrica de laticínios localizados no terreno da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP Pirassununga (FZEA) delimitada pelo retângulo azul na Figura 2. Esta foi executada no âmbito da disciplina Geofísica Aplicada ao Estudo de Poluição Subterrânea (GSA0519) ministrada pelo Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas entre os dias 9 e 13 de abril.

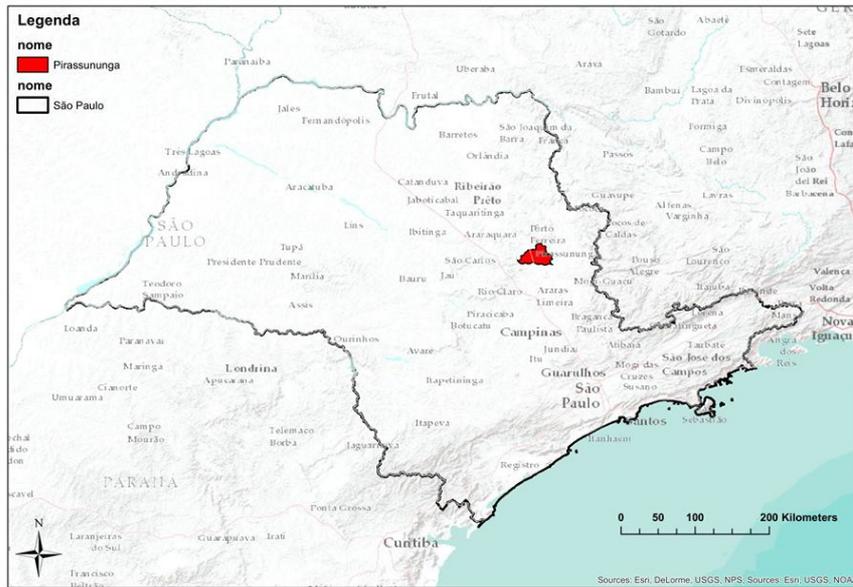


Figura 1: Localização de Pirassununga no Estado de São Paulo.

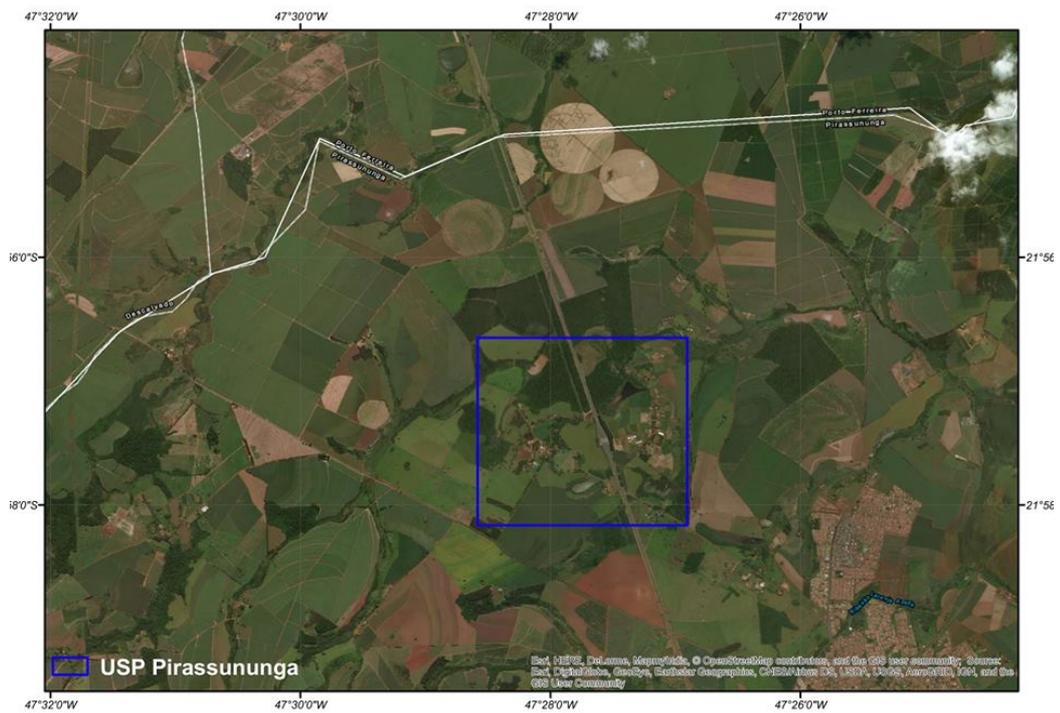


Figura 2: Localização do campus USP em Pirassununga.

A princípio foram pré-selecionadas três lagoas (1, 2 e 3), as quais são ambientes de disposição de resíduos provenientes dos lugares mencionados anteriormente, localizados na Figura 3. Com a execução da etapa de trabalho de campo definiu-se a área de estudo como sendo a Lagoa 1 (Figura 4), uma vez que a mesma apresenta maior facilidade no acesso, sem vegetações intensas que atrapalhassem a obtenção dos dados necessários. Nela, temos

uma lagoa de disposição dos resíduos da fábrica de laticínios da FZEA, área na qual foi delimitada uma pluma de contaminação em 2014 por meio dos mesmos métodos empregados neste Trabalho de Formatura (Perez, 2014).

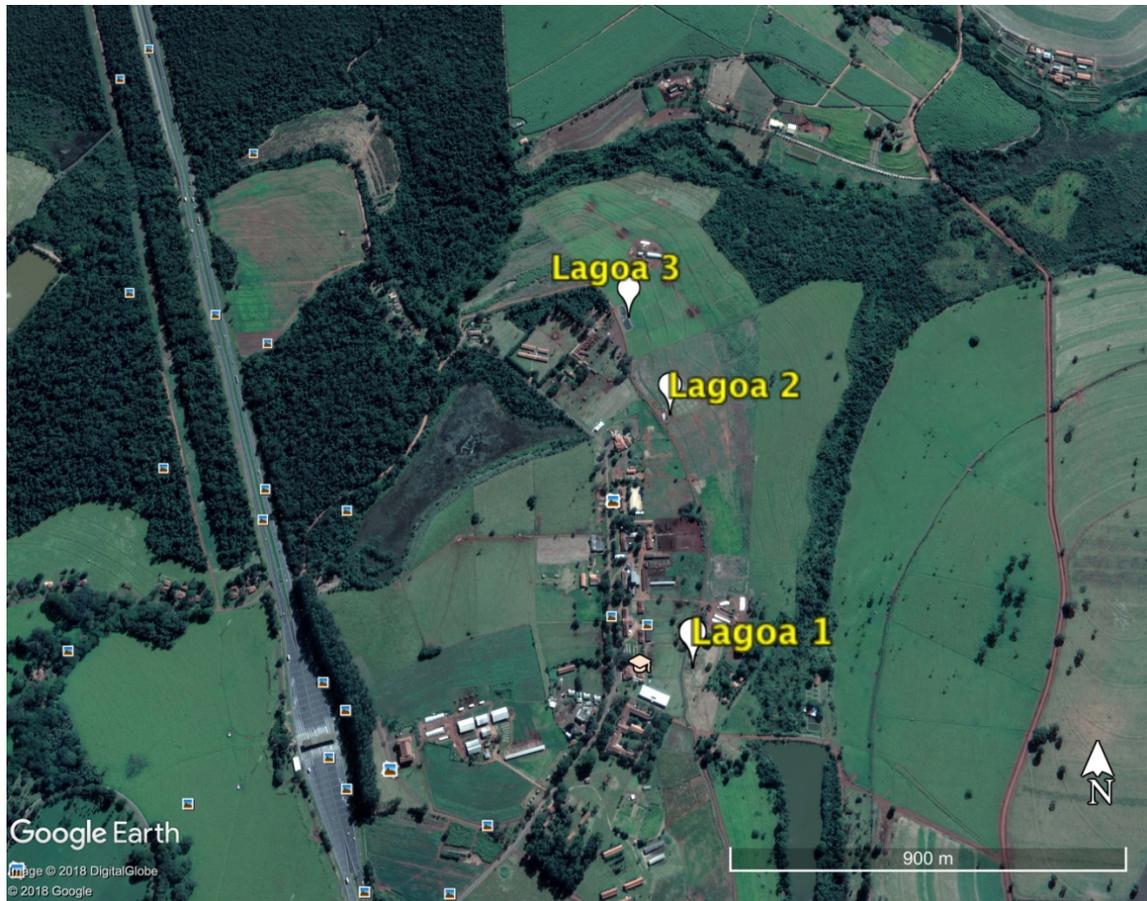


Figura 3: Localização da área de estudo. Extraído do Google Earth.

Na atividade de campo foram realizados três perfis de caminhamento elétrico (CE) com o arranjo dipolo-dipolo, denominados Linhas 1, 2 e 3 indicadas na Figura 4, e também três sondagens elétricas verticais (SEV) empregando-se o arranjo *Schlumberger*, uma vez que, com base na bibliografia consultada, em especial os trabalhos anteriores desenvolvidos na área, estes mostraram-se os arranjos mais adequados. A Figura 5 mostra em detalhe a Lagoa 1, escolhida para a realização do trabalho. Os processamentos de dados foram operados nos programas RES2DINV, IPI2win e Surfer 8. O primeiro faz a inversão de dados 2D para o caminhamento elétrico, o segundo efetua a inversão de dados 1D para as sondagens elétricas verticais e o último é um programa muito eficiente para a interpolação de dados.

Os dados obtidos estão sendo apresentados na forma de pseudo-seções e seções modeladas 2D de resistividade e também como mapas e simulações 3D de resistividade.

As SEVs são apresentadas na forma de curvas de resistividade 1D onde é indicada a profundidade do nível d'água e as possíveis correlações litológicas com os estratos geoeletricos.



Figura 4: Linhas 1, 2 e 3 nas quais foram realizadas as SEVs e os CEs. Extraído do Google Earth.



Figura 5: Visão interna da Lagoa 1 de disposição de resíduos da fábrica de laticínios.

5. METAS E OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo definir a pluma de contaminação das águas subterrâneas à jusante de uma das lagoas da Figura 3 por conta da disposição de resíduos oriundos dos matadouros e laboratórios da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP Pirassununga (FZEA), sendo escolhida a Lagoa 1 por conta de seu acesso. Inicialmente também foi proposta uma comparação dos dados obtidos com os de trabalhos anteriores, meta que foi possível atingir com a lagoa selecionada para o trabalho. Tal caracterização foi realizada por meio de métodos geofísicos, os quais, além de determinar a pluma de contaminação, também nos indicam o nível d'água, e estabelecem correlações com a geologia em subsuperfície e, no presente caso, podem indicar um subsolo com maior ou menor conteúdo de argilas.

6. TRABALHO PRÉVIOS

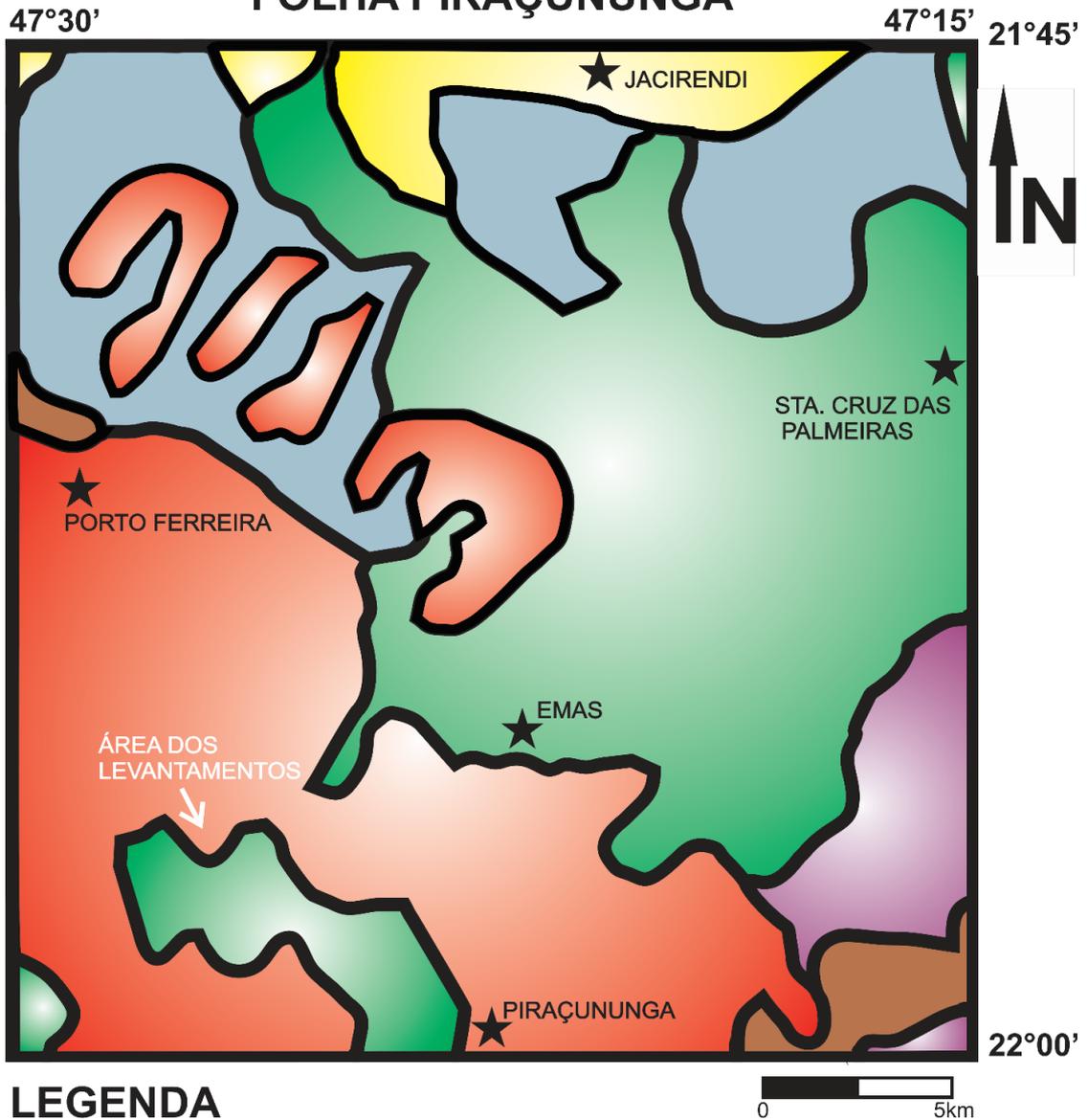
6.1 Geologia

A área de estudo encontra-se localizada próximo à borda leste da Bacia do Paraná, a qual foi definida como sendo uma bacia sedimentar intracratônica onde as acumulações sedimentares seguem do Neo-Ordoviciano até o Neocretáceo, segundo autores como Zalán et al (1999) e Milani e Ramos (1998).

Para Massoli (1983), a área em questão é composta pela Formação Piraçununga (areias do terciário), Formação Pirambóia (arenitos do Triássico), Formação Corumbataí (siltitos do Permiano), Grupo Tatuí (siltitos e argilitos do Permiano), além de intrusões de diabásio.

Ainda segundo Massoli (1983), 70% da área é composta por diabásio e pela Formação Piraçununga. Já a Formação Corumbataí encontra-se aflorando mais na porção norte da Folha Piraçununga sendo recoberta pela Formação Piraçununga e com a Formação Pirambóia mais evidenciada na porção norte e o Grupo Tatuí mais a sudeste como pode ser observado na Figura 6.

MAPA GEOLÓGICO DA FOLHA PIRAÇUNUNGA



LEGENDA

	QUATERNÁRIO		CONTATO GEOLÓGICO
	FM. PIRAÇUNUNGA		CIDADE
	FM. PIRAMBÓIA		
	FM. CORUMBATAÍ		
	GRUPO TATUÍ		
	DIABÁSIO		

Figura 6: Mapa Geológico da Folha Piracununga. (Original de Perez, 2014, modificado de Massoli, 1983).

6.2 Trabalhos Anteriores

A literatura que embasa os estudos de pluma de contaminação e sua definição por métodos geoeletricos é muito vasta, a mesma aborda o tema amplamente nos aspectos teóricos e práticos, tendo diversas vezes exemplos de aplicações de tais técnicas em 7

situações muito semelhantes ao projeto que será desenvolvido neste Trabalho de Formatura. Desta forma, tais estudos serão incorporados no decorrer da execução do mesmo.

Gallas (2000) em sua tese de doutorado aborda a aplicação de métodos como eletrorresistividade, potencial espontâneo (SP) e polarização induzida (IP) direcionados a hidrogeologia, prospecção mineral, geologia de engenharia e ambiental. Especificamente, a questão ambiental é abordada no caso da pluma de contaminação oriunda do chorume do Lixão do Alvarenga.

Gallas et al (2005) desenvolveram ensaios geofísicos de eletrorresistividade com caminhamento dipolo-dipolo à jusante do aterro sanitário do município de Londrina objetivando a delimitação da pluma de contaminação gerada por conta do chorume.

Becegato et al (2009) realizaram um estudo para a Prefeitura do município de Saudade do Iguaçu, localizado no estado do Paraná. Tal trabalho valeu-se da técnica de caminhamento elétrico com o arranjo dipolo-dipolo a fim de delinear a possível pluma de contaminação na área de um depósito de lixo já desativado.

Silva e Malagutti Filho (2009) abordam a aplicação de técnicas de sondagem elétrica vertical e imageamento elétrico a fim de delimitar a pluma de contaminação resultante do neochorume oriundo do cemitério da Vila Rezende localizado no município de Piracicaba.

Saraiva (2010) por meio de métodos geofísicos pode caracterizar o comportamento da pluma de contaminação de necrochorume proveniente de carcaças enterradas no campus da USP Pirassununga. A apresentação dos resultados de sua tese de doutorado que mostram a eficácia da aplicação de métodos geoeletricos para delimitação de plumas de contaminação.

Paes (2017) e Barbosa (2012) realizaram Trabalhos de Formatura na mesma área de estudos, os quais envolveram a utilização de métodos geofísicos a fim de também caracterizar a pluma de neochorume proveniente das lagoas de disposição de carcaças dos matadouros. Ambos estudos obtiveram resultados satisfatórios com o emprego das técnicas geoeletricas.

7. MATERIAIS E MÉTODOS

A eletrorresistividade é um método geofísico em que é empregada uma corrente elétrica artificial no terreno a ser analisado, a qual é introduzida por dois eletrodos. Outros dois eletrodos são dispostos na área estudada a fim de mensurar o potencial gerado nos mesmos.

Por meio das relações da disposição geométrica dos eletrodos no terreno, corrente elétrica gerada e do potencial elétrico é possível definir a resistividade aparente em subsuperfície.

7.1 Caminhamento elétrico (CE)

De acordo com Gallas (2005), a técnica do caminhamento elétrico (CE) consiste em analisar as variações de eletrorresistividade horizontais do terreno, em uma ou mais profundidades, sendo muito útil para identificar fraturas, falhas, diques, mineralizações, contatos geológicos verticais ou inclinados e também na caracterização de aquíferos.

No desenvolvimento deste Trabalho de Formatura, o arranjo empregado durante a execução do mesmo foi o dipolo-dipolo.

Segundo Becegato et al. (2009), os caminhamentos são realizados ao longo de linhas. Os eletrodos de corrente A e B devem ser dispostos numa mesma linha com uma distância X, assim como os eletrodos de potencial M e N que serão dispostos ao longo da linha distando X entre si (dipolo-dipolo, onde $AB=MN=X$). Conforme avançamos com os eletrodos de potencial, um nível diferente é analisado como indicado na Figura 7. O caminhamento continua com o deslocamento de AB na mesma linha e assim é repetido o procedimento em relação aos eletrodos de potencial.

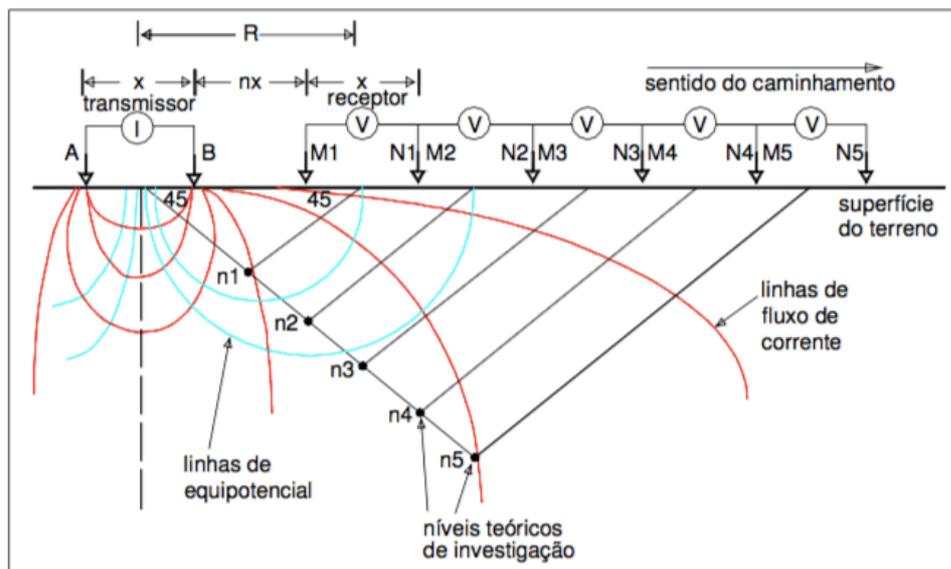


Figura 7. Procedimento do caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo indicando os eletrodos de corrente (A e B), de potencial (M e N), linhas de equipotencial, de corrente e níveis teóricos de investigação. Extraído de Becegato et al., 2009.

7.2 Sondagem elétrica vertical (SEV)

A técnica da sondagem elétrica vertical (SEV) consiste em verificar as heterogeneidades das resistividades verticalmente. Fornece informações sobre as espessuras dos litotipos, bem como a profundidade do nível d'água (Gallas, 2005).

Na execução do trabalho de campo foi utilizado o arranjo *Schlumberger* (Figura 8), o qual consiste em manter um centro **O** fixo, assim como os eletrodos de potencial **M** e **N**. Já os eletrodos de corrente **A** e **B** têm suas distâncias de aberturas ampliadas conforme se deseja investigar uma profundidade maior do terreno, sempre mantendo os eletrodos numa mesma linha (Gallas, 2005).

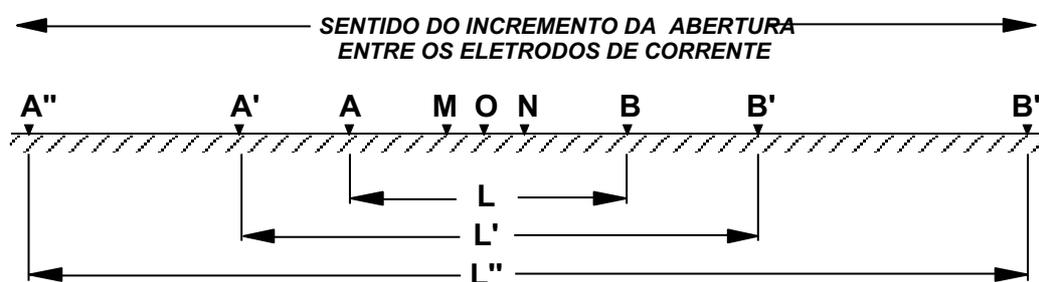


Figura 8: Arranjo Schlumberger (original de Gallas, 2000).

7.3 Ensaio de Campo

Para o emprego das técnicas de Sondagem Elétrica Vertical e Caminhamento Elétrico foram utilizados fios, GPS, bússola, trenas, eletrodos, e resistímetro Terrameter SAS 300B da ABEM Instruments, os quais foram disponibilizados pelo LATEC/CEPAS e podem ser observados na Figura 9.

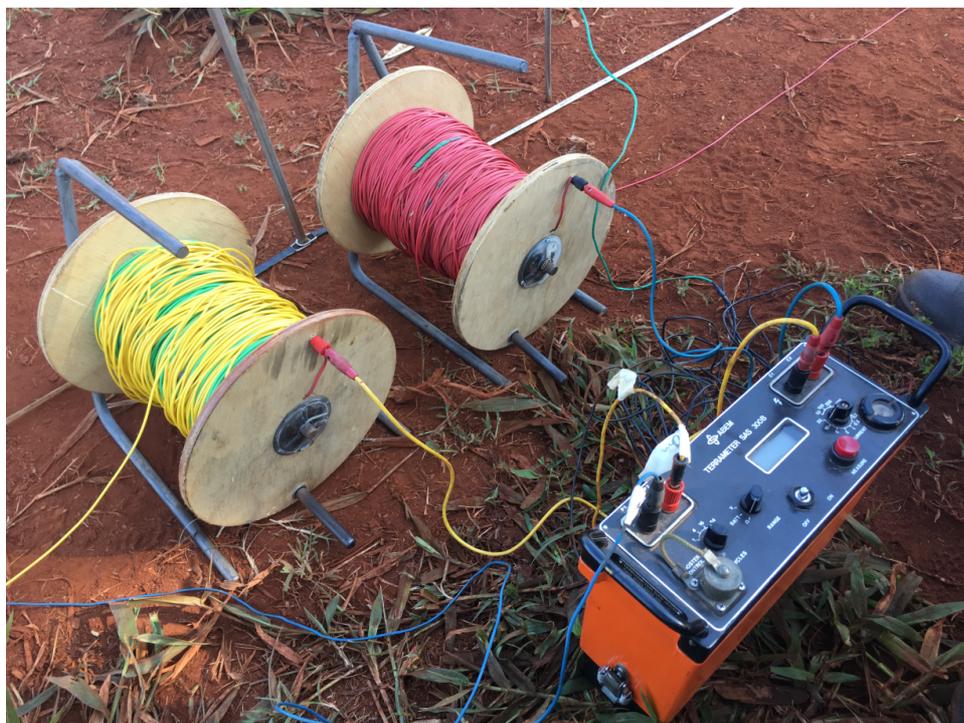


Figura 9: Fios e Resistivímetro utilizados em campo.



Figura 10: Operação do equipamento em campo.

Foram executados três perfis caminamento elétrico (CE) com o arranjo dipolo-dipolo e também três sondagens elétricas verticais (SEV) seguindo o arranjo *Schlumberger* distando cada perfil 15 metros, como observado na Figura 4.

Para o Caminhamento Elétrico foi utilizada uma abertura $AB=MN=10m$ e 6 níveis de investigação. Já para a Sondagem Elétrica Vertical foi utilizada uma abertura inicial $AB/2=1,5m$ chegando a abertura final de até $AB/2=60m$.

7.4 Tratamento de Dados

Os dados adquiridos em campo foram organizados numa tabela do Excel e tratados nos softwares IPI2win, RES2DINV e Surfer 8.

No CE são efetuadas diversas medidas que refletem diferentes profundidades, elaborando pseudo-seções de resistividades aparentes. Para Hallof (1957), cada ponto plotado na seção estará na intersecção de linhas que partem do centro dos dipolos de corrente e potencial com um ângulo de 45° em relação à horizontal (Figura 7). Sendo assim, a profundidade teórica do nível de investigação deve ser igual à metade da distância entre os centros dos dipolos.

Para a elaboração de seções modeladas de resistividade utiliza-se de softwares de inversão em 2D. Neste projeto foi utilizado o programa RES2DINV desenvolvido pela Geotomo Software, que cria um modelo bidimensional de resistividade sem que sejam necessárias informações geológicas prévias. Este programa emprega o método de inversão por mínimos quadrados com vínculo de suavidade. O programa costuma reduzir os dados de entrada – 06 níveis teóricos de investigação – para 05 níveis modelados.

Na sequência para processamento dos dados dos CEs, esses foram interpolados utilizando o método de Krigagem por meio do software Surfer 8. Esse elabora perfis, mapas 2D e blocos diagrama a partir dos dados gerados pelo software e são traçadas linhas de isovalores.

Os valores de resistividade aparente obtidos para cada abertura dos eletrodos AB nas SEVs são plotados já durante a etapa de campo em um gráfico bi-logarítmico de abertura $AB/2$ versus resistividade (ρ). A interligação desses pontos gera uma curva de resistividade aparente onde se observam as variações de resistividade que identificam os estratos geoeletricos de maneira muito rápida. Tais dados foram tratados no software IPI2win cujo algoritmo de inversão matemática elabora uma curva ajustada de resistividade em uma dimensão a qual pode ser modificada manualmente pelo intérprete a fim de definir os estratos geoeletricos de forma mais coerente.

8. RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÕES PRELIMINARES

8.1 Caminhamento Elétrico (CE)

Com os dados obtidos em campo organizados numa tabela Excel, esses são modelados e exportados pelo software RES2DINV e interpolados por meio do Surfer 8. Desta forma, foram obtidas pseudo-seções de resistividades aparentes e seções de resistividades modeladas observadas nas Figuras 11a, 11b, 12a, 12b, 13a e 13b. Os valores das distâncias foram plotados como números negativos, por imposição dos softwares, para que as posições em campo não fossem invertidas. A partir das pseudo-seções e seções modeladas foi possível identificar valores mais baixos de resistividades, correlacionáveis à pluma. Essa pode ser localizada lateralmente entre os pontos 60 e 120 m, muito próxima à fonte de contaminação, e estendendo-se em profundidades até 20 m, notadamente nas Linhas 2 e 3.

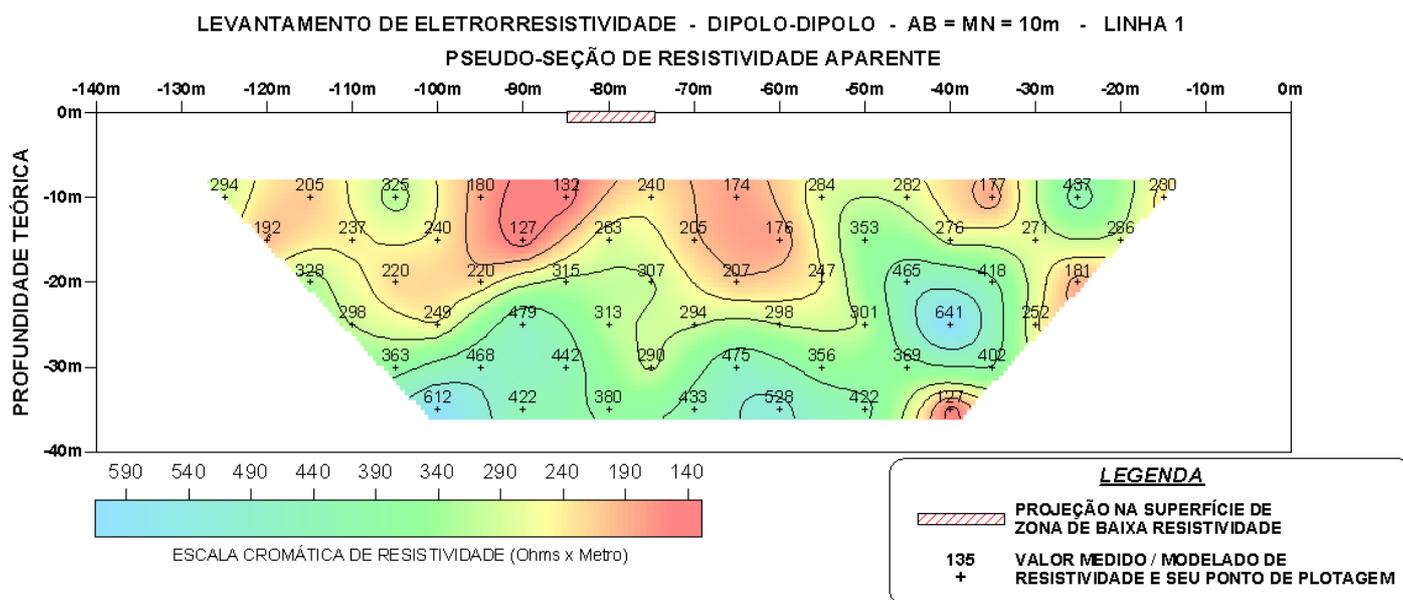


Figura 11a: Pseudo-seção de resistividade aparente da Linha 1. Elaborada no Surfer 8.

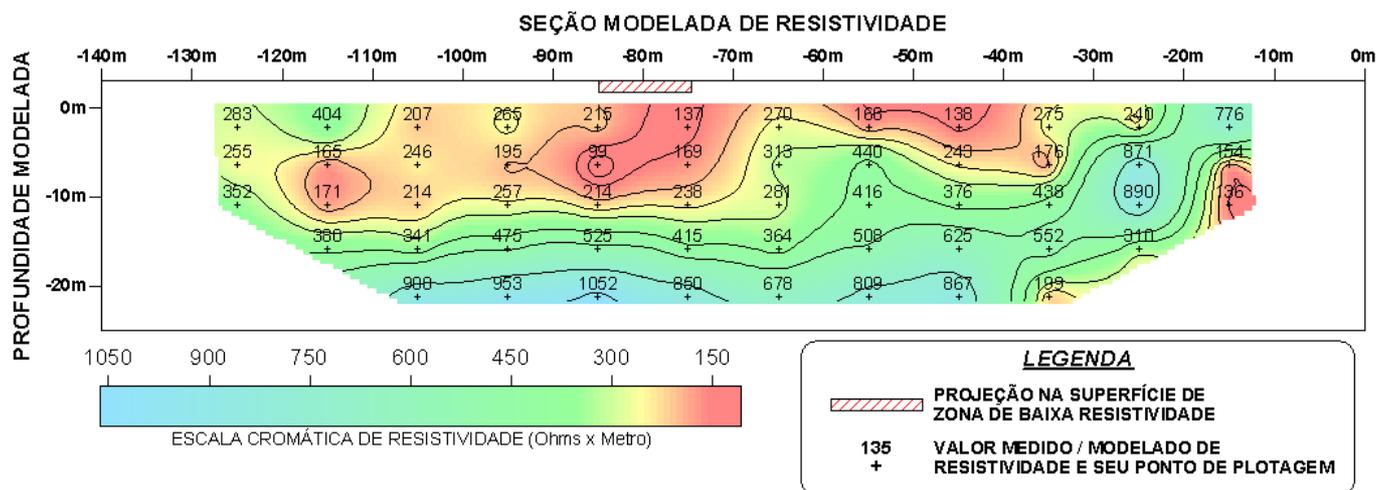


Figura 11b: Seção de resistividade aparente da Linha 1. Elaboradas no Surfer 8.

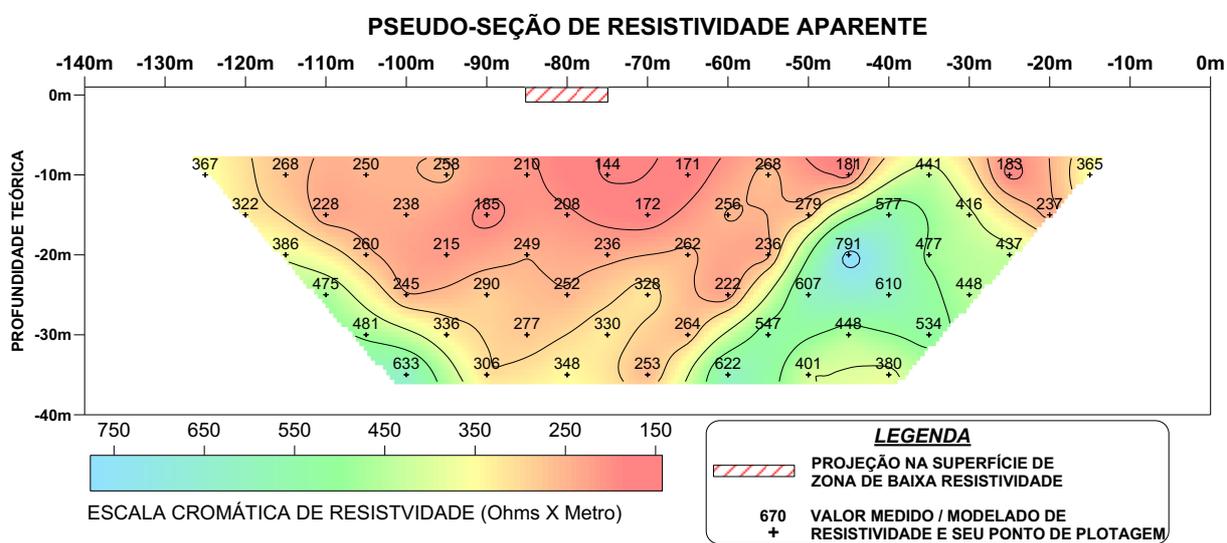


Figura 12a: Pseudo-seção de resistividade aparente da Linha 2. Elaboradas no Surfer 8.

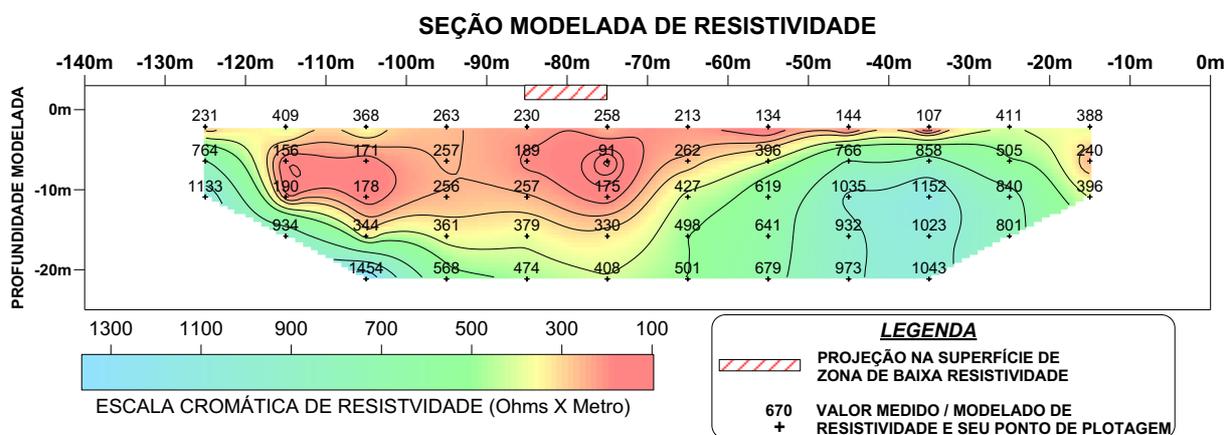


Figura 12b: Seção de resistividade aparente da Linha 2. Elaboradas no Surfer 8.

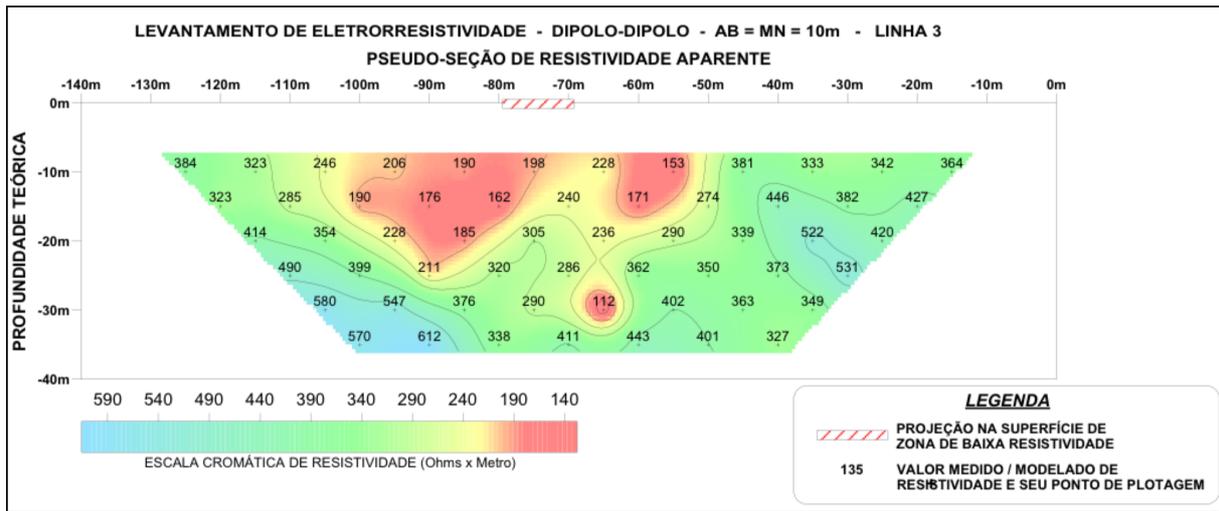


Figura 13a: Pseudo-seção de resistividade aparente da Linha 3. Elaboradas no Surfer 8.

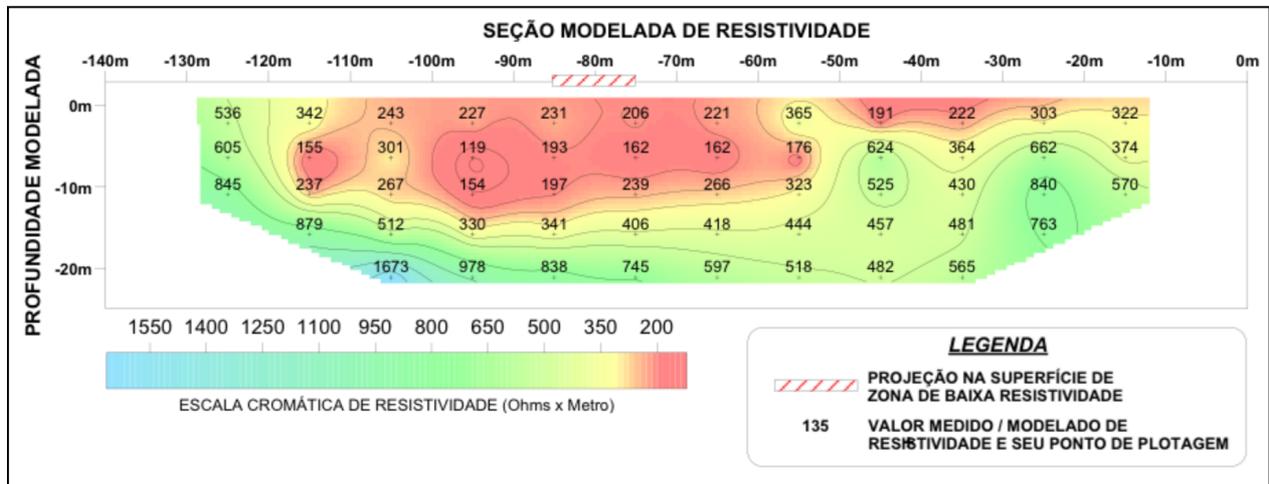


Figura 13b: Seção de resistividade aparente da Linha 3. Elaboradas no Surfer 8.

Foi possível também elaborar mapas 2D de resistividade modelada (Figuras 14a, 15a, 16a, 17a e 18a) e blocos diagrama de 5 níveis (Figuras 14b, 15b, 16b, 17b e 18b). Nestes, valores mais baixos de resistividades também podem ser correlacionados com a pluma de contaminação. Esses se concentram aproximadamente entre as estacas de -50 e -120 m, sendo muito frequentes até o nível 4. Os valores de baixa resistividade localizados próximos a estaca de -10 m são provavelmente consequência de diferenças litológicas na área de estudo.

MAPA DA RESISTIVIDADE MODELADA DO NÍVEL 1 - 0 A 4,27m

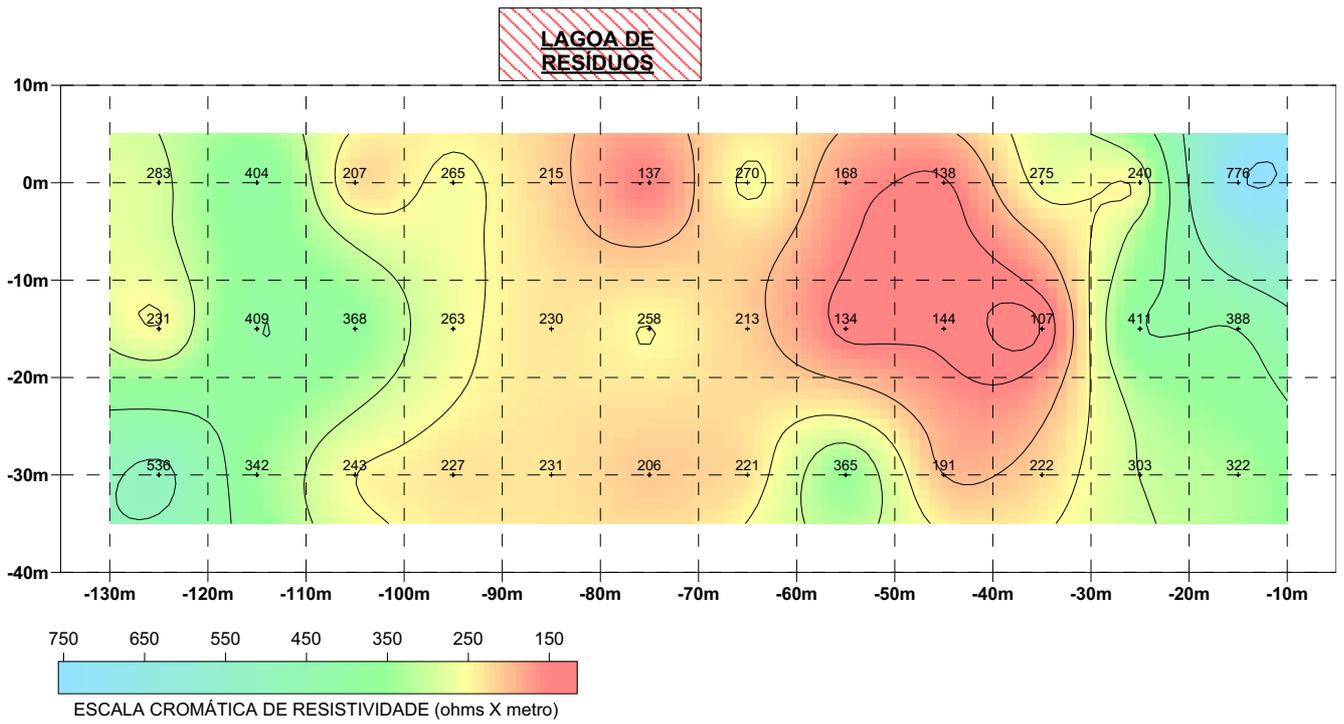


Figura 14a: Mapa da resistividade modelada do nível 1.

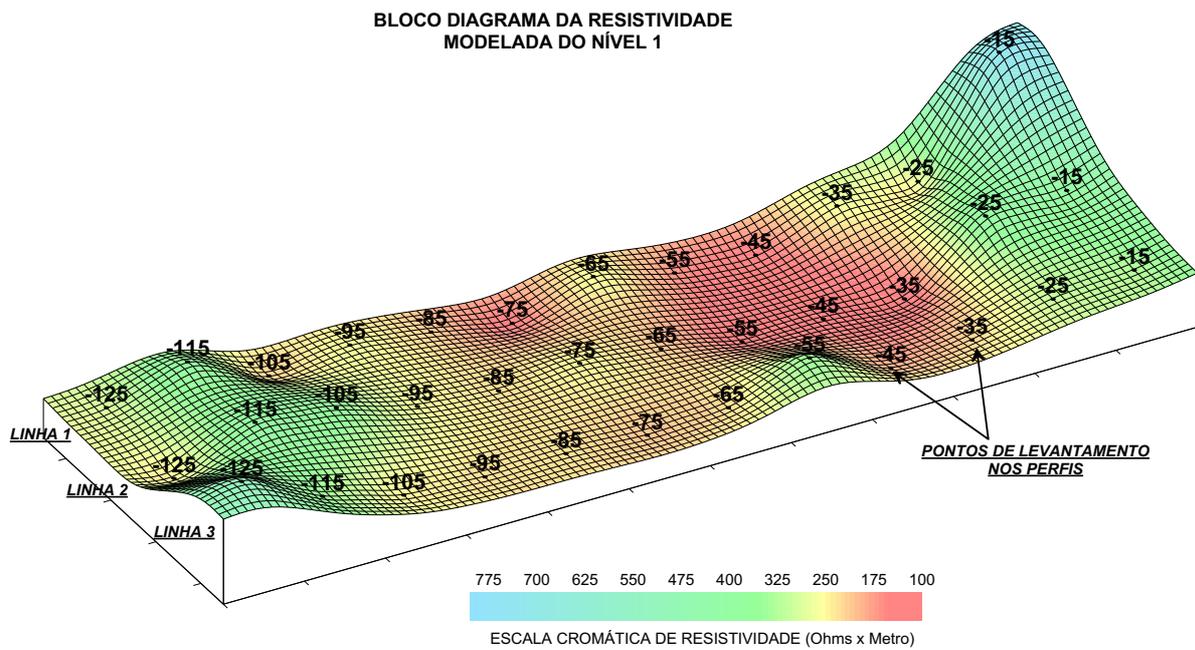


Figura 14b: Bloco diagrama da resistividade modelada do nível 1.

MAPA DA RESISTIVIDADE MODELADA DO NÍVEL 2 - 0 A 7,64m

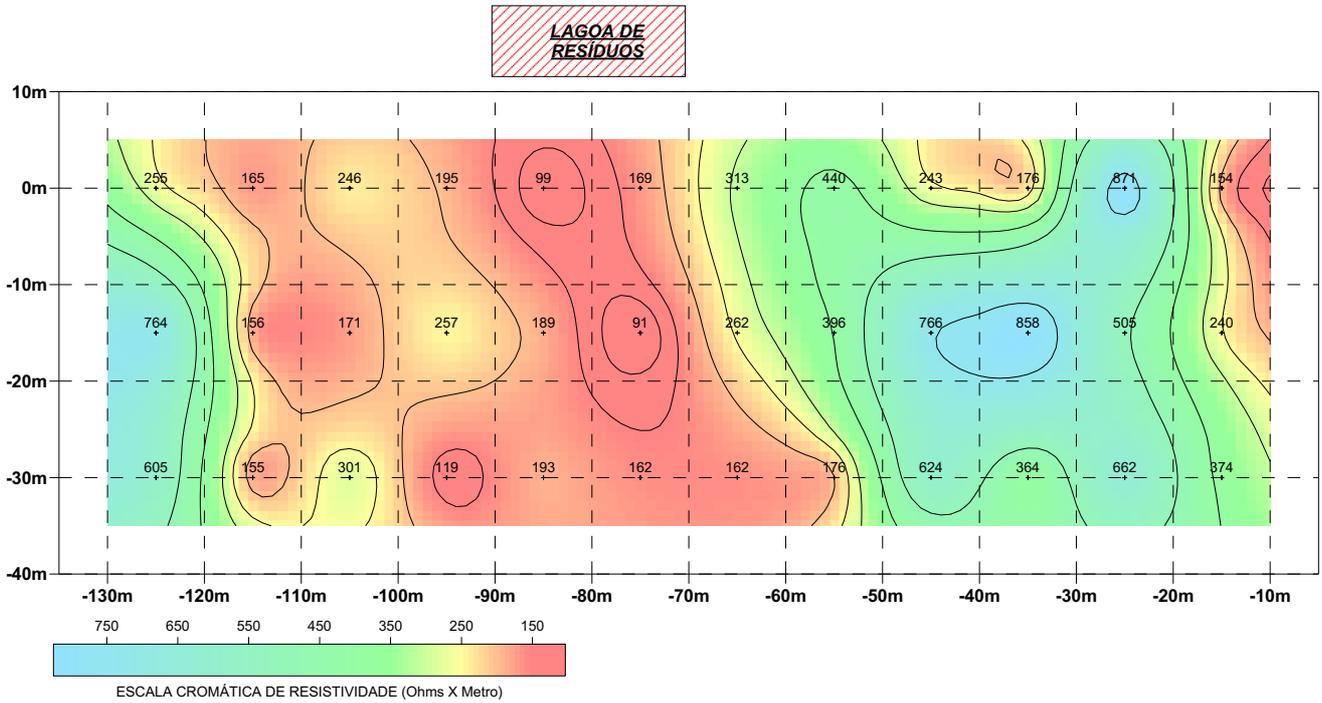


Figura 15a: Mapa da resistividade modelada do nível 2.

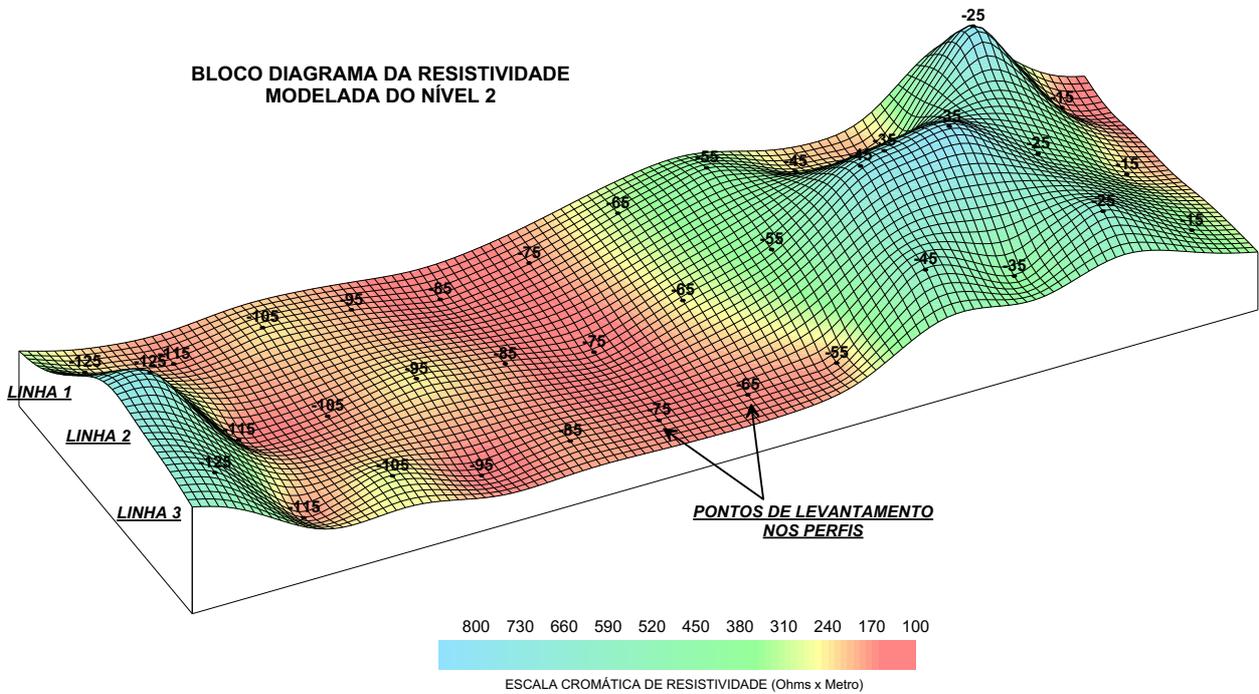


Figura 15b: Bloco diagrama da resistividade modelada do nível 2.

MAPA DA RESISTIVIDADE MODELADA DO NÍVEL 3 - 0 A 10,70m

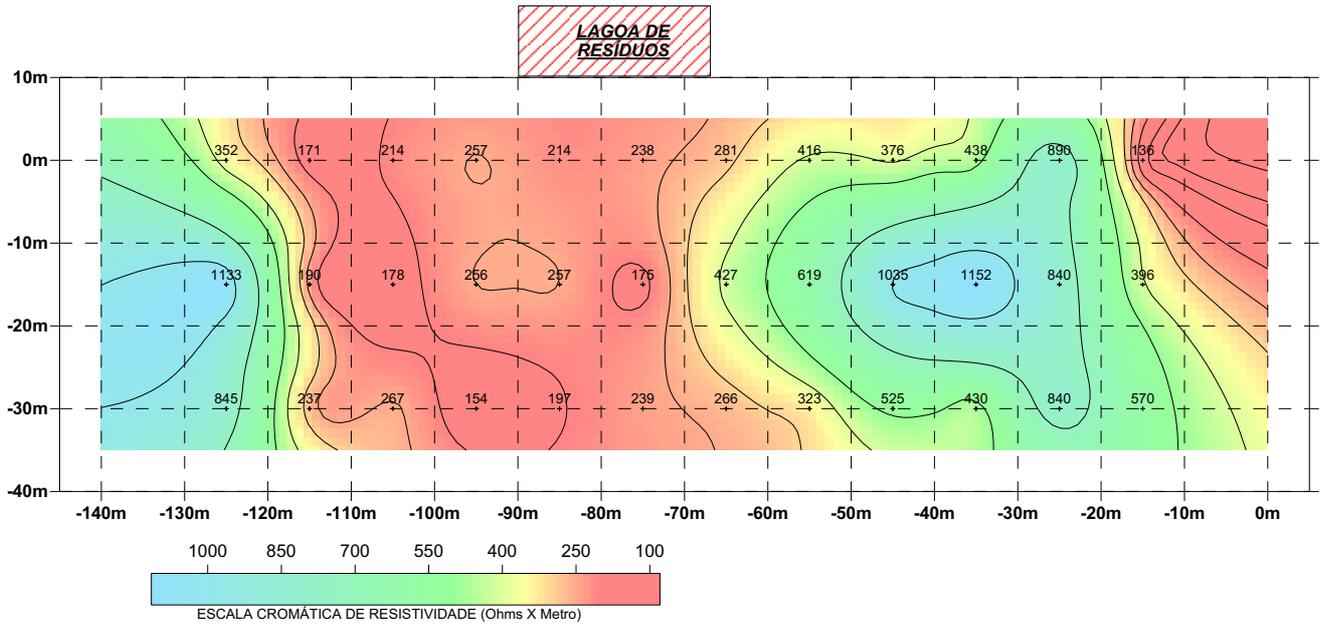


Figura 16a: Mapa da resistividade modelada do nível 3.

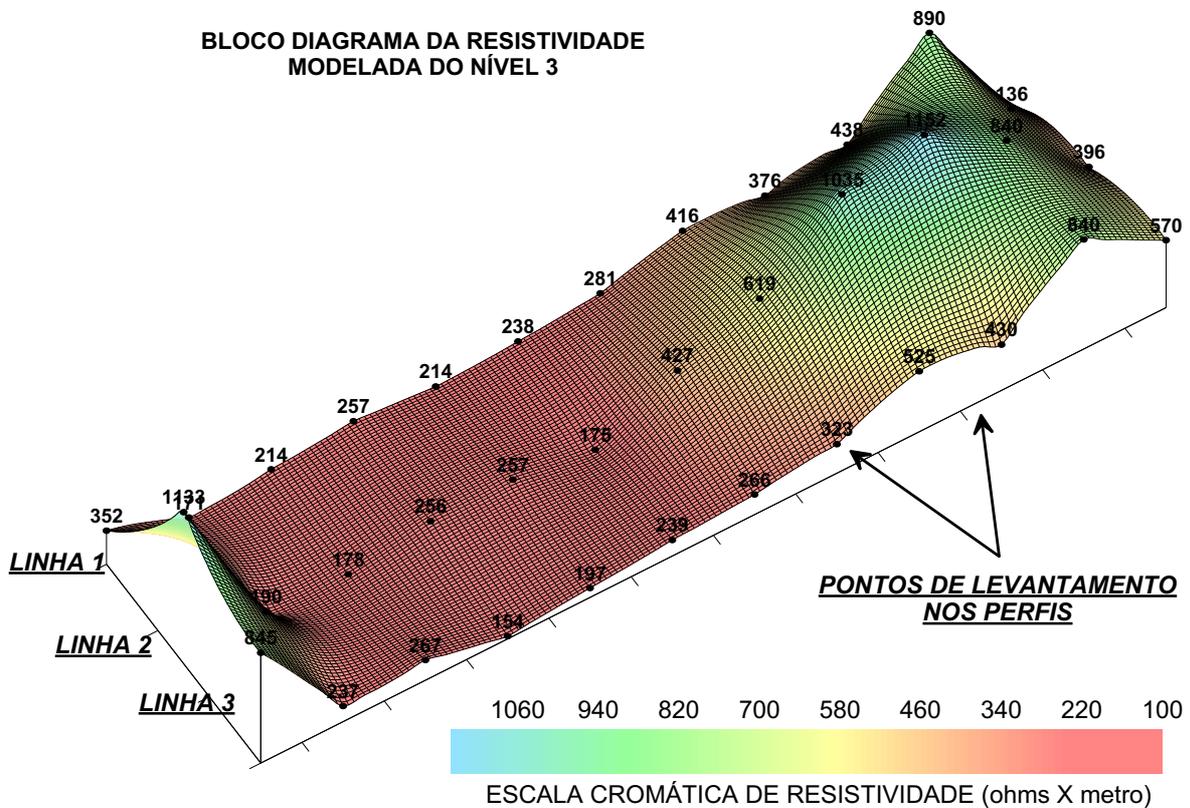


Figura 16b: Bloco diagrama da resistividade modelada do nível 3.

MAPA DA RESISTIVIDADE MODELADA DO NÍVEL 4 - 0 A 15,81m

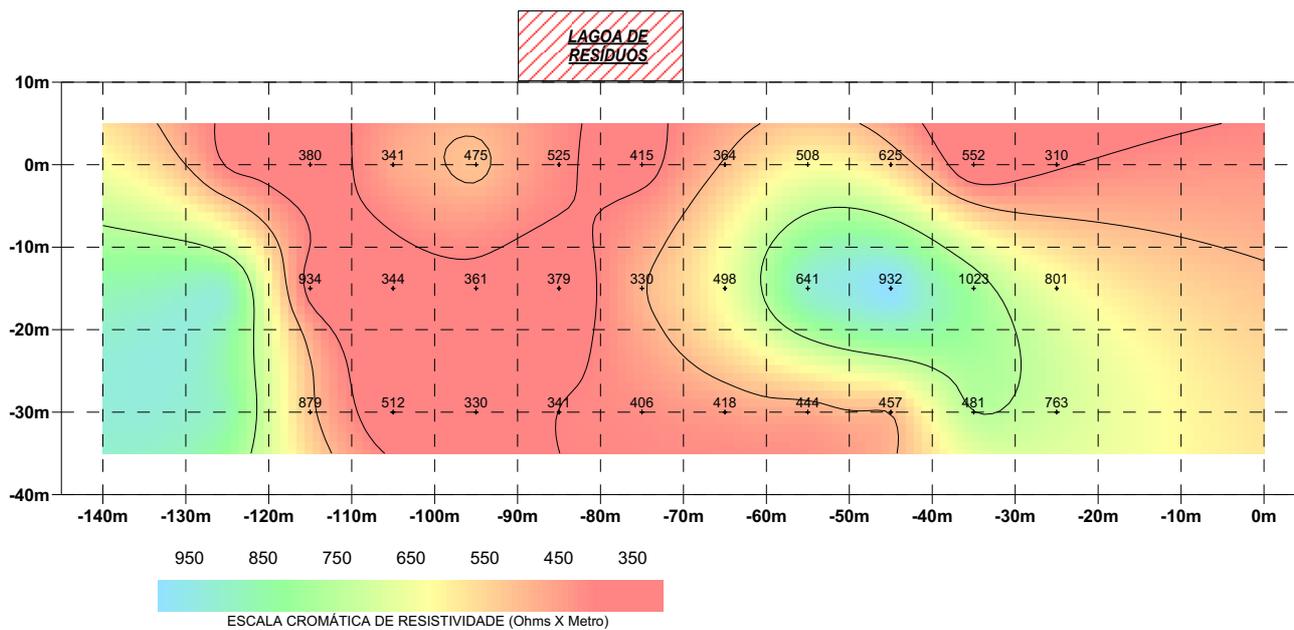


Figura 17a: Mapa da resistividade modelada do nível 4.

BLOCO DIAGRAMA DA RESISTIVIDADE MODELADA DO NÍVEL 4

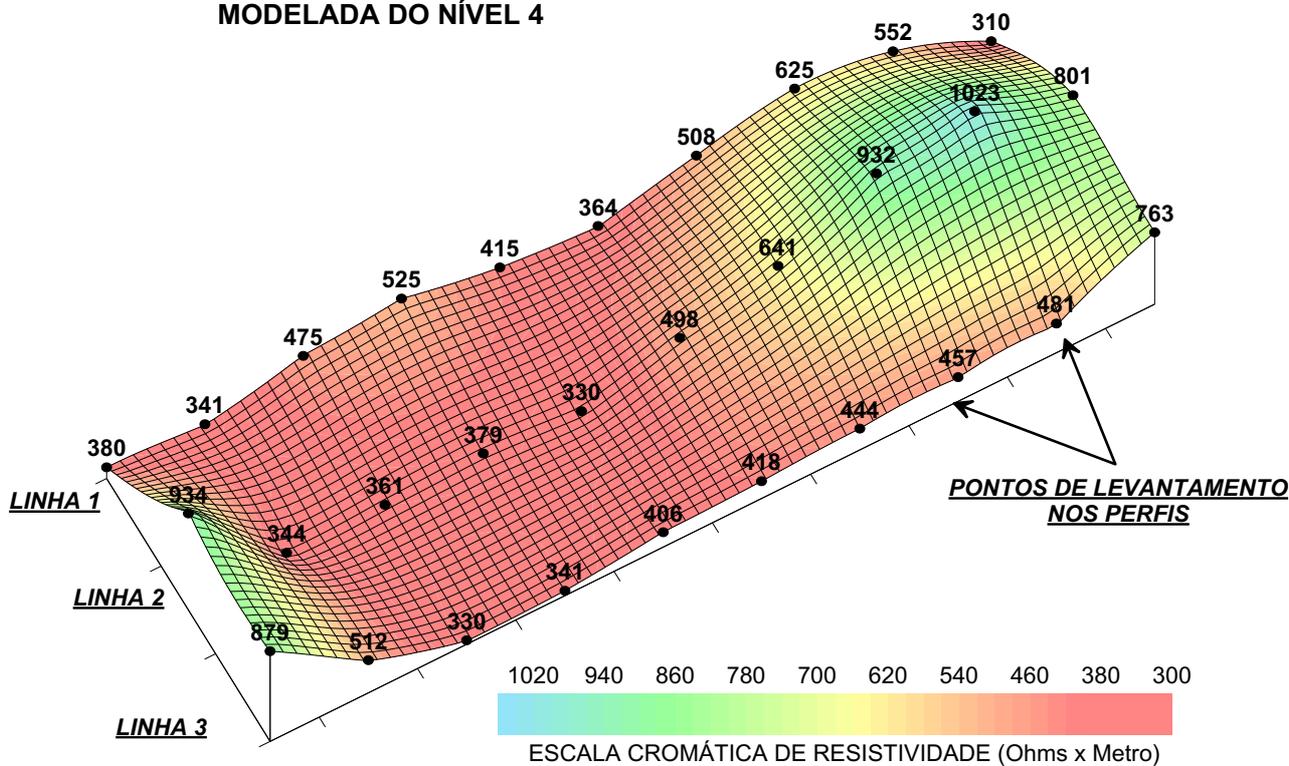


Figura 17b: Bloco diagrama da resistividade modelada do nível 4.

MAPA DA RESISTIVIDADE MODELADA DO NÍVEL 5 - 0 A 23,31m

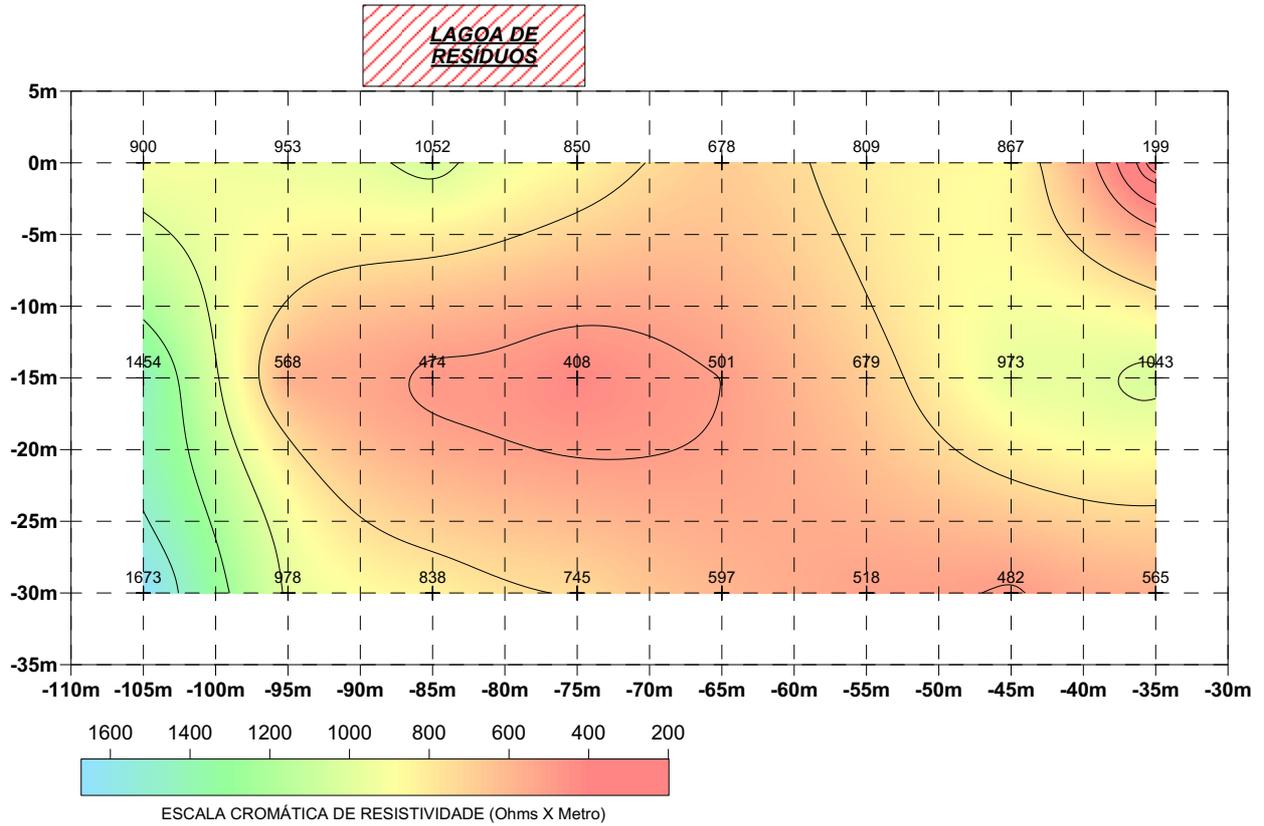


Figura 18a: Mapa da resistividade modelada do nível 5.

BLOCO DIAGRAMA DA RESISTIVIDADE MODELADA DO NÍVEL 5

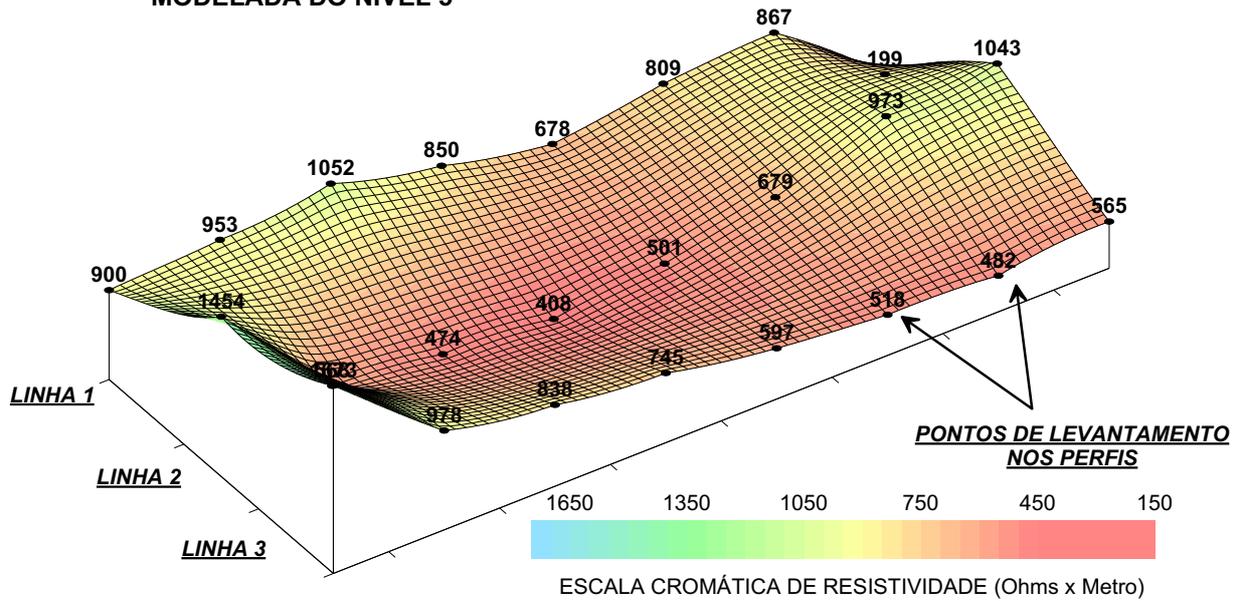


Figura 18b: Bloco diagrama da resistividade modelada do nível 5.

8.2 Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

As medidas obtidas em campo foram lançadas no Excel e processadas no Software IPI2win. Após o tratamento, inversão e interpretação dos dados executada pelo programa, foi possível gerar os gráficos bi-logarítmicos das SEVs 1, 2 e 3, cujos resultados são apresentados nas Figuras 19, 20 e 21 e suas interpretações nas tabelas. Em azul temos a espessura e a resistividade aparente de cada estrato geoeletrico, em preto uma curva gerada pela união dos pontos das medidas de resistividade obtidas e em vermelho a curva ajustada.

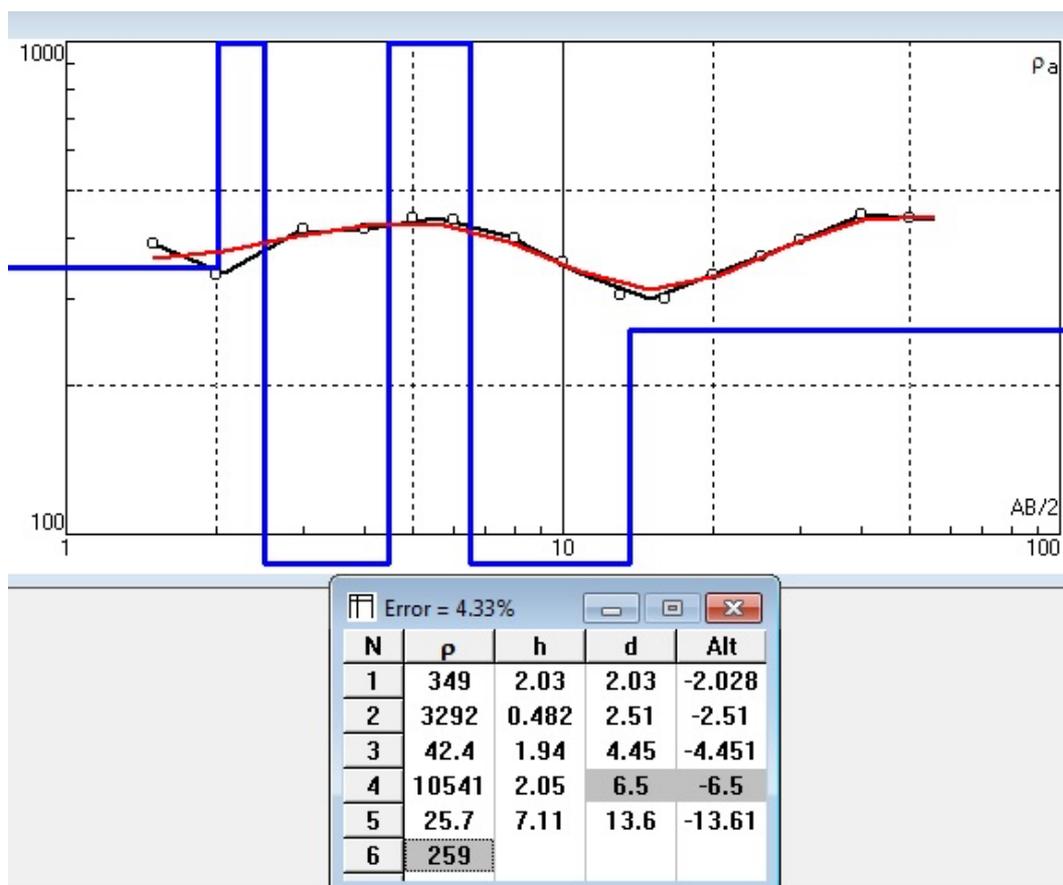


Figura 19: SEV da linha 1, gerada pelo Software IPI2win.

Na SEV 1 temos um modelo ajustado com 6 estratos geoeletricos, tendo suas profundidades sido interpretadas como:

Profundidade (m)	Resistividade($\Omega \times m$)	Interpretação
Até 2.03	349	Solo com matéria orgânica
De 2.03 até 2.51	3292	Solo seco
De 2.51 até 4.45	42.4	Solo úmido com matéria orgânica

De 4.45 até 6.5	10541	Solo Seco
De 6.5 até 13.6	25.7	Nível d'água/solo saturado
De 13.6 em diante	259	Material mais argiloso e compactado

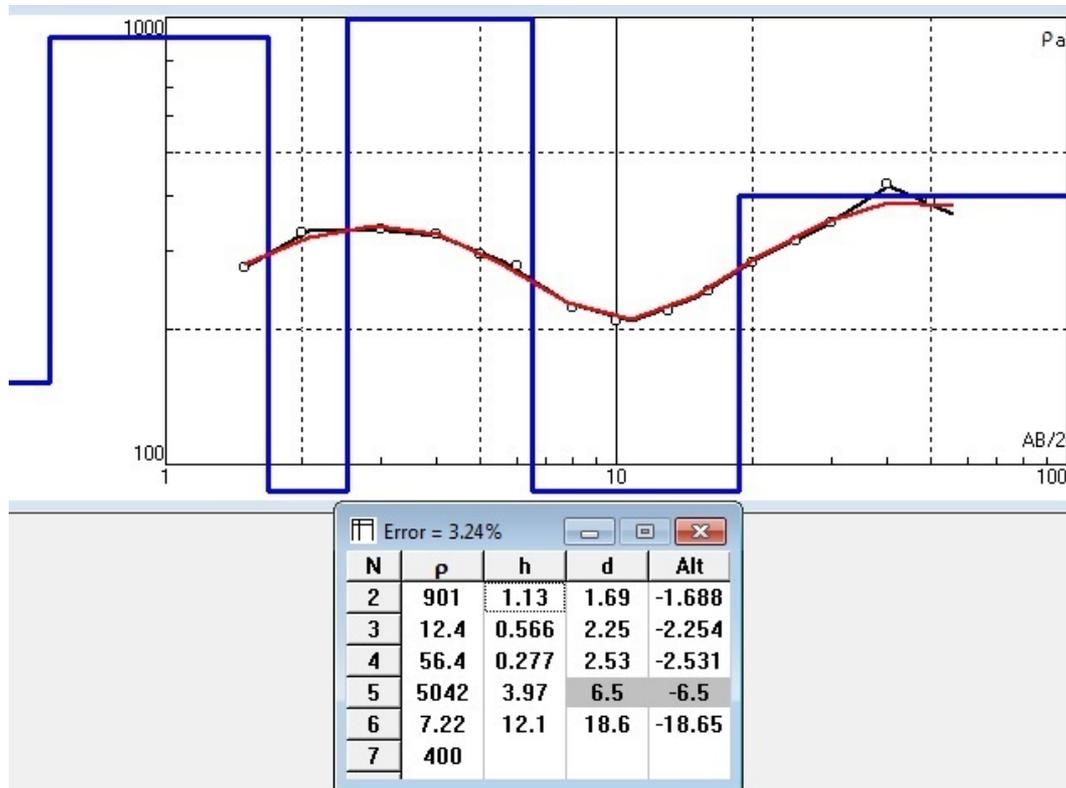


Figura 20: SEV da linha 2, gerada pelo Software IPI2win.

Na SEV 2, temos um modelo ajustado com 7 estratos geoeletricos, tendo suas profundidades sido interpretadas como:

Profundidade (m)	Resistividade($\Omega \times m$)	Interpretação
Até 1.69	901	Solo com matéria orgânica
De 1.69 até 2.25	12.4	Solo úmido com matéria orgânica
De 2.25 até 2.53	56.4	Solo úmido
De 2.53 até 6.5	5042	Solo seco
De 6.5 até 18.6	7.22	Nível d'água/solo saturado
De 18.6 em diante	400	Material mais argiloso e compactado

Tabela 3: Profundidade, resistividades e interpretação dos dados gerados pelo Software IPI2win.

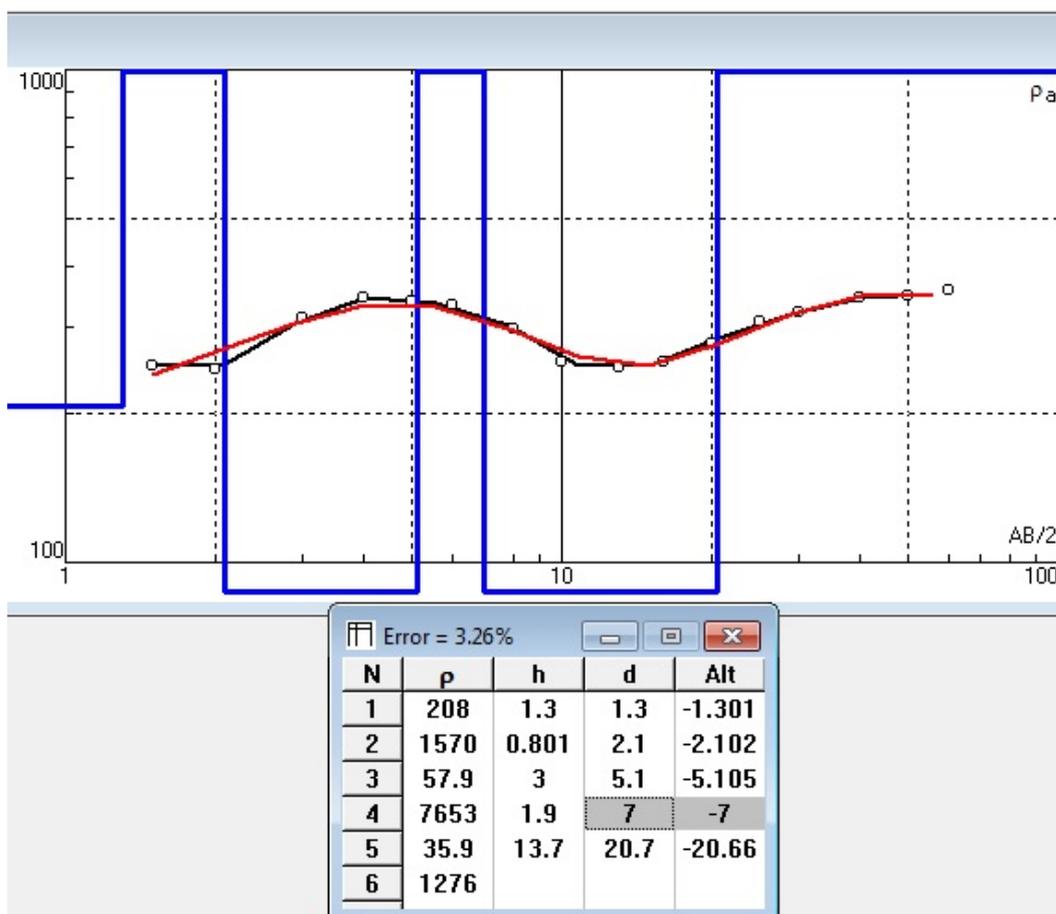


Figura 21: SEV da linha 3, gerada pelo Software IPI2win.

Na SEV 2, temos um modelo ajustado com 7 estratos geoeletricos, tendo suas profundidades sido interpretadas como:

Profundidade (m)	Resistividade($\Omega \times m$)	Interpretação
Até 1.3	208	Solo com matéria orgânica
De 1.3 até 2.1	1570	Solo seco
De 2.1 até 5.1	57.9	Solo com matéria orgânica
De 5.1 até 7	7653	Solo seco
De 7 até 20.7	35.9	Nível d'água/solo saturado

De 20.7 em diante	1276	Material mais argiloso e compactado
-------------------	------	-------------------------------------

Observando as SEVs em conjunto, é possível inferir que o nível d'água da área está situado entre 6,5 e 7 m.

9. CONCLUSÕES

Com o emprego das técnicas de CE e SEV, foi possível delimitar a pluma de contaminação tridimensionalmente (diferentes profundidades de investigação) ocasionada pela disposição inadequada de resíduos na área, determinar o nível d'água e os estratos geológicos da área de estudo. É possível observar que a pluma encontra-se mais concentrada próximo à lagoa e mais disseminada quando nos afastamos da mesma. Tal fato pode ser claramente observado quando analisamos os níveis, pseudo-seções e seções modeladas.

Foi possível também realizar a comparação com o trabalho previamente feito na mesma área por Perez (2014). Analisando os dados de duas épocas diferentes, constata-se que a pluma está mais disseminada no estudo atual.

Perez (2014) desenvolveu seu Trabalho de Formatura na mesma lagoa de disposição de resíduos. Com a consulta de sua Monografia foi possível verificar os níveis modelados, os quais podem ser observados na Figura 22 e realizar comparações com o presente Trabalho de Formatura. Vale lembrar que as profundidades de investigação modeladas podem ser modificadas pelo usuário do programa (RES2DINV), que são da ordem da metade das propostas por Hallof (1957) e usadas na apresentação das pseudo-seções de resistividade aparente.

RESISTIVIDADES MODELADAS 5 NÍVEIS DE INVESTIGAÇÃO

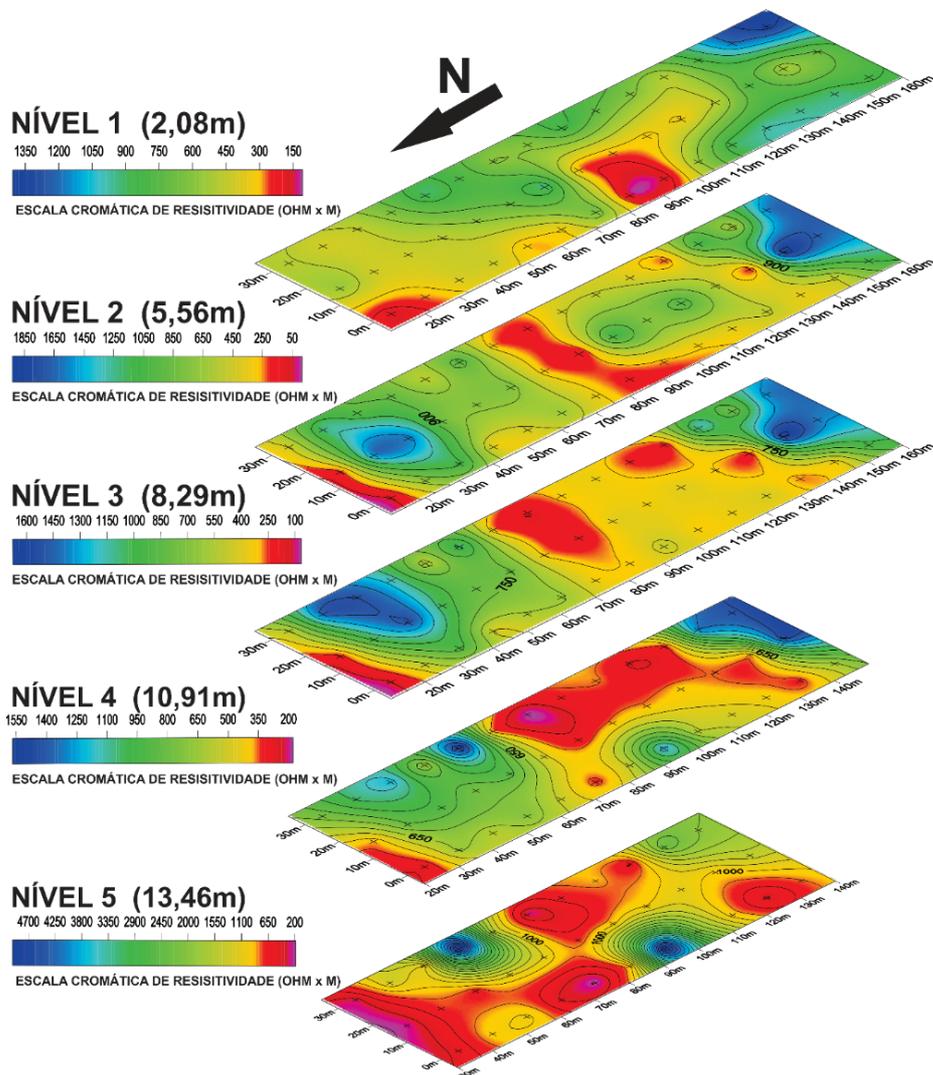


Figura 22: Resistividade modelada dos Níveis 1 ao 5. (Original de Perez, 2014).

As profundidades adotadas neste presente trabalho foram 40% maiores que o *default* do programa (Edwards, 1977).

Aparentemente, Perez (2014) empregou profundidades cerca de 30% acima do *default* do programa (Edwards, 1977).

Além disso, no presente trabalho considerou-se o intervalo de investigação efetivamente abrangido, enquanto que Perez (2014) considera a profundidade média do intervalo de investigação, conforme observado na Figura 22.

Finalizando, constatou-se que os dados atuais, comparados aos anteriores, apresentam valores de baixas resistividades mais amplamente disseminados em todos os níveis. Assim sendo, conclui-se que ocorreu um espalhamento/aumento da pluma de contaminação.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Becegato, VA., Stefanato, R., Ferreira, FJF., Cunha, JU., Cabral, JBP. 2009. Investigações geofísicas aplicadas no lixão desativado do município de Saudade do Iguaçu – SP. *Revista Geográfica Acadêmica* v.3, n.1, 9p.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2017. Procedimento para Gerenciamento de Áreas Contaminadas. São Paulo, 64 p.

EDWARDS, L. S. 1977. A modified pseudo-section for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, v.3, p.78-95.

Gallas, JDF., 2000. Principais Métodos Geométricos e Suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. Tese de 11 Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP (Rio Claro). 174p.

Gallas, JDF. 2005 – Métodos de Eletroresistividade – Apostila da disciplina Geofísica Aplicada.

Gallas, JDF., Taioli, F., Silva, SMCP., Coelho, OGW. & Paim, PSG., 2005. Contaminação por choro e sua detecção por resistividade. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(1): 51-59.

Hallof PG (1957) On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements. PhD Thesis, MIT

Massoli, M, 1983. Geologia da folha de Piraçununga, SP. *Rev. Inst. Geol.*, jan./dez., vol.4, no.1-2, p.25-51.

Milani, EJ., Ramos, VA., 1998. Orogenias Paleozóicas no domínio Sul-Occidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Rev. Bras. de Geociências*, dez., 28(4):473-484.

Nero, C. Aning, AA. Danuor, SK. Noye, RM. Delineation of graves using electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics* 126 (2016) 138–147.

Paes, CS., 2017. Delimitação de contaminação proveniente de lagoa de disposição de resíduos – Campus USP Pirassununga. Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo.

Perez, MVA., 2014. Investigação geométrica de possível contaminação do subsolo no campus da USP em Pirassununga. Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo

Saraiva, FA., 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, RWC.; Malagutti Filho, W. Emprego de métodos geofísicos na fase de investigação confirmatória de cemitérios contaminados. Eng Sanit Ambient, v.14, n. 3 jul/set 2009, p. 327-326.

Zalán, PV., Mantovani, SM., Quintas, MCL., 1999, Contribuição ao estudo da evolução da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, 29 (2): 217-226.