

GUSTAVO VENEZIAN IAMONDI

**GEOFÍSICA APLICADA NO DIAGNÓSTICO
PRELIMINAR DO ANTIGO LIXÃO DO MUNICÍPIO
DE RIO CLARO - SP**

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de
Formatura do Curso de Graduação em Engenharia
Ambiental do Instituto de Geociências e Ciências Exatas –
Unesp, Campus de Rio Claro (SP), como parte das
exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de
Formatura no ano letivo de 2009*

Orientador: Walter Malagutti Filho

Rio Claro (SP)

2009

GUSTAVO VENEZIAN IAMONDI

ORIENTADOR: WALTER MALAGUTTI FILHO

**GEOFÍSICA APLICADA NO DIAGNÓSTICO
PRELIMINAR DO ANTIGO LIXÃO DO MUNICÍPIO
DE RIO CLARO - SP**

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de
Formatura do Curso de Graduação em Engenharia
Ambiental do Instituto de Geociências e Ciências Exatas –
Unesp, Campus de Rio Claro (SP), como parte das
exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de
Formatura no ano letivo de 2009*

Rio Claro (SP)

2009

551 Iamondi, Gustavo Venezian
I11g Geofísica aplicada no diagnóstico preliminar do antigo
lixão do município de Rio Claro - SP / Iamondi, Gustavo
Venezian. - Rio Claro - SP : [s.n.], 2009
66 f. : il., figs., tabs., fots., mapas

Trabalho de conclusão (Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: Walter Malagutti Filho

1. Geofísica . 2. Areas contaminadas. 3. Diagnóstico do
meio físico. 4. Resíduos sólidos. 5. Eletrorresistividade. I.
Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

RESUMO

A questão do problema da disposição de resíduos sólidos e o crescimento urbano entram em conflito, uma vez que locais onde existiram antigos lixões afastados da cidade, hoje, se encontram dentro do perímetro urbano aproximando a população com os contaminantes provenientes da degradação dos resíduos, sendo que em alguns casos, estas áreas tornam-se loteamentos habitacionais.

Este trabalho tem como objetivo subsidiar o diagnóstico de um antigo lixão do município de Rio Claro – SP, utilizando-se de métodos geofísicos através das anomalias de resistividade. Para a elaboração do diagnóstico utilizou-se análises de água e solo de um laudo preliminar e técnicas de sondagem elétrica vertical e caminhamento elétrico.

As áreas que sofreram influência do lixo apresentaram resistividade menor que as resistividades naturais das camadas do subsolo.

Através da interpretação dos resultados obtidos, foi elaborado o mapa potenciométrico local e um mapa de resistividade calculada. A interpretação destes produtos indicou uma discordância do fluxo da água subterrânea com a topografia atual, sendo então identificada uma direção preferencial da pluma de contaminação no sentido NE-SW, comprovando a aplicabilidade dos métodos geoeletricos em áreas de antiga disposição de resíduos com pouca informação.

Palavras –chave: áreas contaminadas; diagnóstico do meio físico; resíduos sólidos; eletrorresistividade; Rio Claro - SP.

ABSTRACT

The issue of solid waste disposal and urban growth are conflictive, since the areas where old uncontrolled refuse disposal were away from the city today are incorporated to the urban area population. Thus, now population is closer to the degradation of contaminants coming from waste disposal, and, in some cases, these areas become housing subdivisions.

This work aims to support the diagnosis of a former landfill in the municipality of Rio Claro (SP), using geophysical methods through resistivity anomalies. In order to develop the diagnostic, it was utilized water and soil analysis of a preliminary report and techniques of vertical electrical sounding and electrical profiling.

The areas influenced by the garbage presented less resistivity than the one of the natural subsoil.

Through the interpretation of results, the local potentiometric map was elaborated, as well as a map of calculated resistivity. The interpretation of these products indicated a disagreement between the groundwater flow and the current topography, leading to an identification of a preferential direction of the contamination plume in the NE-SW. These observations prove the applicability of geoelectrical methods in areas of former waste disposal with little information.

Keywords: contaminated areas; diagnosis of the physical environment, solid waste; resistivity; Rio Claro – SP;

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1 Resíduos Sólidos Domiciliares	9
3.1.1 Disposição Final	10
3.1.2 Contaminação do Solo e Água Subterrânea	11
3.1.3 Fases de Degradação de Resíduos Orgânicos e Geração de Chorume.....	12
3.1.3.1 <i>Ferro e Manganês</i>	13
3.2 Geofísica Aplicada	13
3.2.1 Métodos Geoelétricos	14
3.2.2 Método da Eletrorresistividade.....	15
3.2.2.1 <i>Técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV)</i>	16
3.2.2.2 <i>Técnica do Caminhamento Elétrico (CE)</i>	17
3.2.2.3 <i>Métodos Geoelétricos Aplicados a Contaminação por Resíduos</i>	18
4 ÁREA DE ESTUDO.....	19
4.1 Localização	19
4.2 Breve Histórico do Município de Rio Claro	21
4.3 Clima	22
4.4 Geomorfologia	22
4.5 Geologia	23
4.6 Pedologia.....	24
4.7 Hidrologia	24
4.7.1 Águas Superficiais	24
4.7.2 Águas Subterrâneas	25
4.8 Trabalhos Anteriores na Área de Estudo	25
4.8.1 Laudo Técnico de Investigação Preliminar	25
4.8.1.1 <i>Sondagens Superficiais e Análises “in situ”</i>	25
4.8.1.2 <i>Amostragem e Análises de Solos</i>	26
4.8.1.3 <i>Amostragem e Análises de Água</i>	28
5 METODOLOGIA E ETAPAS DO TRABALHO	32
5.1 Entrevistas	32
5.2 Atividades de Campo.....	33

5.2.1	Reconhecimento da área de estudo.....	33
5.2.1.1	<i>Sondagens a Trado.....</i>	33
5.3	Levantamento de Dados	35
5.3.1	Fotografias Aéreas.....	35
5.4	Ensaio Geofísico	36
5.4.1	Aquisição dos Dados	36
5.4.2	Tratamento dos Dados	37
5.4.3	Técnicas e Arranjos de Campo.....	38
5.4.3.1	<i>O Arranjo Schlumberger.....</i>	39
5.4.3.2	<i>Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo.....</i>	40
5.4.4	Locação dos Ensaio.....	41
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1	Ensaio Geofísico	43
6.1.1	Caminhamentos Elétricos	43
6.1.1.2	<i>Linha Referência 1</i>	45
6.1.1.3	<i>Linha Referência 2</i>	46
6.1.1.4	<i>Linha 1.....</i>	46
6.1.1.5	<i>Linha 2.....</i>	48
6.1.2	Sondagens Elétricas Verticais	50
6.1.2.1	<i>SEV 01.....</i>	50
6.1.2.2	<i>SEV 02.....</i>	50
6.1.2.3	<i>SEV 03.....</i>	51
6.1.2.4	<i>SEV 04.....</i>	52
6.1.2.5	<i>SEV 05.....</i>	53
6.1.2.6	<i>SEV 06.....</i>	54
6.1.2.7	<i>SEV 07.....</i>	55
6.1.2.8	<i>SEV 08.....</i>	55
6.1.3	Mapa Potenciométrico	56
6.1.4	Mapas de Resistividade Calculada	58
7	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	59
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	APÊNDICE A - REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1 - Definição da resistividade dos materiais.....	15
Figura 3.2 - Exemplo de sondagem elétrica vertical arranjo Schlumberger	17
Figura 3.3 - Exemplo de caminhamento elétrico arranjo Dipolo-Dipolo	17
Figura 4.1 - Localização da Área de Estudo	20
Figura 4.2 - Crescimento da zona urbana de Rio Claro	21
Figura 4.3 - Mapa Geológico 1:50000	23
Figura 4.4 - Locação das sondagens superficiais	26
Figura 4.5 - Pontos de análise de água e solo	27
Figura 5.1 - Sondagens a trado.....	34
Figura 5.2 - Foto área 1995 1:5000.....	36
Figura 5.3 - Terrameter modelo SAS 4000	37
Figura 5.4 - Arranjo Schlumberger	39
Figura 5.5 - Caminhamento Dipolo- Dipolo.....	40
Figura 5.6 - Locação dos ensaios geoeletricos	42
Figura 6.1 - Linha Inicial	44
Figura 6.2 - Linha Referência 1.....	45
Figura 6.3 - Linha Referência 2.....	46
Figura 6.4 - Linha 1	47
Figura 6.5 - Linha 2.....	49
Figura 6.6 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV 01	50
Figura 6.7 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV02	51
Figura 6.8 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV03	52
Figura 6.9 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV04	52
Figura 6.10 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV05.....	53
Figura 6.11 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV06.....	54
Figura 6.12 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV07	55
Figura 6.13 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV08.....	56
Figura 6.14 - Mapa Topográfico e Potenciométrico.....	57
Figura 6.15 - Mapa de Resistividade.....	58

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento atingido através da Revolução Industrial trouxe consigo um enorme crescimento populacional e uma mudança de hábitos e comportamentos das pessoas ao redor do mundo. Dentre estas mudanças, o aumento do consumo de bens gerou paralelamente uma maior geração de resíduos sólidos domiciliares e problemas com sua destinação final.

Por motivos sanitários e estéticos, áreas de disposição de resíduos sólidos geralmente se localizam afastadas da área urbana a fim de diminuir o contato da população com os resíduos. Entretanto, os custos do transporte limitam esta distância.

Devido à desinformação, a falta de preocupação com o meio ambiente e o baixo custo de implantação e operação, somente a partir da década de 80 a disposição de resíduos em lixões começou a perder força.

Apesar de hoje existirem normas e leis que disciplinam a disposição final de resíduos e assim, haver um crescimento na quantidade de aterros sanitários, grande parte dos municípios brasileiros ainda se utiliza de lixões para a disposição final de resíduos domiciliares. O município de Rio Claro – SP, por exemplo, deixou de utilizar a disposição a céu aberto somente no início da década de 90.

O processo de degradação de resíduos gera subprodutos que se propagam em meios como o solo e a água subterrânea atingindo mais facilmente a população, e que se acumulam na área de disposição tornando-a inadequada para uma série de usos sendo então caracterizada como Área Contaminada (AC).

Conforme consta na “Lista de atividades industriais/comerciais potencialmente contaminadoras do solo e água subterrânea” (IBGE, 1999), em locais utilizados anteriormente à destinação final de resíduos sólidos, o solo e a água subterrânea tornam-se fontes secundárias de contaminação, e em caso de contato com a população, pode trazer prejuízos à saúde pública.

Outro problema relacionado ao crescimento populacional e ao êxodo rural é a desordenada ocupação do solo e a escassez de áreas urbanizáveis, que, com seu crescimento horizontal, gera uma pressão em relação às áreas rurais e matas tomando cada vez mais espaços antes destinados à agricultura e preservação ambiental.

Esta escassez tem causado grandes discussões entre os administradores, gerando especulação imobiliária no entorno da área urbana.

Este quadro vem crescendo e cada vez mais se faz necessário o estudo de alternativas para suas devidas soluções.

A situação se agrava quando os problemas apresentados anteriormente entram em

conflito, pois antigos lixões antes localizados afastados da zona urbana, hoje com o crescimento das cidades se encontram adjacentes à população sendo em alguns casos utilizados para habitação, como o caso de Ribeirão Preto – SP.

No caso do município de Rio Claro – SP, um antigo lixão encontra-se em uma área de expansão urbana sendo então sondado para construção de loteamento, criando-se a necessidade de estudos detalhados no local.

Dentre os diversos métodos utilizados no estudo de áreas contaminadas, diversos autores vêm comprovando a eficiência de métodos indiretos de investigação principalmente a aplicação de métodos geoeletricos.

Assim, o presente trabalho apresenta o estudo da situação de uma área onde se encontra um lixão desativado próxima a uma área já urbanizada. Devido à falta de informações da quantidade e do local exato da disposição, para a elaboração do diagnóstico, faz-se necessário a definição dos limites da contaminação, sendo então utilizados métodos geofísicos que geram um perfil indireto da situação atual da área.

2. OBJETIVO

O objetivo principal desta pesquisa é subsidiar o diagnóstico da situação atual de um antigo lixão da cidade de Rio Claro - SP utilizando-se de métodos geofísicos. Para o alcance deste objetivo, é necessário delimitar a posição do nível freático, o fluxo da água subterrânea e definir os limites atuais da contaminação, através das anomalias de resistividade.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Resíduos Sólidos Domiciliares

Originados das atividades diárias da população, os resíduos sólidos domiciliares são constituídos principalmente por restos orgânicos de alimentos, produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens de produtos, papel higiênico, fraldas e absorventes descartáveis, e uma grande diversidade de outros itens que após o uso, são descartados pela população.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT através da Norma Brasileira Registrada (NBR) nº 10.004 (2004) traz como definição para resíduos sólidos:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e

instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

E os classifica de acordo com seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública adotando:

- Resíduos Classe I - Perigosos: Apresentam periculosidade ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, como por exemplo, baterias e produtos químicos.
- Resíduos Classe II - Não Perigosos
 - Classe IIa : Não Inertes: Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
 - Classe IIb - Inertes: Não têm constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade de águas (com exceção de cor e turbidez), como por exemplo, rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

Apesar da maior parte dos resíduos sólidos domiciliares ser constituída de resíduos Classe II, uma porcentagem apresenta diversos graus de toxicidade, como no caso tintas, solventes, pigmentos, vernizes, pesticidas, inseticidas, repelentes, herbicidas, óleos lubrificantes, fluidos de freio e transmissão, baterias, pilhas, frascos de aerossóis e lâmpadas fluorescentes.

A produção de resíduos no Brasil e no mundo é um processo inevitável que ocorre diariamente, onde a quantidade e composição dependem totalmente do perfil, tamanho da população e do seu desenvolvimento econômico.

3.1.1. Disposição Final

O tratamento e disposição final devem ser diferenciados para cada classe de resíduos. No entanto, usualmente são descartados resíduos potencialmente perigosos junto dos domiciliares, principalmente nas décadas passadas, onde havia falta de informações sobre o assunto.

De acordo com o IPT (2000) existem três formas de disposição de resíduos sólidos: Lixão (despejo descontrolado de resíduo em determinada área), Aterro Controlado (despejo com um determinado certo grau de controle, compactação e cobertura) e Aterro Sanitário

(despejo com um alto grau de controle, envolvendo obras de engenharia antes, durante e no final da operação do empreendimento).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2000) realizada pelo IBGE revela que do total dos resíduos sólidos gerados no Brasil, 21% vão para lixões, 37% dispostos em aterros controlados, 36% vão para aterros sanitários e 6% para outras formas de destinação como compostagem, usinas de triagem (processo de separação e depois reciclagem) e incineração.

Segundo Elis (1998), uma das fontes mais comuns de contaminação no Brasil são as áreas utilizadas para deposição de resíduos, devido ao descaso e a opção por alternativas de baixo custo para dispor esses resíduos, como lixões a céu aberto. A locação dessas áreas é de responsabilidade dos órgãos governamentais, que na maioria das vezes não respeitam as limitações do ambiente escolhido, nem seguem regras básicas de manejo de aterros sanitários.

Segundo Menezes et al. (1995), os antigos lixões e aterros dificilmente se enquadram na legislação, pois, em geral, foram instalados em locais inadequados, sem estudo prévio, e mesmo que sejam cumpridas as exigências da cobertura, irão continuar a emitir poluentes.

Um agravante para essas áreas é que comumente ocorria o depósito não só dos resíduos domiciliares, mais também os provenientes dos serviços e saúde e industriais (HASSUDA, 1998).

3.1.2. Contaminação do Solo e Água Subterrânea

Os resíduos dispostos em subsuperfície ou em céu aberto, tanto de forma adequada ou não, são considerados um agente poluidor, proliferando vetores de doenças, poluindo e/ou contaminando o solo, os recursos hídricos e o ar, através de gases tóxicos e de percolados (lixiviados), todos derivados da decomposição e da queima dos resíduos (FACHIN, 2007).

A percolação de águas pluviais e outros líquidos gerados pela própria degradação dos resíduos acabam se infiltrando e entrando em contato com a água subterrânea. No momento em que os parâmetros de qualidade das águas subterrâneas ultrapassam os valores orientadores do órgão ambiental competente, o local é então caracterizado como Área Contaminada (AC).

Uma área contaminada pode ser definida como uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Os poluentes ou contaminantes podem ser transportados a partir desses meios, propagando-se por diferentes vias, como, por exemplo, o ar, o próprio solo, as águas subterrâneas e superficiais, alterando suas características naturais ou qualidades e determinando impactos negativos e/ou riscos

sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores (CETESB, 2001).

A compreensão do comportamento químico de contaminantes no solo é um processo de alta complexidade devido aos numerosos eventos em curso simultaneamente e de ampla continuidade temporal. Heterogeneidades espaciais acrescentam complexidades intrínsecas não lineares, como mudanças de longo prazo na mobilidade química do solo por mudanças na superfície – agricultura. Os solos apresentam heterogeneidades laterais ao longo do perfil topográfico e verticalmente em profundidade, observáveis em escala regional, escala local e microscópica (BUOL et al., 1989).

3.1.3. Fases de Degradação de Resíduos Orgânicos e Geração de Chorume

De acordo com NBR nº8419 (1992), chorume é definido como líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Quanto maior a demanda de oxigênio necessária para a decomposição biológica dos compostos orgânicos presentes no chorume, maior sua capacidade poluidora e, quanto mais ácido, maior seu poder em carrear metais presentes na massa de lixo. Seu volume e capacidade de lixiviação vão depender da quantidade de água e precipitação atmosférica que atinja os resíduos, da quantidade e qualidade da matéria orgânica e do tipo de solo (TRESSOLDI; CONSONI,1994).

A geração de chorume e suas características químicas, físicas e microbiológicas, estão relacionadas aos processos de decomposição de matéria orgânica presentes nos resíduos sólidos, que ocorrem essencialmente nas fases aeróbica e anaeróbica (MOREIRA, 2009).

O trabalho de Farquhar e Rovers (1973) apresenta quatro fases de decomposição, determinados pelo acompanhamento da variação de concentrações dos gases, ácidos voláteis e celulose, complementado por Ress (1980) pelo acréscimo da 5ª fase (TABELA 3.1):

Tabela 3.1 - Fases de Decomposição da Matéria Orgânica (RESS, 1980)

FASE	CARACTERÍSTICA
I – Aeróbica	Consumo de O ₂
II – Não-metanogênica	Queda na produção de CO ₂ ; pico de CO ₂ e H ₂ ; início da produção de CH ₄ ; máxima produção de ácidos orgânicos
III – Metanogênica Instável	Produção crescente de CH ₄ ; H ₂ desaparece; queda de CO ₂ e H ₂
IV – Metanogênica Estável	Produção e utilização de CH ₄ ; CO ₂ estabiliza
V – Regressiva	Queda gradativa de CH ₄ e CO ₂ ; entrada de ar no meio (H ₂ e O ₂); exaustão de celulose

Quanto à constituição do chorume, segundo Segato e Silva (2000), sua composição química varia muito em função de suas fontes, materiais de composição e idade do aterro. As

diferentes origens dos íons presentes no chorume podem ser observadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Íons presentes no chorume e suas principais fontes (SEGATO; SILVA, 2002 apud FACHIN, 2007)

Íons	Fontes
Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos;
PO_4^{3-} , NO_3^- , CO_3^{2-}	Material orgânico;
Cu^{2+} , Fe^{2+} , Sn^{2+}	Material eletrônico, latas, tampas de garrafas;
Hg^{2+} , Mn^{2+}	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes;
Ni^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+}	Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis);
Al^{3+}	Latas descartáveis, utensílios domésticos, embalagens laminadas;
Cl^- , Br^- , Ag^+	Tubos de PVC, negativos de filmes de raio X;
As^{3+} , Sb^{3+} , Cr^{2+}	Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos.

3.1.3.1. Ferro e Manganês

Entre os íons presentes no chorume, o ferro (Fe) e o manganês (Mn) são os que melhor caracterizam uma contaminação proveniente de um local de disposição de resíduos.

A redução de óxidos de ferro e manganês pode conduzir quantidades significativas destes elementos às águas subterrâneas, resultando em áreas de enriquecimento. As concentrações de Fe e Mn no aquífero são governadas por processos de diluição, oxidação/redução, dissolução abiótica de elementos minerais, troca iônica, precipitação e possivelmente complexação com carbono orgânico dissolvido (CHRISTENSEN, 2001).

Elevadas concentrações de Fe e Mn dissolvidos, não originados dos resíduos de aterros sanitários foram detectadas em diversos aterros espalhados pelo mundo. Nestes casos, o Fe e o Mn são provenientes dos sedimentos que formam o aquífero. Em aquíferos aeróbicos, estes elementos são associados aos sedimentos sob a forma de óxidos e hidróxidos minerais (Fe^{3+} e Mn^{4+}) e argilominerais (MOREIRA, 2009).

3.2. Geofísica Aplicada

A Geofísica como ciência é caracterizada por se utilizar dos fenômenos físicos, (naturais ou artificiais) que se manifestam no nosso planeta, a fim de investigar e compreender a subsuperfície terrestre, ou seja, a estrutura física e composição dos materiais geológicos no interior do planeta.

A Geofísica Aplicada se caracteriza por estudos do meio em menor escala quando se comparado com a Geofísica Básica. Enquanto a Geofísica Básica se concentra em estudar os campos e anomalias presentes no planeta, a Geofísica Aplicada utiliza-se destas características voltadas a alguma alvo de interesse, geralmente com estudos de escala regional à local. Dentre eles, podem-se citar estudos voltados à mineração (bens minerais), recursos

hídricos (águas subterrâneas e superficiais), geologia (mapeamento), meio ambiente (contaminação do meio físico), engenharia (maciço rochoso) entre outras aplicações.

Há uma divisão geral dos métodos de levantamento geofísico em dois tipos: os que fazem uso dos campos naturais da Terra (potenciais), e aqueles que envolvem a aplicação na superfície de energia gerada artificialmente (BROOKS; HILL; KEAREY, 2002).

Os métodos de campos naturais podem geralmente fornecer informações a respeito das propriedades da Terra a relativamente grandes profundidades, e são logicamente mais simples de ser conduzidos que os métodos de fontes artificiais. Os últimos, no entanto, são capazes de produzir um quadro mais detalhado e mais bem resolvido da geologia de subsuperfície (BROOKS; HILL; KEAREY, op. cit, p. 20).

Os métodos geofísicos se classificam em sísmicos, métodos elétricos e eletromagnéticos, gravimétrico, magnético e outros (Radiometria e Geotermia).

Segundo CETESB (2001), para a seleção de um método geofísico a ser empregado, o ideal é ter conhecimento da geologia local, das características físico-químicas das águas subterrâneas e do contaminante, do tipo de material utilizado e da proximidade de edificações e instalações.

3.2.1. Métodos Geométricos

Nos métodos geométricos mede-se as propriedades elétricas de subsuperfície, como campos elétricos e eletromagnéticos. Em função de suas composições mineralógicas, texturas e disposições, as camadas geológicas apresentam propriedades elétricas diferenciadas.

Os métodos geométricos subdividem-se em eletrorresistividade, polarização induzida (IP), potencial espontâneo (SP), eletromagnéticos e radar de penetração (GPR) (VELOZO, 2006)

A Tabela 3.3 apresenta os métodos geométricos de acordo com o parâmetro físico analisado.

Tabela 3.3 - Métodos geométricos e os parâmetros físicos analisados

MÉTODOS GEOELÉTRICOS	PARÂMETROS FÍSICOS
Eletrorresistividade	resistividade elétrica
polarização induzida	variações de voltagem
potencial espontâneo	potencial natural
eletromagnético	condutividade
radar de penetração	constante dielétrica/permisividade

Conforme Braga (1999), as superfícies de separação de uma seção geométrica nem

sempre coincidem com os limites geológicos determinados pelos caracteres litológicos genéticos e geológicos em geral. Um estrato com geologia homogênea pode gerar seções subdivididas em camadas geoeletricas distintas, assim como pode ocorrer de várias camadas geológicas diferentes gerarem uma seção sem descontinuidades.

3.2.2. Método da Eletroresistividade

Dentre os métodos geoeletricos, a eletroresistividade é provavelmente o mais simples para manipulação e também o mais simples para entendimento. Este método procura identificar a distribuição da resistividade no solo e utilizá-la como subsídio no estudo da subsuperfície (TELFORD, 1990).

Tomando como base a Lei de Ohm ($V_{(\text{volts})} = R_{(\Omega)} I_{(A)}$), o método consiste na introdução de corrente elétrica no terreno a partir de um arranjo denominado dispositivo eletródico.

Considerando um cilindro sólido de comprimento L e seção A , de resistência R , a resistividade elétrica ρ é dada por:

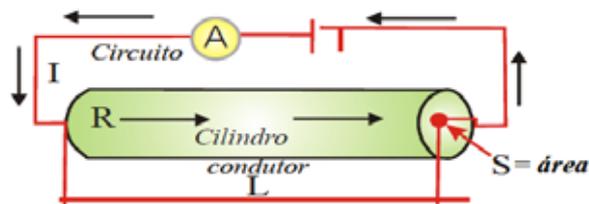


Figura 3.1 - Definição da resistividade dos materiais (OLIVA, 2006)

$$\rho = \frac{RA}{L}, \text{ onde: } \quad \text{Equação 1}$$

ρ = resistividade aparente (hm.m)

R = resistência (Ω)

A = área (m^2)

L = comprimento do sólido (m)

A resistência R pode ser medida por meio da voltagem V , aplicada entre os extremos do cilindro, e da corrente resultante I , que flui através dele, valendo-se da Lei de Ohm,

$$R = \frac{V}{I}, \text{ onde: } \quad \text{Equação 2}$$

R = resistência (Ω);

V = voltagem (V);

I = corrente (A -ampère).

A propriedade elétrica mais significativa dos materiais constituintes do subsolo é a resistividade, inversamente proporcional à condutividade elétrica. Outras propriedades também importantes, mas de menor relevância, são: permeabilidade magnética, que é um fator de influência indireta, e constante dielétrica das rochas e minerais (TELFORD, 1990).

Segundo Elis (1998), o método da eletrorresistividade consiste na introdução de uma corrente elétrica artificial através de dois eletrodos (A e B), com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo a determinação da resistividade real ou aparente em subsuperfície.

No caso de medidas de resistividade em meios homogêneos, o valor obtido representará a resistividade verdadeira do meio. Entretanto, o meio geológico é constituído de heterogeneidades intrínsecas e, portanto, as medidas de resistividade representam uma “média ponderada” das resistividades verdadeiras, cujo produto calculado é denominado resistividade aparente (ρ_a). (MOREIRA, 2009)

Conhecida a distância entre os eletrodos, a intensidade de corrente (I) fornecida pelo circuito emissor (AB) e a diferença de potencial (ΔV) obtida no circuito receptor (MN), é possível calcular a resistividade aparente (ρ_a) por:

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}, \text{ onde a constante K depende do arranjo de campo. } \quad \text{Equação 3}$$

Nos estudos ambientais, os fatores mais importantes são a quantidade de água contida e a salinidade dessa água, pois o aumento desses valores leva a uma diminuição de valores de resistividade (ELIS, 1998).

Existem duas principais técnicas de aplicação do método de eletrorresistividade, a de sondagem elétrica vertical (SEV) e a de caminhamento elétrico (CE), sendo que, cada uma permite uma gama de configurações de eletrodos, promovendo uma versatilidade muito boa do método.

A técnica mais apropriada, sobretudo em áreas complexas, consiste na combinação sondagem-caminhamento, que permite definir tanto as variações verticais como horizontais de resistividade (AZAMBUJA, 1999).

3.2.2.1. Técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

A técnica de sondagem elétrica vertical é normalmente utilizada quando deseja-se uma informação pontual. Esta consiste numa série de determinações de resistividade aparente, em um ponto fixo, a profundidades cada vez maiores, através da separação crescente entre os eletrodos A e B (FIGURA 3.2).

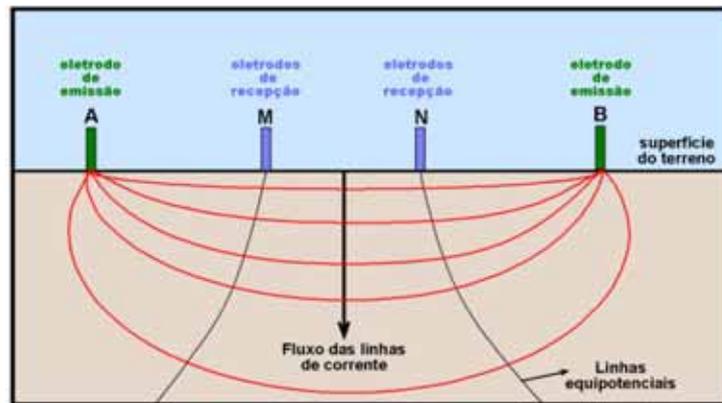


Figura 3.2 - Exemplo de sondagem elétrica vertical arranjo Schlumberger

A aplicação de técnicas adequadas durante a fase de coleta de dados de SEV associada a métodos robustos de interpretação permite estimar parâmetros importantes na caracterização geológico-hidrológica de áreas de disposição de resíduos tais como a profundidade da rocha sã, a profundidade do nível estático e a direção do fluxo da água subterrânea (CAVALCANTE, 1996).

Dentre os arranjos de campo da sondagem elétrica vertical os mais utilizados são o arranjo Wenner e o arranjo Schlumberger.

3.2.2.2. Técnica do Caminhamento Elétrico (CE)

Também denominado de imageamento elétrico, o método de caminhamento elétrico consiste em obter a variação lateral de resistividade a profundidades aproximadamente constantes. Fixa-se um espaçamento entre eletrodos e caminha-se ao longo de perfis, efetuando medidas de resistividade aparente (ELIS, 1998).

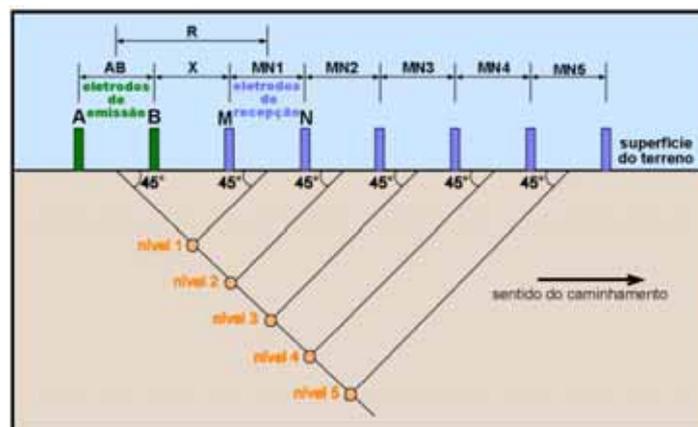


Figura 3.3 - Exemplo de caminhamento elétrico arranjo Dipolo-Dipolo

Devido a ampla possibilidade de disposição geométrica de eletrodos, diversos são os arranjos de campo utilizados nesta técnica, como por exemplo o Wenner, Wenner-Schlumberger, Dipolo-Dipolo, Polo-Polo e Polo-Dipolo.

3.2.2.3. Métodos Geométricos Aplicados a Contaminação por Resíduos

Devido à suas limitações como ruído e profundidade de investigação, cada método geométrico apresenta diferentes respostas e diferentes aplicabilidades nas investigações de contaminação, sendo então necessário considerar as características do local e o objetivo da investigação. A Tabela 3.4 ilustra uma comparação entre a aplicabilidade dos métodos.

Tabela 3.4 - Aplicabilidade de métodos geométricos (adaptado de CETESB, 2001 e BRAGA, 1999)

	Eletroresistividade	Polarização Induzida	Potencial espontâneo	Eletromagnético	Radar de Penetração
Caracterização geológica	adequado	adequado	alternativo	alternativo	adequado
Direção de fluxo da água	adequado	adequado	adequado	adequado	não recomendado
Deteção de contaminação	adequado	alternativo	adequado	adequado	alternativo
Espessura do aquífero	adequado	alternativo	não recomendado	alternativo	alternativo
Determinação do nível d'água	adequado	não recomendado	não recomendado	alternativo	adequado

Cada vez mais a geofísica vem sendo utilizada em estudos ambientais, ganhando um capítulo inteiro no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 1999).

Particularmente, no diagnóstico de áreas de disposição de resíduos sólidos, tanto na caracterização geológica local, quanto na estimativa da profundidade do lençol freático e sentido do fluxo da água subterrânea, os métodos geométricos são empregados a custos e prazos relativamente reduzidos se comparados a investigações diretas.

Elis e Zuquette (1996) utilizaram o Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo no lixão desativado de Ribeirão Preto – SP definindo com precisão os limites da base da cava e a posição da camada de resíduos. Já no aterro sanitário de Ribeirão Preto – SP, Elis e Zuquette (1998) utilizaram a interpretação conjunta dos métodos de Sondagem Elétrica Vertical e Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo e obtiveram informações importantes como profundidade da zona saturada, fluxo subterrâneo, posição dos resíduos, formato e extensão da pluma de contaminação e profundidade do topo rochoso.

Utilizando sondagens elétricas, Cottas et al. (1991) conseguiu definir a superfície e o fluxo do lençol freático para orientar a instalação de piezômetros em um aterro em Rio Claro - SP, e concluiu a eficiência do método para tal aplicação.

Com a combinação de caminhamento elétrico, sondagens elétricas, sísmica de refração e eletromagnético indutivo, Malagutti et al. (1997), caracterizou os materiais geológicos,

resíduos, nível d'água e fluxo subterrâneo no aterro controlado de Rio Claro – SP e também percebeu a eficiente aplicabilidade dos métodos geofísicos para os fins utilizados.

Veloze (2006) utilizou-se do método de eletrorresistividade e cargabilidade no lixão desativado de São Carlos - SP, conseguindo caracterizar o aquífero e a profundidade de contaminação, e concluiu que uma melhor definição ocorreu nas seções de eletrorresistividade, onde valores de baixa resistividade coincidiram com porções onde foram encontrados resíduos ou chorume. Moreira (2009) e Fachin (2007) conseguiram atingir os mesmos objetivos nos aterros de Rio Claro – SP e Ribeirão Preto – SP respectivamente.

O trabalho de Elis (1998) descreve as possibilidades de aplicação e as limitações dos métodos geofísicos elétricos no estudo de áreas de disposição de resíduos, e da conseqüente contaminação gerada. Os resultados indicam o método da eletrorresistividade como a ferramenta mais indicada aos objetivos propostos, principalmente devido à sua grande versatilidade, facilidade e rapidez na aquisição de dados em campo.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. Localização

Localizada no município de Rio Claro – SP, entre as coordenadas geográficas 47° 34' e 47° 36' longitude oeste e 22° 25' e 22° 27' de latitude sul, a área se situa em uma Zona de Proteção da Unidade Regional de Planejamento nº5 (URP 5), segundo o Plano Diretor do Município de Rio Claro (2008).

Atualmente, a área se encontra dentro do perímetro urbano, tendo como limites a Estrada dos Costas na porção leste, o Rio Corumbataí na porção oeste e o Condomínio Residencial Chácara das Palmeiras I e II ao norte, sendo circunvizinhada pelos bairros Jardim Esmeralda, Jardim Novo I e II e Jardim Guanabara I e II (FIGURA 4.1).

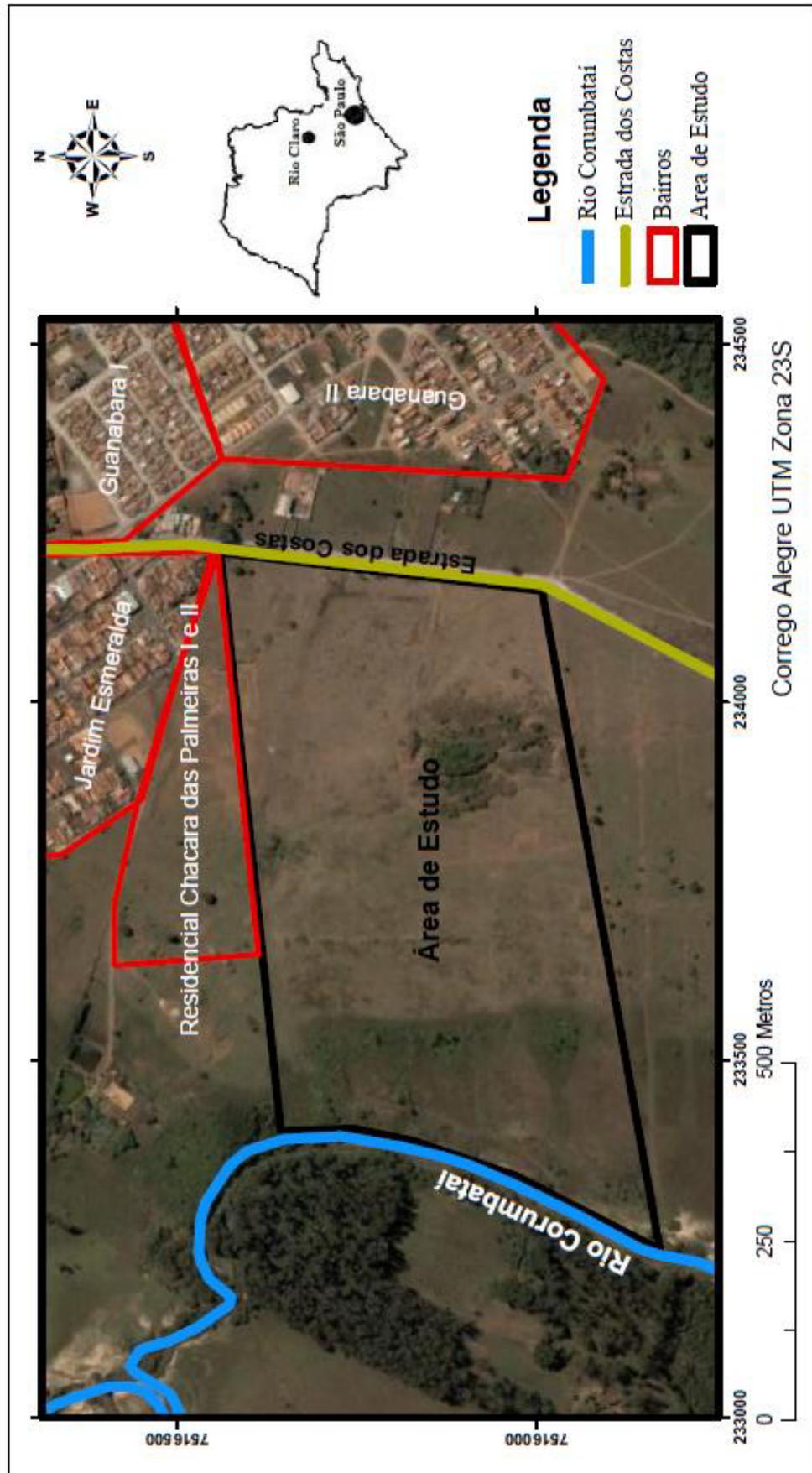


Figura 4.1 - Localização da Área de Estudo

4.2. Breve Histórico do Município de Rio Claro

Utilizado como parada de tropas desde o início do século XIX, as primeiras casas de Rio Claro surgiram por volta de 1825, e logo a construção de uma capela dedicada a São João Batista do Rio Claro serviu de ‘marco’ para a rápida expansão do primitivo núcleo urbano (IBGE).

Em 1830, Rio Claro já era considerada Freguesia; em 1845 passou a Vila e em 1857 foi elevada a cidade (e Comarca em 1859) sofrendo uma expressiva expansão de seu sítio urbano com seu o respectivo aumento populacional.

Com o crescimento da população, a expansão do ‘solo urbano’ sobre o espaço rural aumentou. A título de exemplo, houve um acréscimo de área urbana de 2.210.000 m² em 1954-1964 para 7.400.000m² em 1977-1993, conforme cita Troppmair (apud ANTONIO FILHO, 2003). O crescimento da área urbana pode ser observado na Figura 4.2.

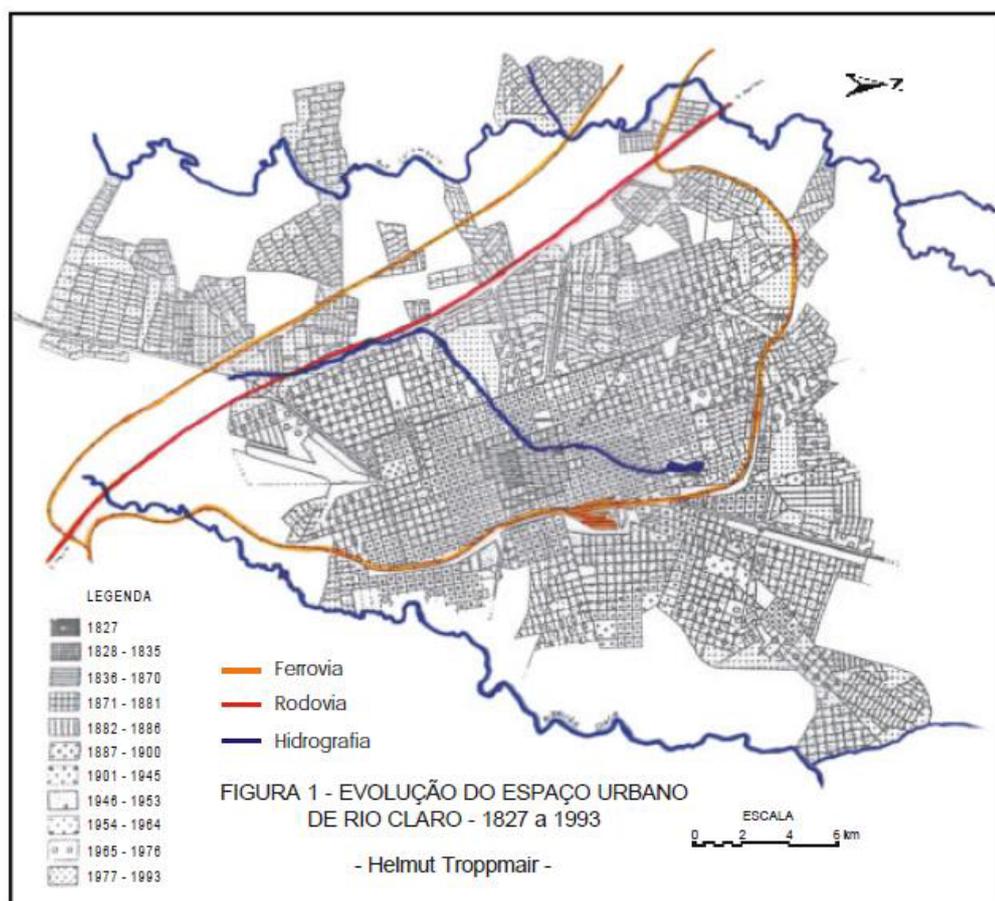


Figura 4.2 - Crescimento da zona urbana de Rio Claro (TROPPMAIR, 1992 apud ANTONIO FILHO, 2003)

No entorno da cidade, surgiram loteamentos que aos poucos comprometeram o ‘cinturão verde’, tais como chácaras hortifrutigranjeiras ou espaços destinados à preservação ambiental. Além disso, a especulação imobiliária tem contribuído para deixar inúmeros ‘vazios’ dentro da malha urbanizada. (ANTONIO FILHO op. cit. p. 57).

Paralelamente, o crescimento populacional do município (TABELA 4.1) ilustra a necessidade da expansão urbana.

Tabela 4.1 - Crescimento Populacional de Rio Claro (TROPMAIR apud ANTONIO FILHO, 2003 p. 59)

População	Total	Urbana	Rural
1950	47.073	73%	27%
1960	60.681	80%	20%
1970	78.108	87%	13%
1980*	109.821	94%	6%
1990*	134.468	96%	4%
2000*	167.902	97%	3%

Fonte: TROPMAIR, H. - Aspectos Históricos e Geográficos de Rio Claro, 1993. / * Fundação SEADE

4.3. Clima

Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Cwa, subtropical, seco no inverno e chuvoso no verão, controlados por massas tropicais e equatoriais que predominam em mais de 50% do ano. Considerando a latitude e altitude, verifica-se que as temperaturas médias anuais variam entre 18°C e 21°C.

Quanto à distribuição anual do regime pluviométrico, ocorre um período predominantemente seco entre abril e setembro, com precipitação de 180 a 200 mm, e um período chuvoso com mais de 80% das precipitações anuais de outubro a março, com média de 1200 mm.

Os ventos dominantes são os provenientes dos quadrantes S e SE.

4.4. Geomorfologia

Segundo o mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981), a área de Rio Claro e seu entorno estão inseridos nas províncias “III- Depressão Periférica” e “IV- Cuestas Basálticas”, sendo a Bacia do Corumbataí pertencente à zona do Médio Tietê da Depressão Periférica Paulista.

Esta área apresenta-se com características morfológicas bem definidas como rede de drenagem densa, morrotes e colinas com altitude entre 550 m a 650 m ao nível das várzeas estreitas e descontínuas de 600 m a 650 m, correspondentes aos interflúvios tabuliformes (ZAINÉ, 1994).

O sistema de relevo dominante na região de Rio Claro é o de colinas tabuliformes de vertentes suavemente convexas e patamares de fraca inclinação, dispostos entre 550 a 650 m (PENTEADO, 1976).

4.5. Geologia

De acordo com Zaine (1994), a área se encontra sobre rochas sedimentares da Bacia do Paraná. A porção superior da área estudada encontra-se na Formação Rio Claro, e a porção inferior na Formação Corumbataí (FIGURA 4.3).

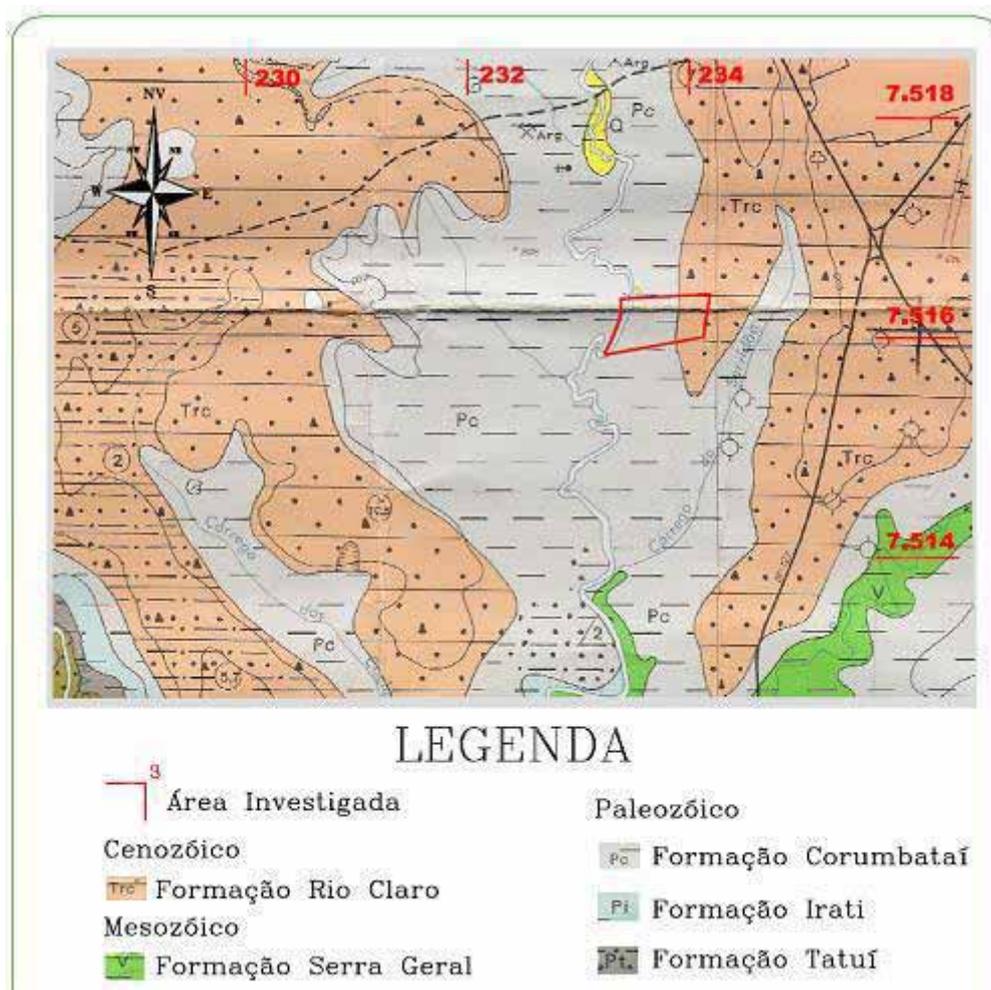


Figura 4.3 - Mapa Geológico 1:50000

A Formação Rio Claro tem ocorrência praticamente restrita no município de Rio Claro. Aparece capeando os grandes divisores de águas, aplainados, entre os rios Ribeirão Claro, Corumbataí, Cabeça, Passa Cinco e Ribeirão Vermelho.

É composta por arenitos esbranquiçados, amarelados e róseos, mal consolidados, com latossolo areno-argiloso bastante desenvolvido (8 a 12 m de espessura) nos topos dos interflúvios. São comuns as intercalações de lentes argilosas e também de níveis conglomeráticos (ZAINÉ, 1994).

A Formação Corumbataí, com espessura local não ultrapassando os 200 m, ocorre numa faixa distribuída geograficamente a partir do arco Ponta Grossa estendendo-se a norte em direção ao Estado de São Paulo.

Na região de Rio Claro - SP, apresenta-se como uma associação de siltitos e argilitos roxos, verdes, castanhos e chocolates, com intercalações de arenitos finos, calcarenitos e

leitos ou níveis de sílex relacionados a coquinas. Aparecem verdadeiros ritmitos dados pela alternância das lâminas de siltitos e argilitos. As estruturas singenéticas normalmente encontradas são as seguintes: estratificações irregulares, microlaminações por migração de marcas onduladas, gretas de contração, estruturas de sobrecarga e deslize (ZAINE, 1994).

4.6. Pedologia

Por haver um predomínio de rochas areníticas, o Município de Rio Claro apresenta em sua maioria solos de textura arenosa. A infiltração da água de chuva é rápida e, ao percolar os horizontes há lixiviação, tornando os solos pobres e ácidos (TROPMAIR, 1992).

Segundo o mapeamento pedológico realizado por Prado et al. (1981), os solos que ocorrem no município de Rio Claro são basicamente os Podzólicos Vermelho-Amarelo de textura média/argilosa presente nos baixos topográficos originados principalmente dos siltitos da Formação Corumbataí (COTTAS, 1983); os Latossolos Vermelho-Amarelo originados da alteração da Formação Rio Claro; e os Latossolos Roxo de textura argilosa a muito argilosa.

Outros tipos de solo ocorrem com menor frequência e expressão como o caso dos solos litólicos associados com os siltitos e argilitos da Formação Corumbataí com a Formação Irati e as intrusões de diabásio, e os solos hidromórficos relacionados aos sedimentos aluvionares (OLIVA, 2006).

Na área de estudo observou-se apenas o Latossolo Vermelho-Amarelo, o Podzólico Vermelho-Amarelo e os solos hidromórficos, este último já próximo ao rio Corumbataí.

4.7. Hidrologia

4.7.1. Águas Superficiais

A área situa-se na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº5 (UGRHI 5), tendo como principais afluentes os rios Passa Cinco, Cabeça e Ribeirão Claro. O desnível total da nascente à foz é de 320 metros.

O rio Corumbataí, afluente do rio Piracicaba, possui extensão aproximada de 120 km e vazão média anual de 22 m³/s. Apesar do pequeno volume, ocorrem fortes processos erosivos que se expressam por vales bem encaixados no alto curso.

Quanto à qualidade das águas superficiais, o rio Corumbataí foi enquadrado como um corpo de água pertencente à Classe 2 (destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional). A bacia do rio Corumbataí sofre expressivo impacto ambiental negativo devido à exploração intensiva de monoculturas, em especial aqueles associados à culturas de cana-de-açúcar.

4.7.2. Águas Subterrâneas

Com base no esboço da distribuição espacial dos sistemas aquíferos definidos pelo DAEE (1981), a cidade de Rio Claro está assentada sobre os grupos Passa Dois e Tubarão, rochas intrusivas básicas e sedimentos da Formação Rio Claro (OLIVA, 2006).

Provavelmente, o que condiciona a espessura do aquífero na área é o contato entre os solos gerados da Formação Rio Claro e da Formação Corumbataí. Os solos da Formação Rio Claro são mais arenosos e mais permeáveis, favoráveis a infiltração das águas pluviais, enquanto os solos da Formação Corumbataí são mais argilosos, portanto menos permeáveis, funcionando no sistema como uma barreira hidráulica para as águas subsuperficiais que atravessam a Formação Rio Claro.

4.8. Trabalhos Anteriores na Área de Estudo

4.8.1. Laudo Técnico de Investigação Preliminar

No primeiro semestre de 2008, foi elaborado um laudo técnico de investigação ambiental preliminar com intuito de verificar a viabilidade de implantação de um loteamento residencial na área.

Este estudo foi elaborado pela empresa Geoinform, sediada em Rio Claro - SP, e possuía como objetivo buscar evidências ou indícios de poluição ou contaminação na área.

Para tanto, foram realizadas análises superficiais, análises de solo e análises de água. Seus resultados são apresentados a seguir.

4.8.1.1. Sondagens Superficiais e Análises “in situ”

Realizou-se, numa primeira etapa, um total de 325 sondagens superficiais na área estudada, distribuídas conforme apresentado na Figura 4.4.

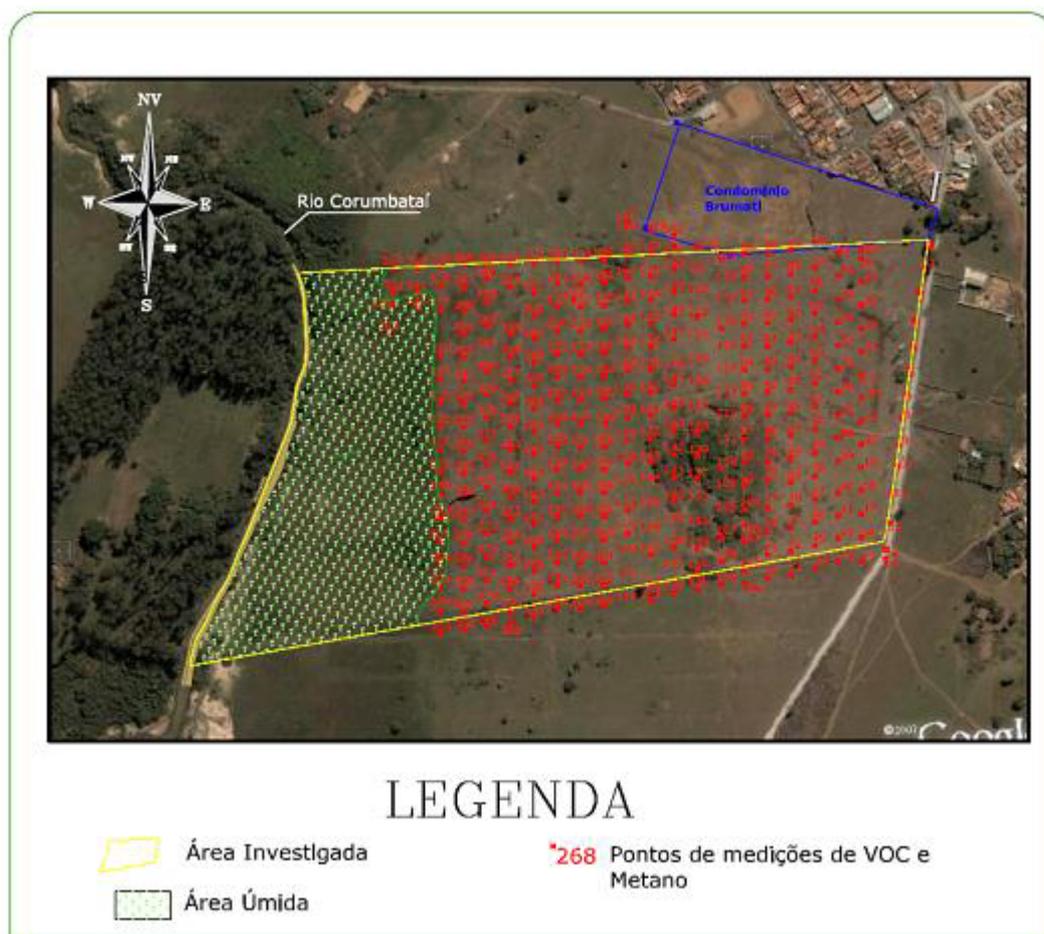


Figura 4.4 - Localização das sondagens superficiais (GEOINFORM, 2008)

Em uma profundidade aproximada de 40 cm, realizaram-se análises “in situ” de concentrações de compostos orgânicos voláteis (V.O.C.) e metano (CH₄).

Nas 325 análises realizadas não se constatou concentrações de (V.O.C.). Porém, encontraram-se 313 pontos com presença de metano. De forma geral, as leituras de metano realizadas indicaram concentrações entre 20 ppm e 580 ppm.

Os pontos de sondagem 01, 92 e 94 a 103 não apresentaram concentrações de metano.

No ponto 58, constatou-se a concentração de 5.540 ppm a 40 cm de profundidade (a 29 °C), em medição realizada diretamente no furo de pequeno diâmetro realizado no solo.

Após dois meses do início dos trabalhos, fizeram-se novas medições de metano no local da sondagem superficial n°58 e em seu entorno imediato (raio de 2 metros). Nesta ocasião, as sondagens foram realizadas com trado manual e as amostras foram coletadas. Nas profundidades de 1,20 m constatou-se concentrações superiores a 10.000 ppm (1%), em temperatura ambiente próxima a 30 °C.

4.8.1.2. Amostragem e Análises de Solos

Para subsidiar o diagnóstico ambiental, a área foi dividida em 6 setores nos quais foi feita coleta de amostra composta de solo. Cada uma das amostras compostas foi analisada

para óleos e graxas, Fenol, Cromo II e VI, Metais, PCBs e Pesticidas Organoclorados.

Na área 01, 02, 04 e 05 coletaram-se 6 amostras de solo superficial a fim de compor a amostra encaminhada ao laboratório para análise. Nas áreas 03 e 06, coletaram-se apenas 03 amostras de solo superficial em razão de parte da área ser alagadiça.

A subdivisão da área estudada e os pontos de amostragem de solo são apresentados na Figura 4.5.

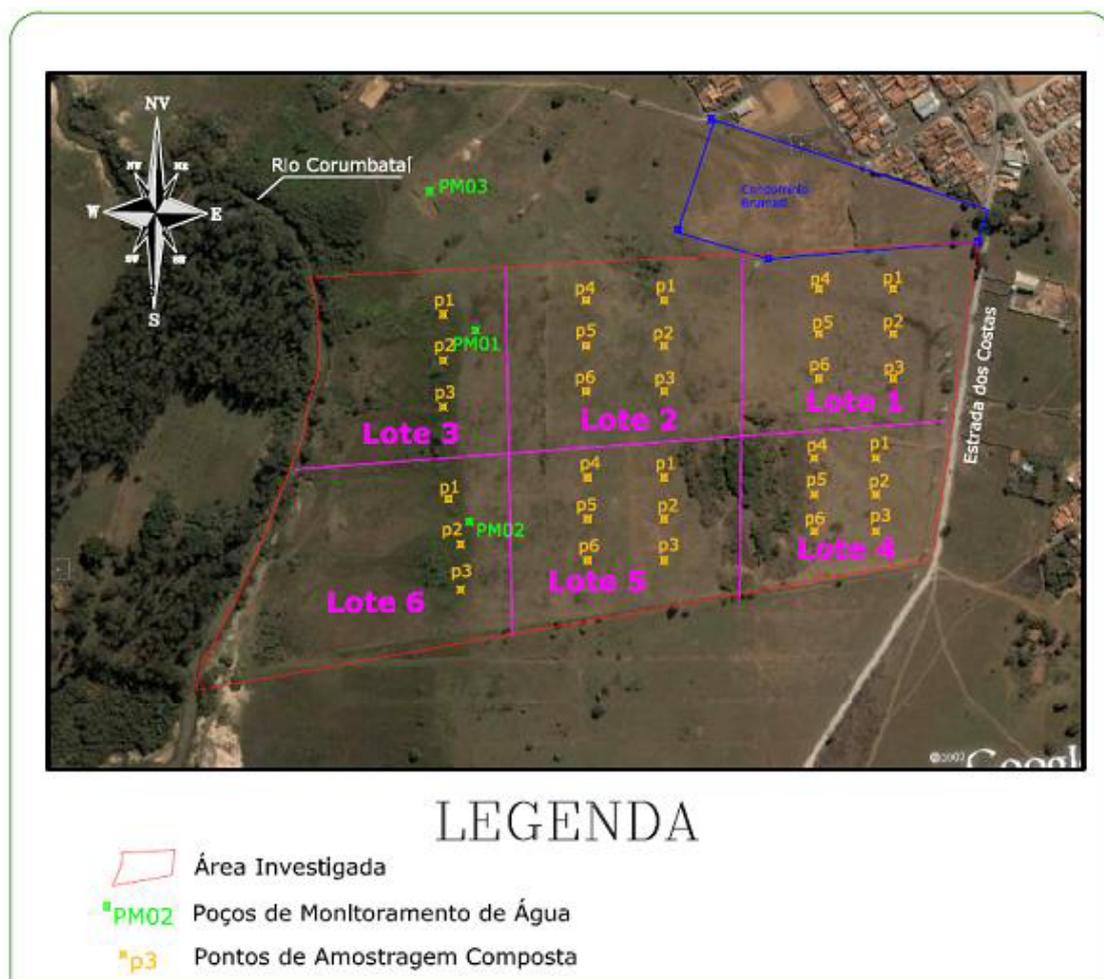


Figura 4.5 - Pontos de análise de água e solo (GEOINFORM, 2008)

Os resultados analíticos referentes a outras substâncias analisadas encontram-se na Tabela 4.2. Os valores comparativos apresentados na coluna extrema direita, referem-se a concentrações médias verificadas em amostras de solo podzólico vermelho amarelo virgem, coletadas na profundidade de 0 a 20 cm na Floresta Estadual de Rio Claro - SP, conforme divulgado no Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, publicado pela CETESB em 2001.

Tabela 4.2 - Resultados analíticos de solo (GEOINFORM, 2008)

Substâncias Analisadas – Solo	VRQ	Alerta	L.I.	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Floresta Estadual
	mg/kg									
Fenol	0,3	-	10	<0,005	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	-
Cromo Hexa	-	-	-	<0,2	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	-
Cromo Trivalente	40	75	700	28	12	9,8	21	18	9,1	-
Cobre	35	60	500	60	15	4,6	50	9,7	4,7	5
Zinco	60	300	1000	251	81	10	189	19	12	6,15
Prata	0,25	2	50	<0,5	<0,4	<0,3	<0,5	<0,5	<0,3	-
Estanho	-	-	-	31	1	1,3	12	<0,5	0,4	-
Boro	-	-	-	76	68	44	55	55	36	-
Arsênio	3,5	15	50	<0,5	<0,4	<0,3	<0,5	<0,5	<0,3	0,98
Antimônio	<0,5	2	10	5,2	3,2	2,4	4,3	4,6	2,4	-
Lítio	-	-	-	1	2,6	2,7	0,7	5,1	2,4	-
Chumbo	17	100	350	44	10	4,4	35	13	7,3	5
Magnésio	-	-	-	1240	339	361	162	422	304	-
Manganês	-	-	-	99	27	16	81	49	35	225
Alumínio	-	-	-	12910	15634	14699	12076	21843	11487	7700
Cromo	40	75	700	28	12	10	21	18	9,1	17,2
Mercurio	0,05	0,5	5	0,13	0,066	0,031	0,34	<0,022	0,025	0,02

VRQ - Valores de referência de qualidade
Valores de Alerta - Necessidade de monitoramento
L.I – Limite de intervenção (CETESB, 2005)

4.8.1.3. Amostragem e Análises de Água

Foram alocados 3 poços de monitoramento para a realização das análises de água subterrânea denominados PM-01, PM-02 e PM-03.

O PM-02 foi locado a jusante de pontos de sondagem superficial onde se registrou concentrações significativas de metano.

A locação dos poços de monitoramento está representada na Figura 4.5.

Na construção do PM-01 foram realizadas análises de V.O.C. e metano, foram coletadas 10 amostras, sendo que as amostras de 1 a 6 metros e a amostra correspondente aos 9 metros de profundidade, embora deformadas e destorroadas, apresentaram concentrações de metano variando entre 20 e 280 ppm.

Após a instalação do PM-01, com 10,32 metros de profundidade, o nível do aquífero freático subiu, estabilizando-se em 4,63 m a partir da cota da boca do poço.

Após a instalação do PM-02 e do PM-03, com 2,75 e 5,97 metros de profundidade, o

nível do aquífero freático subiu, estabilizando-se em 0,82 e 2,45 m a partir da cota da boca de cada poço, respectivamente.

As medições de profundidade da superfície freática da água subterrânea foram realizadas duas vezes, em intervalos quinzenais, de abril a maio, nos três poços de observação (PM-01, PM-02 e PM-03) instalados. Essas medidas foram realizadas em dias diferentes dos dias de coleta das amostras para análises bacteriológicas e/ou físico-químicas.

As cotas altimétricas dos poços foram determinadas através de levantamento em campo com equipamento GPS. A diferença de cota observada entre o topo do tubo dos poços até o solo é de 25 cm.

Os dados potenciométricos são apresentados na Tabela 4.3, a seguir:

Tabela 4.3 - Características dos poços de monitoramento (GEOINFORM, 2008)

Poço	Profundidade (m)	Cota Topo Tubo (m)	N.A. Médio (m)	Lâmina (m)	Carga Hidráulica (m)
PM-01	10,32	556,25	4,63	5,69	551,62
PM-02	2,75	563,25	0,82	1,93	562,43
PM-03	5,97	560,25	2,45	3,52	557,80

Após a instalação e desenvolvimento dos poços de monitoramento procedeu-se a amostragem da água subterrânea em cada poço instalado.

Em 26/03/08, as amostras foram coletadas e encaminhadas para análise a fim de se comparar o resultado com os valores propostos pelo Ministério da Saúde na Portaria 518 de 25/03/2004. Nesta ocasião as amostras de água não foram filtradas.

Em 25/04/08, realizou-se uma nova amostragem da água dos poços, com o objetivo de analisar novamente metais, desta vez, filtrando-se as amostras.

Também foi realizada análise da água superficial (rio Corumbataí). Para tanto, procedeu-se a amostragem da água a montante e a jusante da área estudada em 26/03/2008. Ambas as amostras foram analisadas e comparadas com os valores propostos pelo Ministério da Saúde na Portaria 518 de 25/03/2004. Nesta ocasião as amostras de água não foram filtradas.

Em 28/04/08, a água superficial foi reamostrada, nos mesmos pontos de montante e jusante, com o objetivo de proceder-se a análise das amostras filtradas.

As amostragens da água superficial foram realizadas no limite montante e no limite jusante, nos pontos de intersecção do limite das propriedades estudadas com o rio Corumbataí.

Os resultados analíticos referentes a substâncias analisadas nas amostras de água subterrânea e água superficial encontram-se nas Tabela 4.4 e 4.5, a seguir.

Tabela 4.4 - Resultados analíticos de água subterrânea e superficial filtrada (GEOINFORM, 2008)

Valores Orientadores		PM1-F	PM2-F	PM3-F	Rio Montante-F	Rio Jusante-F
Portaria 518 M. Saúde						
Limites Intervenção						
Substância	Água (mg/L)					
Alumínio	0,2	0,0452	0,1114	0,2077	0,2455	0,2521
Antimônio	0,005	0	0	0	0	0
Arsênio	0,01	0	0	0	0	0
Bário	0,7	0,0414	0,2002	0,0312	0,032	0,0325
Cádmio	0,005	0	0	0	0	0
Chumbo	0,01	0	0	0,009	0	0
Cobre	2	0	0	0	0	0
Cromo	0,05	0	0	0	0	0
Mercurio	0,001	0	0	0	0	0
Selênio	0,01	0	0	0	0	0
Ferro	0,3	0,0522	53,287	0,1368	0,7016	0,7023
Manganês	0,1	0,0109	1,9978	0,0496	0,00982	0,00609
Sódio	200	2,987	1,92525	4,344	5,505	5,076
Zinco	5	0,0152	0,0362	0,0102	0,0235	0,0111

Tabela 4.5 - Resultados analíticos de água subterrânea e superficial sem filtragem (GEOINFORM, 2008)

Valores Orientadores		PM-01	PM - 02	PM - 03	Rio Montante	Rio Jusante
Portaria 518 M. Saúde						
25/03/2004						
Substância	Água	PM-01	PM - 02	PM - 03	Rio Montante	Rio Jusante
	(mg/L)					
Alumínio	0,2	0,0090	1,67	1,66	0,0853	0,21
Antimônio	0,005	0	0	0	0	0
Arsênio	0,01	0	0	0	0	0
Bário	0,7	0,0706	0,31	1,65	0,0587	0,0836
Cádmio	0,005	0	0	0	0	0
Chumbo	0,01	0,0226	0,0263	0,011	0	0
Cianeto	0,07	0	0	0	0	0
Cobre	2	0,0044	0	0,0106	0,0077	0,0116
Cromo	0,05	0	0	0	0	0
Fluoreto	1,5	0,3	0	0,7	0,2	0
Mercúrio	0,001	0	0	0	0	0
Nitrato (como N)	10	0	0,6	5,3	0,4	0,6
Nitrito (como N)	1	0	0,6	0,17	0,06	0,06
Selênio	0,01	0	0	0	0	0
Coliformes Totais	Ausente	Presentes	Presentes	Presentes	Presentes	Presentes
Coliformes Fecais	Ausente	Ausentes	Presentes	Presentes	Presentes	Presentes
Bac. Heterotróficas	500	>200000	5500	1200	38500	2100
Microcistinas	0,001	0	0,2	0	0,2	0,2
pH (a 20°C)	6,0 - 9,5	6,87	6,08	6,00	6,00	6,27
Amônia	1,5	0	1,4	0,36	1,00	0,58
Cloreto	250	10,3	29,7	3,2	3,3	3,5
Cor Aparente	15	11	3733	26560	249	349
Dureza	500	138	0	22	26	34
Etilbenzeno	0,2	0	0	0	0	0
Ferro	0,3	0,19	38,6	0,22	0,98	1,74
Manganês	0,1	0,0121	1,21	3,10	0,0931	4,60
Odor	Não Objetavel	Não Objetavel	Objetavel	Objetavel	Não Objetavel	Não Objetavel
Gosto	Não Objetavel	Não Objetavel	Objetavel	Objetavel	Não Objetavel	Não Objetavel
Sódio	200	2,96	11,6	72,1	2,13	3,54
Sólidos Diss. Totais	1000	286	307	247	102	99
Sulfato	250	0	0	2,8	4,3	4,4
Sulfactantes	0,5	0	0	0	0,10	0
Tolueno	0,17	0	0,063	0	0	0
Turbidez	5	1,1	737	849	30	47
Zinco	5	0,004	0,0692	0,0375	0,0118	0,0110
Xilenos	0,3	0	0	0	0	0

Alguns parâmetros (Alumínio, Bário, Chumbo, Ferro e Manganês) ultrapassaram os valores de referência da Cetesb (2005), caracterizando então a área como contaminada, exigindo um estudo mais detalhado.

5. METODOLOGIA E ETAPAS DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos, realizou-se uma pesquisa de caráter bibliográfico, na tentativa de quantificar e qualificar os resíduos dispostos na área.

Por se tratar de um lixão desativado há muitos anos, nenhum registro a respeito das características dos resíduos dispostos foi encontrado na prefeitura, sendo apenas obtido o contrato de disposição assinado pelo antigo proprietário e a prefeitura.

Como alternativa a obtenção destes dados, foram realizadas entrevistas com moradores da região, antigos proprietários e antigos catadores.

5.1. Entrevistas

O objetivo das entrevistas foi descobrir como se comportou o uso e ocupação do solo passado da área de estudo e caracterizar os resíduos dispostos na época de funcionamento do lixão. As entrevistas objetivaram ainda obter uma delimitação aproximada do local utilizado para disposição e o tempo de funcionamento do lixão.

De acordo com os objetivos das entrevistas, alguns indivíduos foram selecionados e questionados da seguinte forma:

- Você morava no bairro quando o lixão estava em funcionamento?
- Quanto tempo o lixão esteve em funcionamento?
- Qual o local exato onde o lixo era disposto?
- Qual o tipo de resíduo era disposto?
- O que ocorreu após o término do lixão?

As entrevistas indicaram que todo tipo de resíduo foi descartado no local, inclusive resíduo de serviço de saúde. Constatou-se ainda que a área do antigo lixão restringia-se nas proximidades da Avenida dos Costa, sendo que no restante da área não houve deposição de resíduos. Apesar das informações obtidas, não se pôde definir o tempo exato em que o lixão permaneceu ativo.

As entrevistas também indicaram que após o término da disposição, por muito tempo os resíduos foram explorados, retirando-se materiais reutilizáveis como embalagens de vidro para serem reaproveitados.

Outro aspecto relevante foi que por um longo período de tempo, após o encerramento do lixão, a área foi utilizada para exploração de solo para construção civil, sendo que nesta

atividade, grande parte do lixo era amontoado para a retirada do solo subjacente. Esta atividade foi interrompida devido a uma ação do Ministério Público.

Após a constatação destes fatos, iniciou-se a fase que envolvia as atividades de campo.

5.2. Atividades de Campo

As atividades de campo foram facilitadas devido a localização da área de estudo estar dentro do perímetro urbano, com fácil acesso de veículos.

5.2.1. Reconhecimento da área de estudo

Foram realizadas diversas visitas para o reconhecimento da área. O principal objetivo desta etapa foi verificar quais as dificuldades que poderiam surgir durante os ensaios geofísicos.

Durante o reconhecimento, foi realizado um registro fotográfico constatando a presença de resíduos no local. Também foi observada a presença de uma rede de alta tensão que poderia gerar ruído nos ensaios geofísicos.

Na visita do dia 31 de maio de 2009, observou-se resíduo superficial próximo à área onde foi construído o condomínio adjacente. Este havia sido amontoado para uma futura remoção.

Foram também identificados os poços de monitoramento do laudo preliminar realizado pela Geoinform em 2008.

Comprovando os depoimentos das entrevistas, observou-se antigas leiras onde os resíduos foram amontoados. Diferenciando-se de todo o resto da área, esta zona apresenta uma vegetação de maior porte indicando um pequeno grau de recuperação. O restante da gleba é coberta por pastagem, e há presença de vegetação de várzea próxima ao rio Corumbataí.

Estas antigas leiras apresentam uma topografia irregular, impossibilitando a realização de qualquer ensaio de caminhamento elétrico ou sondagem elétrica vertical em seu interior.

As fotografias são apresentadas no Apêndice A – Registro Fotográfico.

5.2.1.1. Sondagens a Trado

No dia 19 de abril foi realizada uma tentativa de sondagem a trado, com auxílio de GPS para demarcação dos pontos. Foram feitos furos em pontos aleatórios distribuídos pela área (FIGURA 5.1).

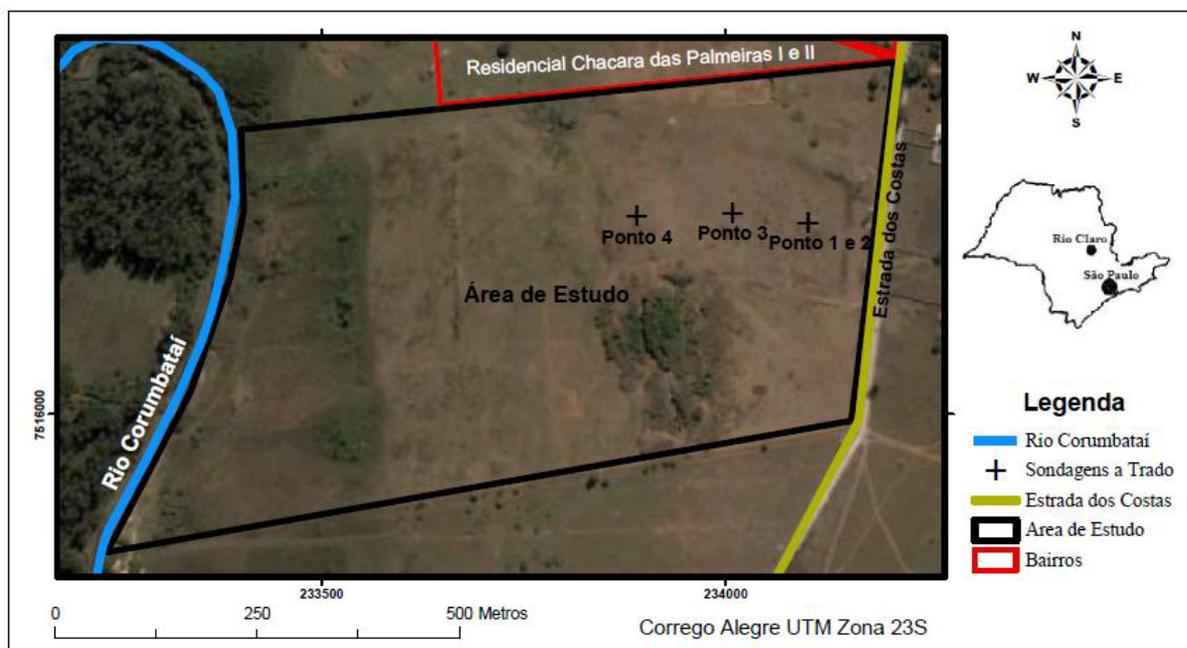


Figura 5.1 - Sondagens a trado

O objetivo da realização destas sondagens era comprovar as informações obtidas nas entrevistas e averiguar a presença de resíduo subsuperficial no local.

As fotografias obtidas nas sondagens encontram-se no Apêndice A – Registro Fotográfico e os resultados são apresentados a seguir.

1º ponto: Cota = 585 m; Coordenadas: 23k 0234102 UTM 7516240

Neste ponto, foi feito um furo até a profundidade de 0,60 m, quando foi encontrado resíduo duro (provavelmente vidro), impossibilitando a continuidade da perfuração para que não houvesse danos ao material de tradagem.

2º ponto: Cota = 583 m; Coordenadas : 23k 0234102 UTM 7516240

Realizado adjacente ao ponto 1, nos primeiros centímetros de perfuração do ponto 2 encontrou-se resíduos plásticos com indícios de um grau razoável de degradação. Observou-se também presença de manchas de matéria orgânica na parte superficial do solo. Perfurou-se até 1,60 m de profundidade e não foi encontrado resíduo sólido em maior profundidade.

3º ponto: Cota = 580 m; Coordenadas: 23k 0234009 UTM 7516252

Encontrou-se resíduo duro, possivelmente alumínio, aos 0,4 m de profundidade, impossibilitando a continuidade da perfuração. Pôde-se observar também uma boa quantidade de pequenas raízes proveniente das gramíneas do local, além de pequenas partes de resíduos como papel e provavelmente borracha ao redor do furo.

4º ponto: Cota = 575 m; Coordenadas: 23k 0233887 UTM 7516248

Neste ponto, até 2,2 m de profundidade não foi encontrado nenhum tipo de resíduo ou mancha de matéria orgânica.

O resumo dos resultados da sondagem a trado está ilustrado na tabela a seguir:

Tabela 5.1 - Resultados da sondagem a trado

Ponto	Cota (m)	Coordenadas	Presença de Resíduos
1	585	23k 0234102 UTM 7516240	SIM
2	583	23k 0234102 UTM 7516240	SIM
3	580	23k 0234009 UTM 7516252	SIM
4	575	23k 0233887 UTM 7516248	NÃO

5.3. Levantamento de Dados

5.3.1. Fotografias Aéreas

Com o intuito de se delimitar a área exata onde os resíduos foram depositados e sua evolução ao longo dos anos, foi realizada uma pesquisa sobre a existência de fotografias aéreas do local da época de disposição, sendo então adquiridas as fotos de nº06 da faixa 47A da obra 0584 de agosto de 1988 realizada pela empresa Terrafoto, e a nº20 da faixa 05 projeto 0-579 de junho de 1995 realizado pela BASE S.A.

A foto de 1988, apesar de estar mais próxima do período de operação do lixão, apresenta uma escala muito pequena (1:40000), sendo então descartada. Com a foto de 1995 (FIGURA 5.2), conseguiu-se observar áreas com o solo exposto indicando possíveis leiras abandonadas ou a atividade de exploração de terra.



Figura 5.2 - Foto área 1995 1:5000 (BASE S.A.,1995)

5.4. Ensaios Geofísicos

5.4.1. Aquisição dos Dados

Para aquisição dos dados geofísicos, foi utilizado o resistímetro Terrameter, modelo SAS 4000, fabricado pela ABEM (Suécia) (FIGURA 5.3). Este equipamento consiste em um módulo único de transmissão e recepção de dados, com 100W de potência e 4 canais de leitura (ABEM, 2006).

Para o levantamento das coordenadas e cotas dos pontos das SEVs, bem como o início e o fim das linhas de caminhamento elétrico, utilizou-se o sistema DGPS. Este levantamento utilizou antena e coletor de dados da marca Trimble. A correção diferencial dos dados obtidos, por meio da unidade móvel foi efetuada pelo programa Pathfinder Office.



Figura 5.3 - Terrameter modelo SAS 4000

5.4.2. Tratamento dos Dados

Para a interpretação dos dados geofísicos, os levantamentos geoeletricos exigem um processamento dos dados, fazendo-se necessários programas específicos. No presente trabalho utilizou-se o programa IX1D 3.42 da Interpex (Estados Unidos) para as sondagens elétricas verticais, e o RES2DINV 3.4 da Geotomo Software (Malasia) para os caminhamentos elétricos.

O RES2DINV é um programa que determina automaticamente um modelo bidimensional de subsuperfície a partir de dados de resistividade ou cargabilidade obtidos em ensaios de caminhada elétrica (GRIFFITHS e BARKER, 1993).

O modelo 2D utilizado no programa divide a pseudo-seção em blocos retangulares, que representarão a pseudo-seção pelo ajuste das medidas de campo. Esta otimização procura reduzir a diferença entre os valores de resistividade aparente calculados e os medidos em campo pelo ajuste da resistividade do modelo de blocos. Esta diferença é expressa pelo erro RMS (*root mean squared*) (LOKE e BARKER, 1996).

Para facilitar a interpretação dos dados criou-se uma escala padrão de cores antes de realizar a inversão.

Para as sondagens elétricas verticais, os dados obtidos em campo foram tabelados e processados no programa IX1D.

As interpolações das cotas superiores da zona saturada das sondagens elétricas e as resistividades das linhas de caminhada elétrico foram processadas no programa Surfer, versão 8, desenvolvido pela Golden software (Estados Unidos).

O Surfer é um pacote de programas gráficos comerciais, utilizado para o cálculo e a confecção de mapas de variáveis por meio de métodos de interpolação. Como método de interpolação, foi adotado o método de vizinhança ou ligação simples (*natural neighbor*). Neste método, os grupos iniciais são determinados pelos mais altos coeficientes de associação mútua, ou seja, para a admissão de novos membros é suficiente determinar quais os representantes de maior coeficiente de associação com um dos elementos de determinado grupo (LANDIM, 2004).

Utilizou-se também de softwares do pacote OFFICE da Microsoft para geração de tabelas e gráficos, e do software ArgGis da ESRI para geração de mapas.

5.4.3. Técnicas e Arranjos de Campo

Para a elaboração deste trabalho, duas técnicas de eletrorresistividade foram utilizadas: a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e o Caminhamento Elétrico (CE). Basicamente o que diferencia estas técnicas é que enquanto na SEV o objetivo é detectar as anomalias verticais ocorridas em subsuperfície, com investigação pontual de 1 dimensão, no CE são as variações laterais de resistividade elétrica que interessam, apresentando como resultado uma imagem 2D de subsuperfície.

Devido às vastas possibilidades de disposição dos eletrodos, tanto as SEVs quanto os CEs permitem inúmeros arranjos e configurações. A escolha do arranjo de campo depende de fatores diversos como o objetivo a ser atingido, a relação sinal/ruído, a geometria do alvo e a praticidade da execução do ensaio.

Existem dois principais arranjos para realização de SEVs: o arranjo Wenner e o arranjo Schlumberger. A diferença entre estes arranjos consiste na distância dos eletrodos de potencial MN. Enquanto no arranjo Schlumberger esta distância permanece fixa aumentando apenas a distância entre AB, no arranjo Wenner, a distância entre MN cresce de acordo com a evolução de AB. Em ambos os ensaios a configuração dos eletrodos é AMNB.

Na prática, quando a distância entre AB cresce muito, há uma diminuição de sinal que pode gerar leituras erradas, sendo então necessário o aumento de MN. Este gera uma curva paralela à inicial, exigindo uma correção desta curva após o campo.

O arranjo Schlumberger apresenta maior versatilidade na execução dos trabalhos de campo em relação ao arranjo Wenner devido ao deslocamento de apenas um par de eletrodos e leituras com menor suscetibilidade a interferências indesejáveis provenientes de linhas de alta tensão e transformadores elétricos (MOREIRA, 2009).

Devido à praticidade e velocidade de execução do ensaio, o arranjo escolhido foi o Schlumberger, que apresentou boa resposta em relação ao objetivo pretendido.

A técnica de Caminhamento Elétrico apresenta maior variedade de arranjos. Como exemplos encontram-se os arranjos Polo-Polo, Polo-Dipolo, Dipolo-Dipolo, Wenner-Schlumberger e Dipolo-Dipolo Equatorial.

Para uma boa resolução e cobertura horizontal, Ferreira (2002) sugere o arranjo Dipolo-Dipolo como o mais adequado entre as configurações de campo.

Cogon (1973) avaliou as potencialidades dos arranjos eletródicos Gradiente, Dipolo-dipolo e Polo-dipolo através de simulações numéricas através do método de Elementos

Finitos, na finalidade de obter melhores condições de aquisições em campo através do método IP. O autor, através das simulações numéricas, considerou que o arranjo Dipolo-dipolo apresentou melhor resolução para as anomalias (magnitude da resposta) e melhor sensibilidade na profundidade de investigação.

Seguindo a linha dos levantamentos realizados pelos autores citados no capítulo 3, e pela simplicidade e praticidade da configuração dos eletrodos, o arranjo Dipolo-Dipolo foi o escolhido como mais adequado perante os objetivos do presente estudo.

5.4.3.1. O Arranjo Schlumberger

Para a realização deste trabalho, foi escolhido o arranjo Schlumberger para a execução das Sondagens Elétricas Verticais.

O arranjo Schlumberger consiste em dispor dois eletrodos de potenciais M e N entre dois eletrodos de corrente A e B, e medir a diferença de potencial formada entre os eletrodos MN resultante da corrente introduzida por AB. À medida que se deseja aumentar a profundidade da leitura, separa-se simetricamente a distância entre A e B mantendo a distância entre M e N fazendo com que esta relação distância MN/AB tenda a zero (FIGURA 5.4).

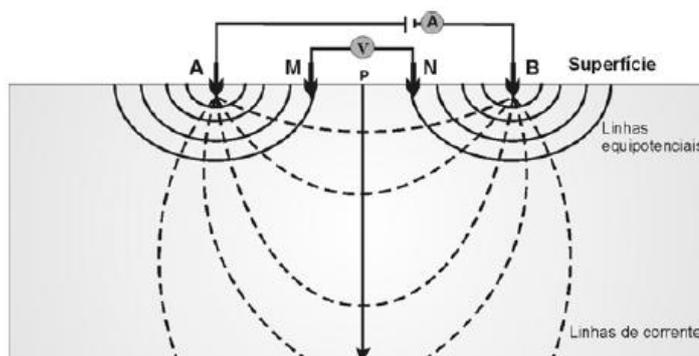


Figura 5.4 - Arranjo Schlumberger

Na prática, quando a distância AB é aumentada, o sinal medido entre MN (ΔV) apresenta baixa intensidade. Esta situação causa erros de leitura, sendo então necessário aumentar MN. Esta operação, denominada “embreagem”, serve como controle de qualidade do ensaio e exige que a curva de campo seja corrigida.

O coeficiente geométrico **K** do arranjo pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$K = \pi \cdot \left(\frac{\overline{AM} \cdot \overline{AN}}{\overline{MN}} \right) \quad \text{Equação 4}$$

No presente trabalho, foram realizadas 8 sondagens elétricas verticais. Sempre respeitando a relação $MN \leq AB/5$, foram utilizados os seguintes espaçamentos:

- AB/2: 1,5 - 2,0 - 3,0 - 4,0 - 5,0 - 6,0 - 8,0 - 10,0 - 13,0 - 16,0 - 20,0 - 25,0 - 30,0 - 40,0 - 50,0 - 60,0 - 80,0 e 100,0 m.
- MN/2: 0,30 - 2,0 - 5,0 e 10,0 m.

5.4.3.2. Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo

A técnica de caminhamento elétrico tem como objetivo investigar as variações de resistividade ao longo de uma linha horizontal. Esta técnica tem como resultado uma seção 2D, gerando um perfil lateral de subsuperfície com diferentes níveis de profundidade.

Se o intuito da pesquisa é obter tanto uma boa resolução horizontal como uma boa convergência, o arranjo escolhido deverá ser o Dipolo-Dipolo (OLIVA, 2006).

O arranjo Dipolo-Dipolo cada vez mais vem sendo utilizado em investigações ambientais, e possui a configuração ABMN na disposição dos eletrodos.

Este arranjo consiste na adoção de um espaçamento (x) igual para os eletrodos AB e MN, o que causa uma facilidade operacional. Feita a leitura, deslocam-se os eletrodos MN nesta mesma distância ao longo de uma linha, aumentando a profundidade de investigação. Para obtenção do perfil lateral, medidos todos os níveis de investigação desejados, “caminha-se” de uma mesma distância x com toda configuração do ensaio.

O ponto de atribuição do ensaio se encontra no cruzamento de uma reta com ângulo de 45° que parte do centro de M e N, com outra que sai do centro de A e B denominado R/2 com profundidade teórica n (FIGURA 5.5).

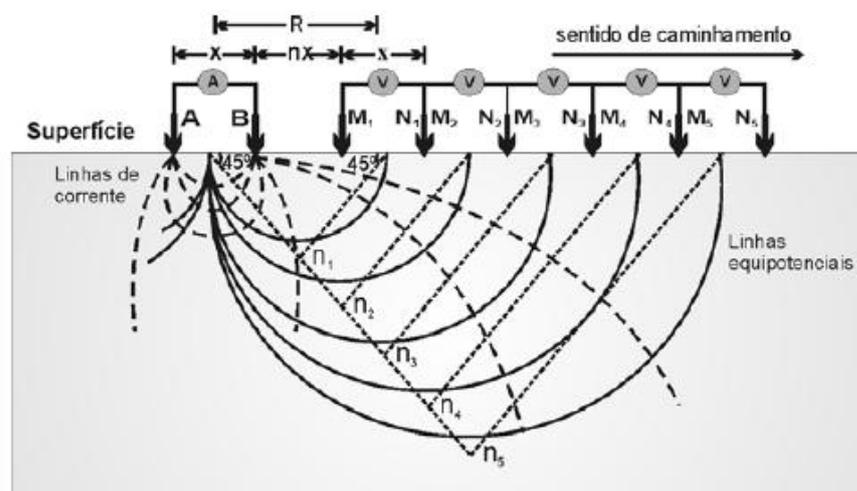


Figura 5.5 - Caminhamento Dipolo- Dipolo

O fator geométrico K deste arranjo é calculado pela fórmula:

$$K=2\pi Gx \quad \text{para} \quad G = \frac{1}{\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}} \quad \text{Equação 5}$$

x = espaçamento entre os dipolos AB e MN

n = nível teórico de investigação

No presente trabalho, foram realizadas 5 linhas de caminhamento elétrico, atingindo até 8 níveis de investigação

5.4.4. Locação dos Ensaio

Tomando como base a fotografia aérea obtida na etapa anterior, uma primeira linha de reconhecimento foi realizada na área. Esta linha foi denominada “Linha Inicial”.

A Linha Inicial teve como objetivo diagnosticar o estudo de subsuperfície local, gerando subsídios para a locação das outras linhas posteriores e das sondagens elétricas verticais.

A Linha Inicial teve início no limite da propriedade, com sentido S-N, o que possibilitou cortar toda a área de solo exposto observada na fotografia aérea. O ponto final chegou próximo ao muro do condomínio Residencial Chácara das Palmeiras.

Após o processamento da Linha Inicial, foram então realizadas outras duas linhas próximas à Linha Inicial denominadas “Linha 1” e “Linha 2” (FIGURA 5.6). A Linha 1 se localizou a oeste da Linha Inicial e a Linha 2 a leste. Estas linhas foram realizadas com um maior nível de investigação e abrangeram toda a área observada na fotografia aérea. Não foi possível evitar o cruzamento da linha de alta tensão.

Para a comparação de resultados, fez-se necessário a elaboração de uma linha em um local próximo, onde não houvesse ocorrido deposição de resíduos. Para tanto, foi realizada a “Linha Referência 1”, localizada em outra área atravessando a avenida dos Costas após o divisor de águas a sul das outras linhas.

A Linha Referência 1 apresentou valores de resistividade muito elevados, e para averiguação destes resultados, uma segunda linha de referência denominada “Linha Referência 2” foi realizada. Esta linha localiza-se a sudoeste da área de disposição. A locação das linhas de caminhamento elétrico é apresentada na Figura 5.6.

As sondagens elétricas verticais foram alocadas em uma malha irregular, com o objetivo de cobrir toda a área de estudo. Os limites da área com o condomínio adjacente e a existência de locais de superfície irregular como as leiras abandonadas, também influenciaram na alocação das SEVs.

A SEV 06 foi realizada ao lado de um dos poços de monitoramento do laudo preliminar. O objetivo desta sondagem foi comparar o resultado da SEV 06 com a descrição do poço efetuada pelo laudo, para se obter um melhor modelo de camadas.

A locação das sondagens, suas coordenadas e cotas são apresentadas na figura a seguir.

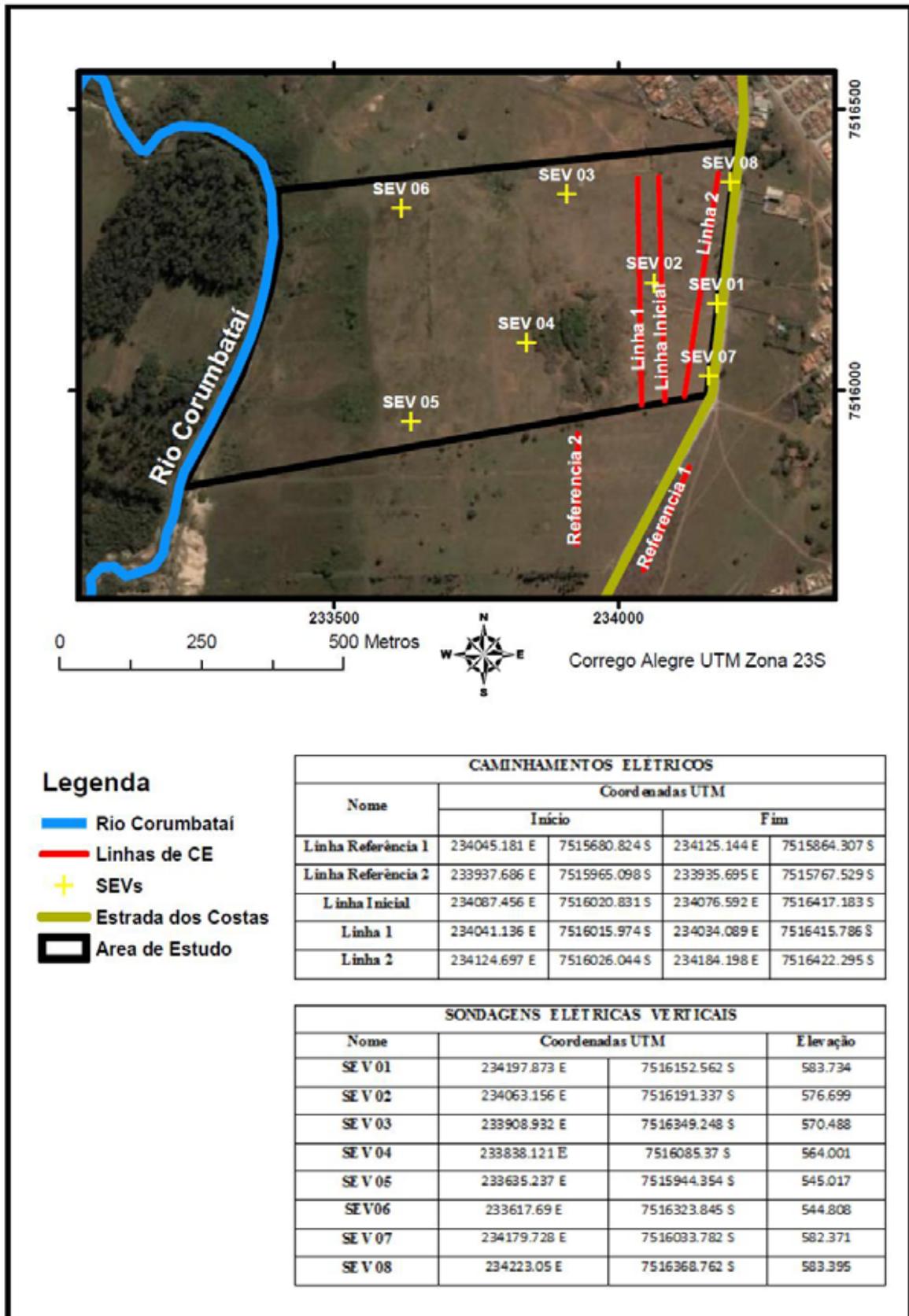


Figura 5.6 - Locação dos ensaios geolétricos

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Ensaios Geofísicos

6.1.1. Caminhamentos Elétricos

6.1.1.1. Linha Inicial

O planejamento da Linha Inicial baseou-se na fotografia aérea de 1995. O objetivo principal desta linha foi ter uma idéia preliminar do que seria encontrado no subsolo da área, e qual o atual comportamento das camadas e suas respectivas resistividades.

Por se tratar de um diagnóstico prévio, a Linha Inicial foi realizada com apenas 5 níveis de investigação, diferenciando-se das outras linhas por ter como alvo apenas a possível camada contaminada. Esta linha possuiu o sentido de caminhamento S-N.

Como observado na Figura 6.1, a pseudo-seção apresentou uma zona com resistividades calculadas mais baixas em seu centro (< 500 Ohms.m), a partir de 160 metros de seu início, próximo ao local identificado pela fotografia aérea.

Também é observada uma região com resistividade inferior a 250 Ohms.m a partir da posição 210 m com final em 230 m. Esta região indica a posição da fonte principal de contaminação, fazendo com que as substâncias provenientes da decomposição dos resíduos facilmente entre em contato com a água subterrânea.

A extremidade da linha apresentou regiões com resistividades mais elevadas, principalmente próximo ao final da linha (> 2500 Ohms.m). Uma vez que os percolados provenientes dos resíduos provocam uma queda de resistividade, isto indica uma menor influência dos resíduos ao norte da área de estudo.

A pseudo-seção também conseguiu atingir o nível d'água (N.A.). Nesta linha, o NA encontra-se em torno de 10 m de profundidade. Esta constatação foi reafirmada após a realização das sondagens elétricas, principalmente da SEV 02, realizada próxima a esta linha.

6.1.1.2. Linha Referência 1

O objetivo principal da linha Referência 1 foi identificar o comportamento da resistividade do subsolo sem influência dos resíduos. Para tanto, esta linha foi realizada na vertente oposta ao local de disposição, fora da área de estudo. O início desta linha dista 340 m do início da Linha Inicial, e seu desenvolvimento acompanhou a topografia local com sentido SW-NE de caminhamento.

Esta linha foi realizada com 8 níveis de investigação para alcançar uma maior profundidade.

A pseudo-seção obtida apresentou um padrão de camadas horizontais paralelas de resistividade, a qual cresce de acordo com a profundidade. Devido a este fato, não conseguiu-se delimitar o N.A., o qual deveria apresentar uma resistividade inferior às camadas superiores (FIGURA 6.2).

A linha em questão apresentou resistividades muito elevadas se comparadas com a Linha Inicial, chegando a pontos de resistividades maiores que 50 mil Ohms.m. Para averiguar a veracidade destes valores, uma parte desta linha foi realizada novamente em outra data. O segundo ensaio desta mesma linha apresentou resultados próximos aos anteriores.

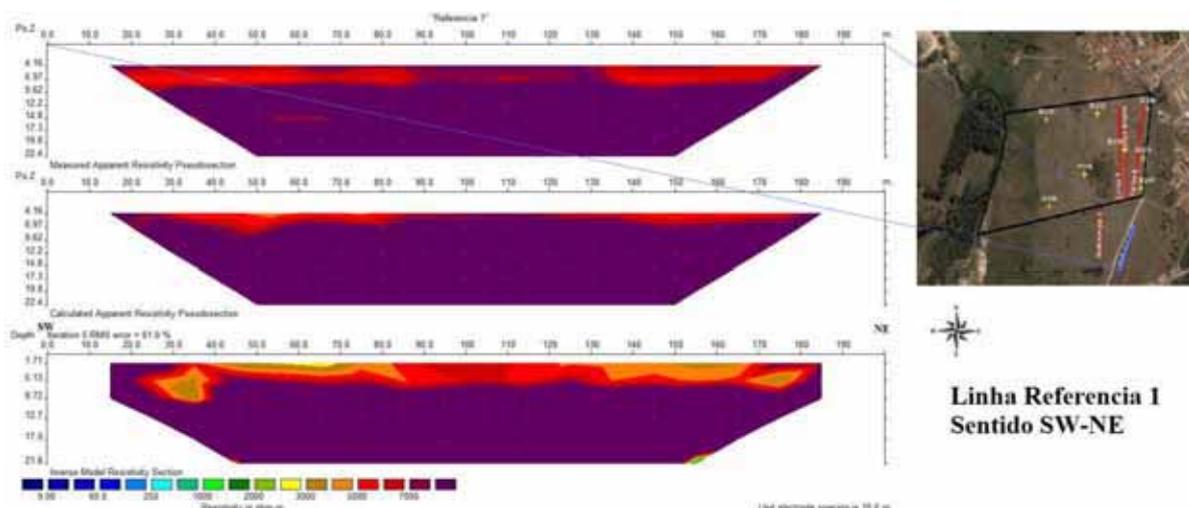


Figura 6.2 - Linha Referência 1

Em sua grande maioria, a resistividade calculada desta linha apresenta valores maiores que 8000 Ohms.m. Também identificou-se uma camada superior de solo com resistividades entre 2500 a 6000 Ohms.m.

Comparando o resultado obtido com o mapa geológico elaborado por Zaine (1994), os altos valores medidos foram atribuídos à presença dos arenitos da Formação Rio Claro.

Os altos valores de resistividade encontrados podem gerar erros em todos os cálculos realizados pelo programa. Portanto, os dados obtidos desta linha foram descartados, planejando-se então uma segunda linha de referência.

A principal informação obtida através desta linha foi que o ambiente natural da região certamente apresenta resistividades altas.

6.1.1.3. Linha Referência 2

A linha Referência 2 também foi realizada fora da área de estudo, porém, na mesma vertente do antigo lixão, e com sentido N-S. O início desta linha dista 115 m da Linha Inicial.

A pseudo-seção apresentou resistividades mais elevadas (> 7000 Ohms.m) em sua superfície comparados com as resistividades da Linha Inicial, indicando a presença da Formação Rio Claro no local (FIGURA 6.3).

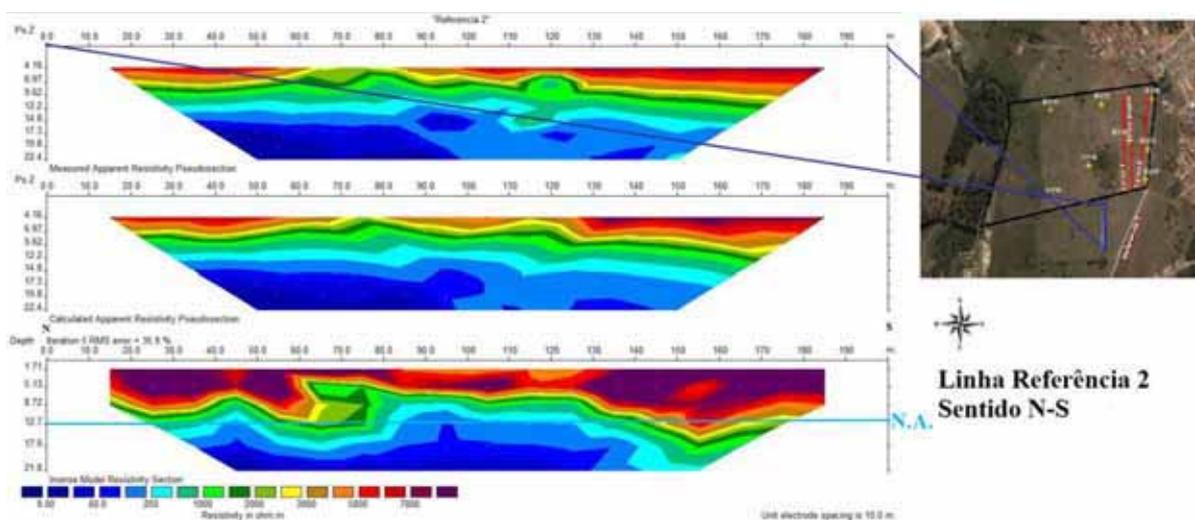


Figura 6.3 - Linha Referência 2

No centro da linha, observa-se a diminuição da espessura da Formação Rio Claro. Este fato está relacionado à existência de uma pequena depressão no local, proveniente do tráfego de máquinas pesadas, como foi observado em campo.

Esta linha, localizada na mesma vertente da área de disposição de resíduos, atingiu o N.A., este, localizado em torno de 10 m de profundidade no local, foi relacionado a valores inferiores a 200 Ohms.m.

6.1.1.4. Linha 1

A Linha 1 foi locada a jusante da Linha Inicial, distando 45 m da mesma. Seu desenvolvimento segue paralelo a esta, com sentido S-N. Esta linha foi elaborada com 8 níveis de investigação, o que possibilitou atingir o N.A.

Seguindo o padrão da Linha Inicial, os valores de resistividade mais elevados se encontram ao norte (final da linha) na faixa de 2500 a 5000 Ohms.m (FIGURA 6.4). Comparando-a com a Linha Inicial, observou-se um avanço desta maior resistividade no sentido N-S, indicando que a porção sul da área sofre menor influência dos contaminantes.

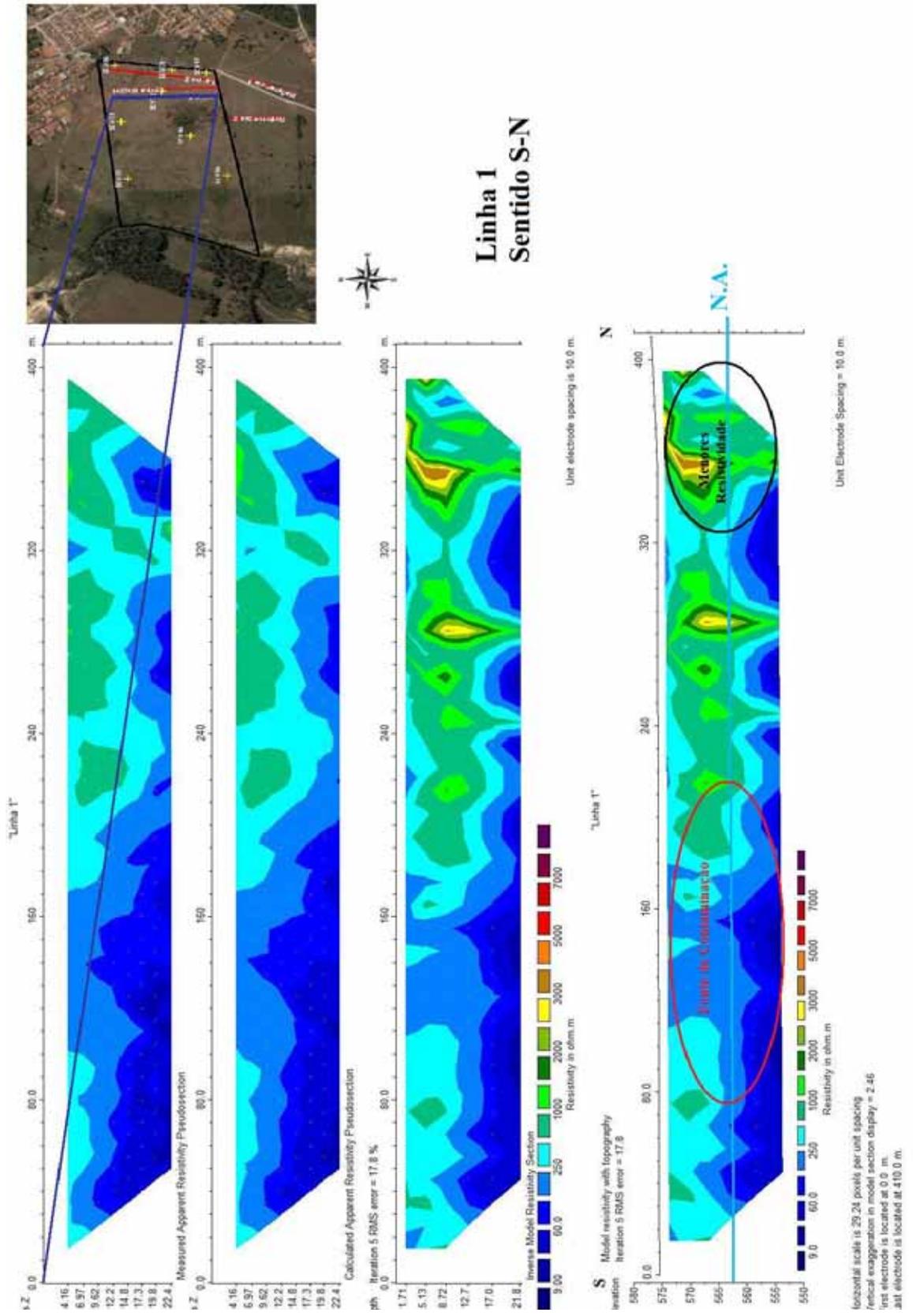


Figura 6.4 - Linha 1

Esta linha também apresentou resistividade inferior a 500 Ohms.m em superfície, chegando a valores inferiores a 250 Ohms.m. Esta região de baixas resistividades indica a posição da fonte principal de contaminação, sendo esta encontrada mais a sul da área se comparado a Linha Inicial (posição 130 à 160m).

Nos pontos próximos ao início da linha, os valores de resistividade indicaram forte influência dos contaminantes no local. O N.A. foi associado a valores inferiores a 100 Ohms.m.

6.1.1.5. Linha 2

Com o objetivo de uma melhor visualização 3D do subsolo da área, a Linha 2 foi locada a montante da Linha Inicial, distando 40 m de seu início. Diferentemente da Linha 1, esta linha não seguiu paralela à Linha Inicial, possuindo então sentido SW-NE. Esta mudança de sentido fez com que uma maior área fosse abrangida pelos ensaios.

Novamente observou-se um local de menor resistividade associado à fonte principal de contaminação (FIGURA 6.5). Este local apresentou-se em uma posição semelhante à da Linha Inicial.

É importante observar a presença de zonas superiores a 2000 Ohms.m próximo ao início da linha, indicando que a contaminação da área está relacionada ao centro da linha.

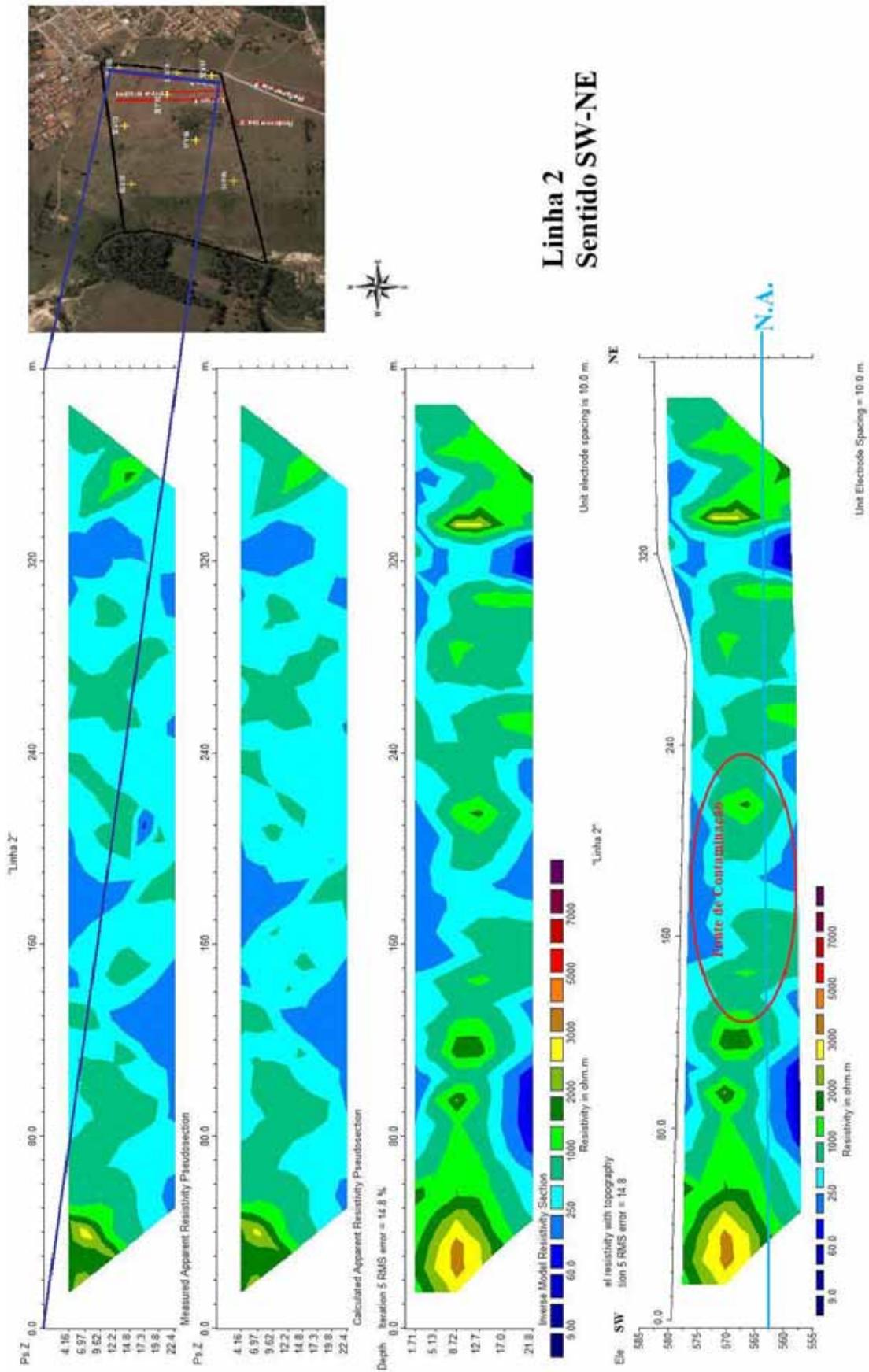


Figura 6.5 - Linha 2

6.1.2. Sondagens Eléctricas Verticais

6.1.2.1. SEV 01

A SEV 01 foi realizada a montante da área de disposição de resíduos, ao alto da depressão existente no local, com distância máxima entre AB de 200 metros, fora do local de disposição de resíduos (FIGURA 5.6).

Após o tratamento dos dados obtidos em campo, o ponto onde foi locada a SEV 01 apresentou 3 camadas com diferentes resistividades (FIGURA 6.6).

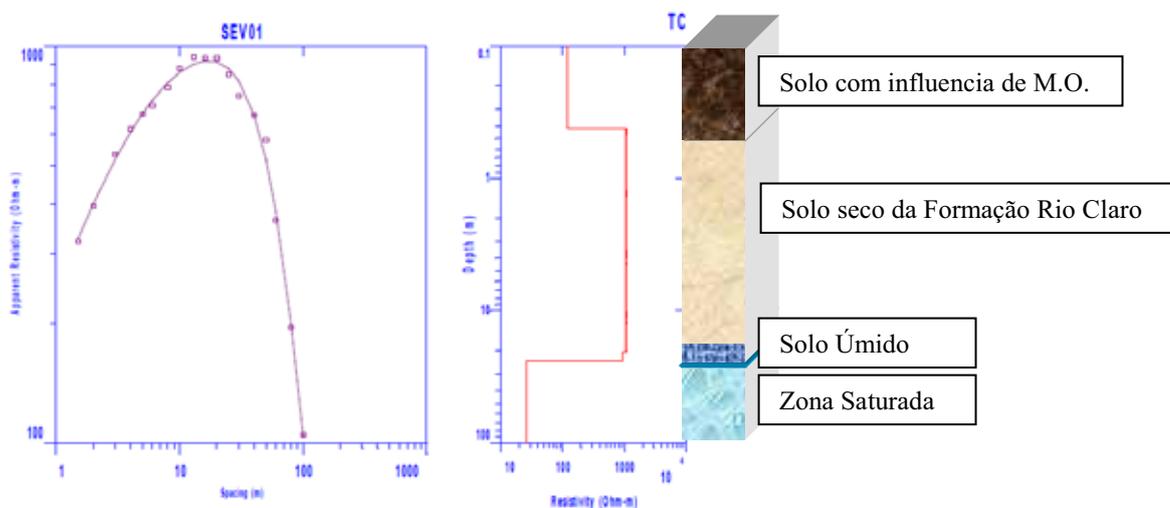


Figura 6.6 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV 01

A primeira camada apresentou resistividade de 120 Ohms.m com espessura de aproximadamente 0,5 m. Esta camada foi associada ao solo proveniente da Formação Rio Claro com influência da matéria orgânica.

A segunda camada identificada apresentou resistividade de 1070 Ohms.m e espessura 20 m. Este alto valor está relacionado a um solo seco originado dos arenitos da Formação Rio Claro. Quando úmido, a resistividade aparente deste solo apresentou 944 Ohms.m.

O N.A. deste ponto foi atribuído à camada que apresentou menor resistividade (26 Ohms.m).

6.1.2.2. SEV 02

A SEV 02 foi locada no centro da área de disposição, dentro da depressão encontrada no local (FIGURA 5.6). Esta localização ocasionou um formato diferenciado da curva de resistividade da SEV apresentando um maior número de camadas (FIGURA 6.7).

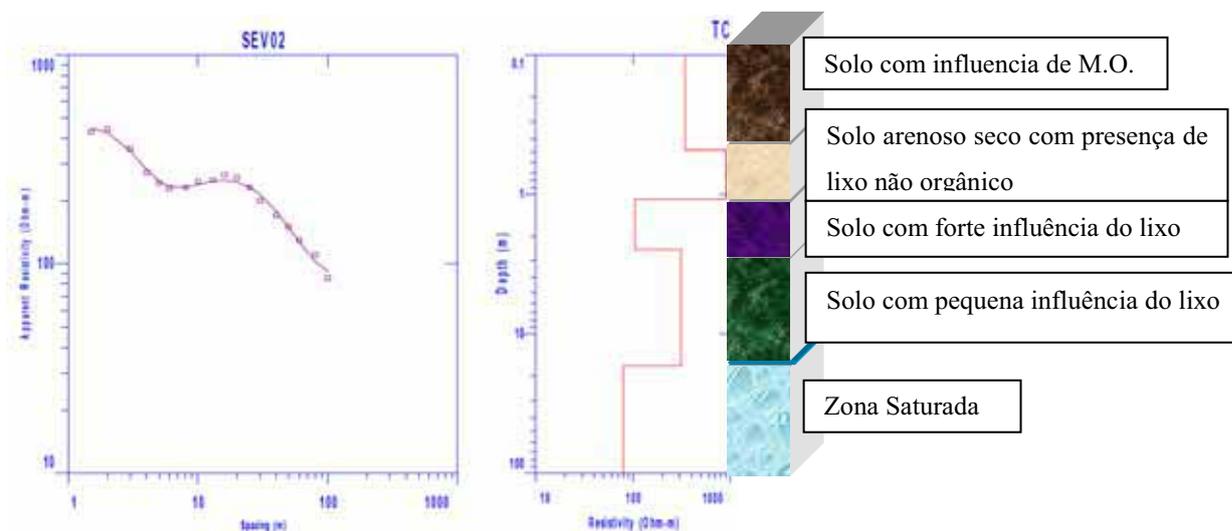


Figura 6.7 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV02

A primeira camada apresentou resistividade de 340 Ohms.m com espessura de 0,5m. Novamente esta camada foi associada ao solo com influência de matéria orgânica e de resíduos, de acordo com as observações feitas através das sondagens a trado.

A segunda camada, com resistividade 906 Ohms.m e espessura 0,6m, foi identificada como um solo arenoso não saturado. Este aumento está vinculado à maior presença de materiais de difícil degradação como plásticos e vidros. A partir de 1,1 m de profundidade pode-se observar uma camada com uma grande queda de resistividade (104 Ohms.m). Relacionando com os resultados dos caminhamentos elétricos, esta camada foi relacionada a um solo com forte influência das substâncias provenientes dos resíduos, sofrendo um acúmulo das mesmas.

Uma quarta camada com espessura de 1,4 m e profundidade 2,5 m foi identificada com 307 Ohms.m. Esta camada assemelha-se à camada superficial, diferenciando-se apenas por sofrer uma alteração de valores devido às substâncias provenientes da camada superior.

A camada de menor resistividade do ensaio (79 Ohms.m) encontra-se a 17 m de profundidade, de onde foi retirada a cota superior do N.A.

6.1.2.3. SEV 03

A SEV 03 encontra-se em uma cota inferior se comparado às cotas das SEV 01 e 02 (FIGURA 5.6). Sua posição está relacionada com os resíduos observados na construção do condomínio Chácara das Palmeiras adjacente à área de estudo. O modelo de resistividade apresentou semelhança com o da SEV 02 (FIGURA 6.8). Diferentemente das outras sondagens elétricas, por quesitos operacionais, a distância maior de AB atingiu apenas 160 m.

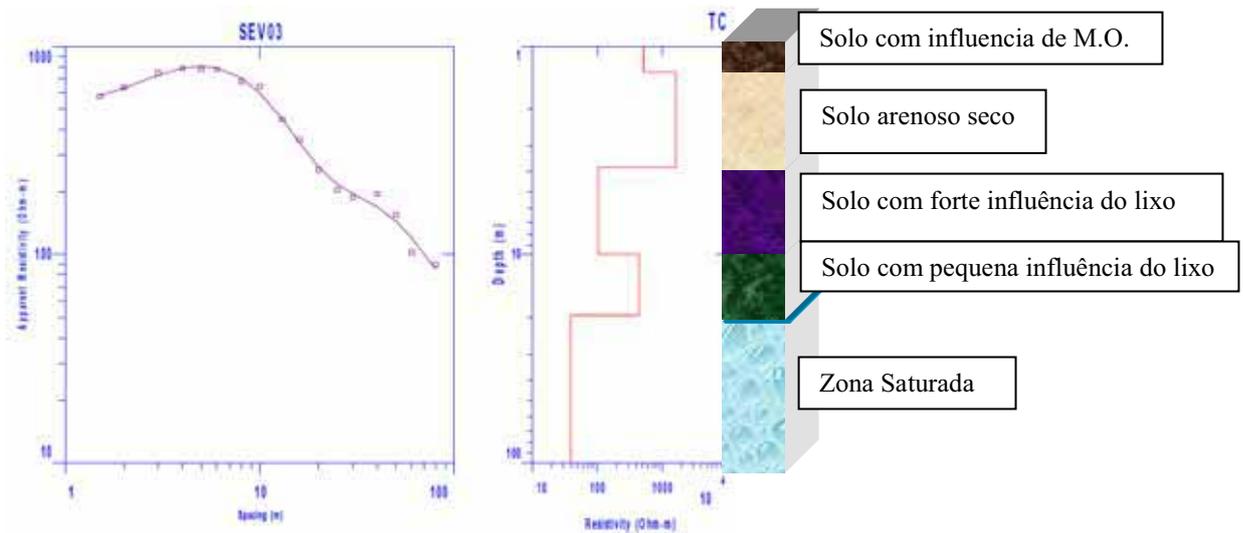


Figura 6.8 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV03

Novamente foram identificadas 5 camadas de resistividade, sendo a primeira camada encontrada com 519 Ohms.m e 1,3 m de profundidade. O modelo interpretado adotado foi o mesmo que o da SEV 02.

As camadas 2, 3 e 4 apresentaram 1611, 102 e 435 Ohms.m de resistividade, e 2.5, 6.1 e 9.5 m de espessura respectivamente.

O N.A. foi atribuído à camada inferior que possui 38 Ohms.m de resistividade e 19,5 m de profundidade.

6.1.2.4. SEV 04

A SEV 04 encontra-se a jusante da área, apresentando vegetação de maior porte e cota inferior à SEV 03 (FIGURA 5.6). O modelo de resistividade tratado desta SEV originou 4 camadas diferenciadas (FIGURA 6.9).

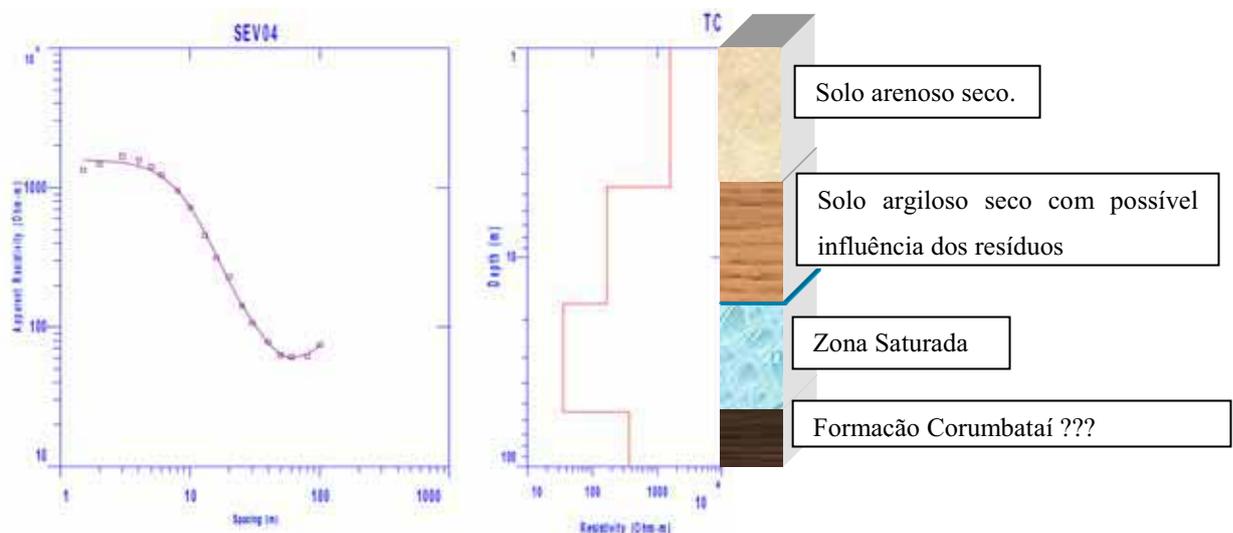


Figura 6.9 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV04

A primeira camada de maior resistividade (1583 Ohms.m) foi relacionada aos sedimentos arenosos inconsolidados provenientes da Formação Rio Claro. Esta camada não

apresentou características de influência dos resíduos, e possui espessura de 4,5 m.

Com espessura de 12 m, a segunda camada é constituída de sedimentos argilosos, o que justifica a queda de resistividade (169 Ohms.m). Esta queda pode estar também associada a uma pequena influência dos resíduos a montante, localizados na área de vegetação de maior porte.

Nesta sondagem pôde-se delimitar a espessura da zona saturada (40 m) que apresentou resistividade igual a 36 Ohms.m no local. O N.A. neste ponto encontra-se a 16,4 m de profundidade.

Comparando com os resultados obtidos pela SEV 06 e com o mapa geológico de Rio Claro (ZAINÉ, 1994), a quinta e última camada identificada (404 Ohms.m) pode estar relacionada com a Formação Corumbataí.

6.1.2.5. SEV 05

Locada próxima ao limite sul da área de estudo (FIGURA 5.6), a SEV 05 apresentou 4 camadas de resistividade (FIGURA 6.10). Para a escolha do ponto de investigação, observou-se os limites do terreno e a necessidade de se elaborar uma malha de sondagens que abrangesse a maior parte da área de estudo.

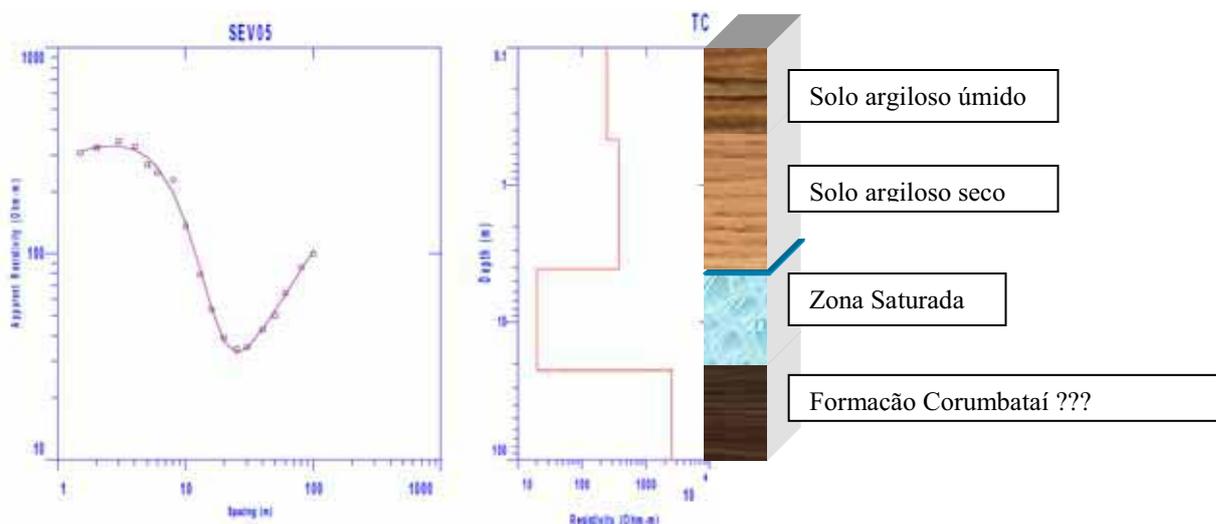


Figura 6.10 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV05

A SEV 05 se encontra próxima a área alagada encontrada na parte oeste da gleba, o que indica um solo úmido, rico em matéria orgânica na camada superior, apresentando uma resistividade mais baixa (246 Ohms.m e 0,5 m de espessura).

O modelo de interpretação da SEV 05 baseou-se na interpretação obtida na SEV 06. Ao se cruzar estes modelos, observou-se a presença de uma camada com 382 Ohms.m em uma profundidade de 0,5 m, sendo então relacionada a um solo argiloso seco.

O N.A. neste ponto apresenta uma resistividade de 20 Ohms.m e profundidade de 4 m. Novamente atingiu-se a base do nível freático, a 22 m de profundidade no local.

6.1.2.6. SEV 06

A SEV 06 foi locada próxima ao poço de monitoramento PM01 construído pela Geoinform (FIGURA 5.6). O objetivo desta sondagem foi calibrar as camadas de resistividades obtidas, relacionando-as com a descrição litológica do poço presente no laudo.

O laudo apresenta diversas camadas, apresentando solo argiloso com alteração apenas na coloração, N.A. com profundidade de 4,6 m, e contato solo/rocha em 10 m de profundidade.

Devido à presença de relevo irregular ao norte da sondagem, a SEV 06 possuiu abertura máxima entre AB de 160 m. O modelo obtido após processamento está ilustrado na Figura 6.11.

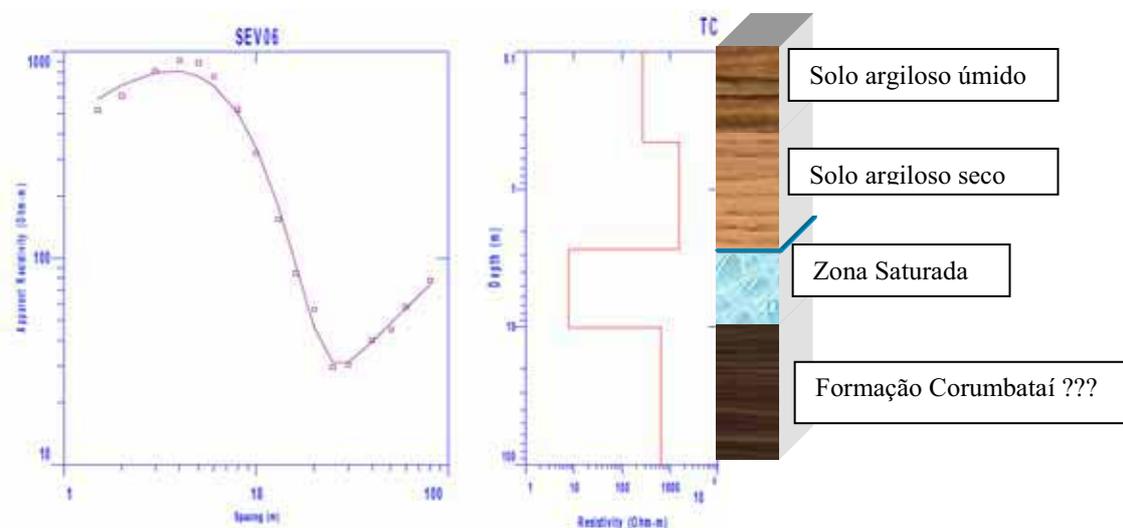


Figura 6.11 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV06

Semelhante à SEV 05, 4 camadas foram identificadas e relacionadas com a descrição do PM01. A primeira camada de resistividade (268 Ohms.m) foi correlacionada a um solo argiloso úmido com espessura de 0,5 m. A segunda camada foi então definida como solo mais arenoso que o anterior, seco, de espessura 2,3 m e resistividade 1558 Ohms.m.

Este ensaio foi realizado após um período de ocorrência de alta pluviosidade, portanto, era esperado um aumento na cota superior do lençol freático. Este apresentou resistividade de 8 Ohms.m e profundidade de 3 m no local.

A resistividade de 650 Ohms.m e profundidade de 10 m obtida através do modelo da SEV 06 foi relacionada a Formação Corumbataí encontrada na ocasião da construção do PM01.

O modelo interpretado desta sondagem foi novamente utilizado na interpretação da última camada da SEV 04, e em todas as camadas da SEV 05.

6.1.2.7. SEV 07

Para melhor cobertura da área de estudo, a SEV 07 foi realizada ao extremo sudoeste da gleba, ao alto da depressão encontrada em campo (FIGURA 5.6). Apesar de se esperar uma curva com características da SEV 01, após processada, esta se assemelhou à curva obtida na SEV 02 (FIGURA 6.12).

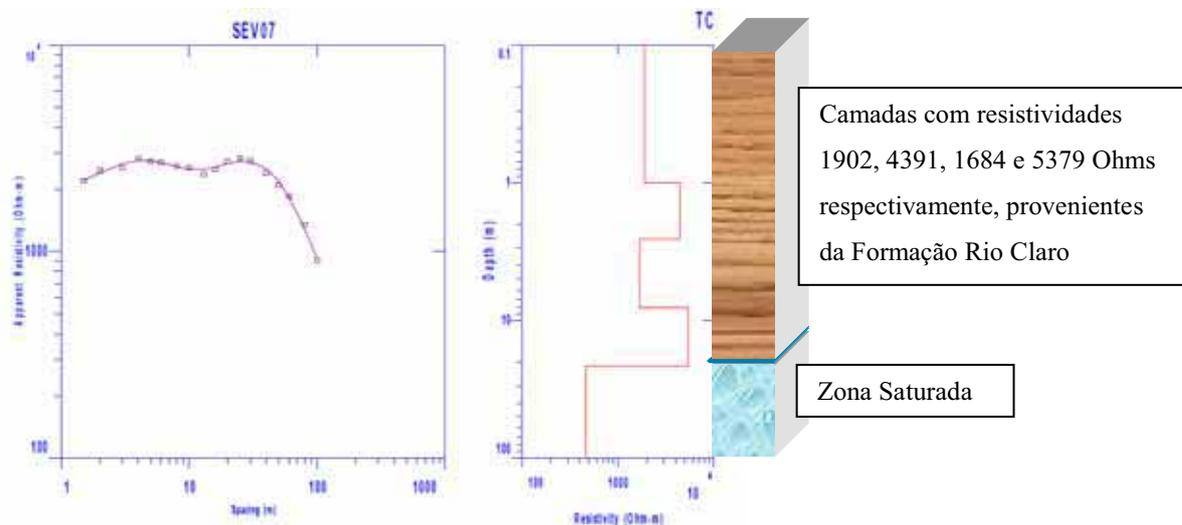


Figura 6.12 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV07

O que a diferenciou a SEV 07 das SEVs citadas anteriormente foi a presença de valores maiores que 1500 Ohms.m, indicando camadas mais próximas à resistividade natural da região.

A influência dos resíduos somente foi encontrada após a profundidade de 21,3 m, onde os valores atingiram 496 Ohms.m.

Para a elaboração do mapa potenciométrico, foi determinado como a cota superior do N.A. a cota superior da última camada. Este pressuposto não influenciou na direção do fluxo de água subterrânea.

6.1.2.8. SEV 08

Locada ao extremo noroeste da área de estudo (FIGURA 5.6), a SEV 08 apresentou características muito semelhantes às da SEV 01 (FIGURA 6.13). Por este motivo, o modelo de interpretação da SEV 01 foi adaptado para esta sondagem.

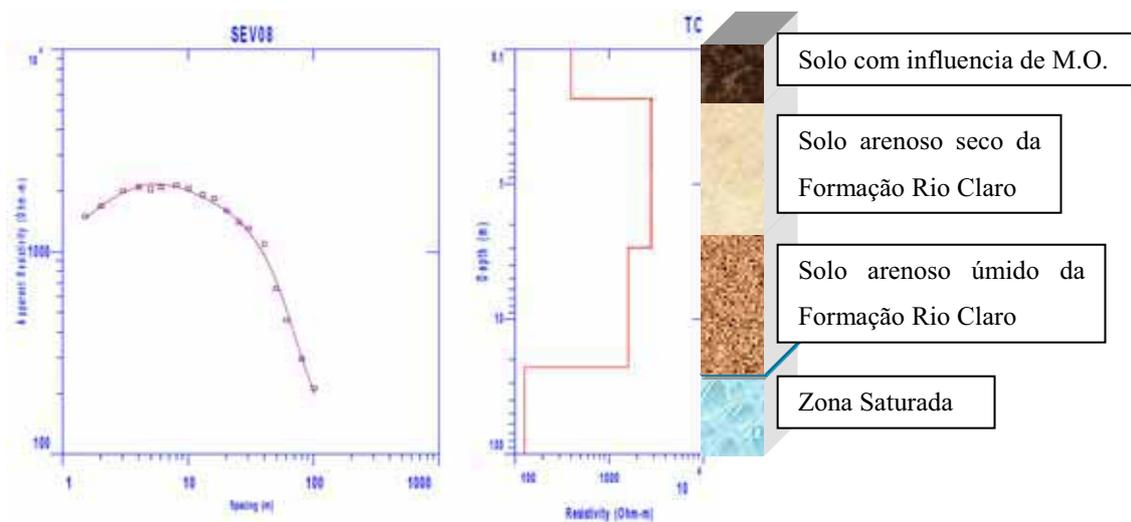


Figura 6.13 - Modelo de resistividade e interpretação da SEV08

A camada superficial é pouco espessa (0,2 m), e foi correlacionada a um solo arenoso com resistividade baixa (401 Ohms.m) devido à presença de matéria orgânica.

A segunda camada, com 2,7 m de espessura, consiste em um solo arenoso seco de resistividade 2836 Ohms.m. A umidade provoca uma queda de valores chegando a 1623 Ohms.m.

A camada mais abaixo da SEV 08 é encontrada a 22,8 m de profundidade e possui 127 Ohms.m de resistividade. Esta foi a camada indicadora da zona saturada.

6.1.3. Mapa Potenciométrico

A água subterrânea é o principal veículo de propagação da pluma de contaminação. Portanto, segundos os objetivos do presente trabalho, a elaboração do mapa potenciométrico é de extrema importância.

As sondagens elétricas verticais, além de caracterizar fisicamente os estratos, possibilitaram identificar a profundidade do lençol freático em cada ponto ensaiado. Estes dados foram então interpoladas pelo software Surfer, gerando um modelo do comportamento da água subterrânea na área. Para comparação com o mapa potenciométrico, foram também interpoladas as elevações de diversos pontos adquiridos com o sistema DGPS, gerando assim um mapa topográfico da região (FIGURA, 6.14).

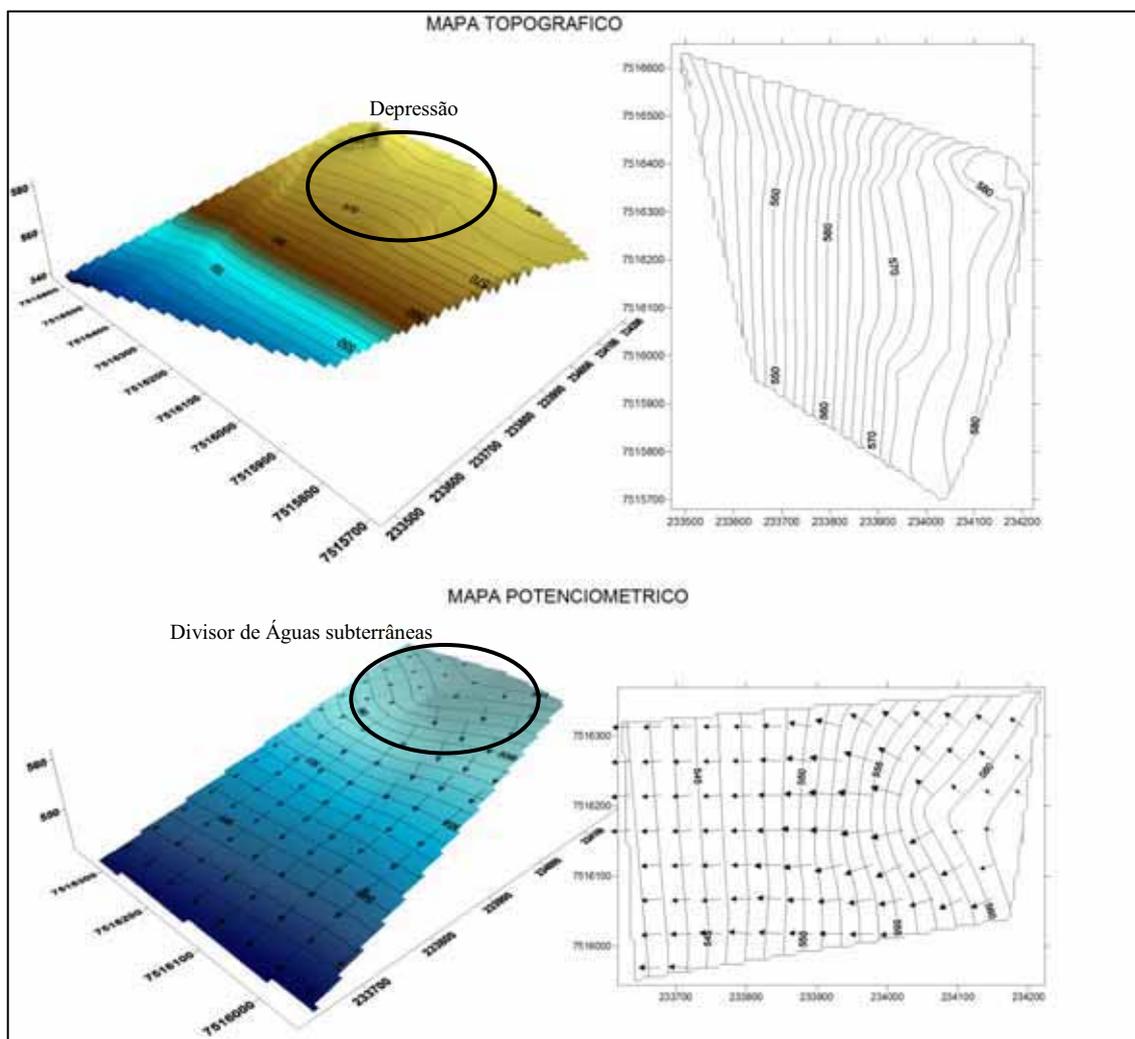


Figura 6.14 - Mapa Topográfico e Potenciométrico

A água subterrânea possui um fluxo principal no sentido E-W acompanhando a topografia e seguindo em direção ao rio Corumbataí, indicando um transporte de percolados da área de estudo para o rio. Um pequeno fluxo secundário pode ser observado na direção N-S.

Porém, comparando o mapa potenciométrico com a topografia atual, o ponto onde foi realizada a SEV 02 indicou a existência de um divisor de água subterrânea próximo ao centro da depressão hoje existente. Este divisor indica que antes da extração de areia ocorrida no local, existia um alto topográfico nesta área, comprovado pelo fato da elevação da SEV 01 ser maior que a elevação das SEV 07 e SEV 08.

Este divisor de águas é o responsável pelas menores resistividades apresentadas próximo aos inícios das linhas de caminhamento elétrico, o que indica a posição da fonte de contaminação ao sul deste divisor de águas, dificultando a percolação das substâncias no sentido S-N.

6.1.4. Mapas de Resistividade Calculada

Para elaboração dos mapas de resistividade, extraíram-se os valores de resistividade calculada de cada nível de investigação obtido nas linhas de caminhamento elétrico que cortaram a área de disposição. Interpolando estes valores, foi então elaborado um mapa de resistividade calculada para os 8 níveis de investigação e suas profundidades teóricas (FIGURA 6.15).

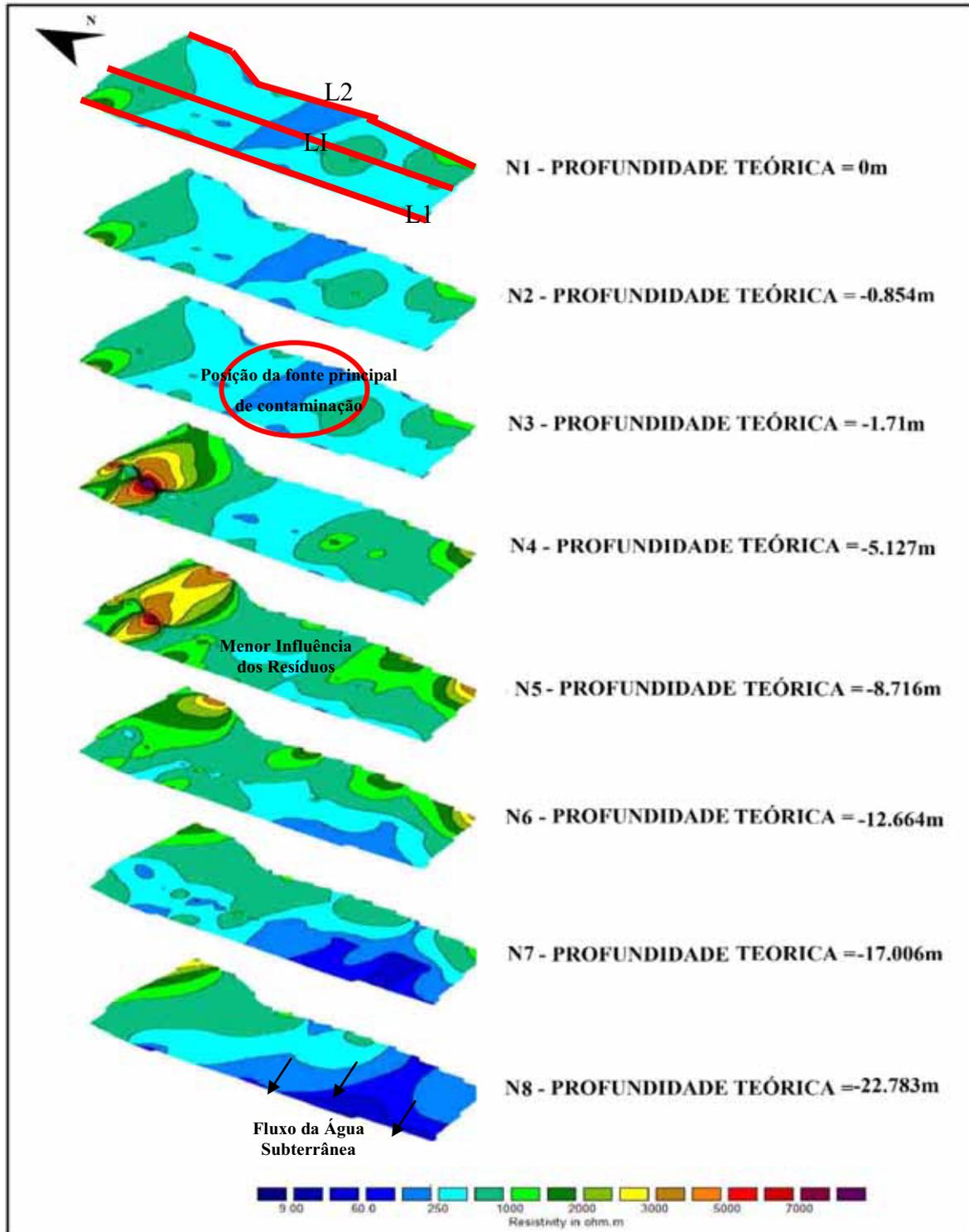


Figura 6.15 - Mapa de Resistividade

Os 3 primeiros níveis teóricos de investigação não apresentaram grande diferença entre si, a não ser por uma resistividade mais baixa no centro dos mapas, o que indica a posição da fonte principal de contaminação do antigo lixão.

A partir do quarto nível de investigação, a porção norte da área passou a apresentar valores mais elevados de resistividade, indicando o desvio causado pelo divisor de água subterrânea observado no mapa potenciométrico.

O nível 5 encontra-se na camada que sofre menor influência dos contaminantes provenientes dos resíduos, como observado nas SEV 02 e SEV 03. Porém, ainda é notada a posição da principal fonte de contaminação.

A partir do nível 6 pode-se identificar resistividades menos elevadas, principalmente na porção sudoeste do mapa. Isso infere o alcance da cota superior do lençol freático.

Conforme os níveis aumentam e o mapa atinge uma maior profundidade, cada vez mais se tem influência do lençol freático, e a diminuição da resistividade na porção sudoeste começa a ficar evidente.

Na observação dos mapas de resistividade, constatou-se um fluxo de contaminação no sentido da linha Referência 2 (NE-SW), ultrapassando os limites da área de estudo. A posição da fonte de origem desta contaminação está localizada próxima ao centro da depressão local.

7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos propostos, o presente trabalho possibilitou o subsídio do diagnóstico do antigo lixão do município de Rio Claro – SP. Através da análise das resistividades encontradas e a comparação destas com o laudo de 2008 da Geoinform, pode-se visualizar o comportamento atual da pluma de contaminação oriunda da disposição irregular de resíduos sólidos.

O presente estudo trata-se de um diagnóstico do meio físico, sendo apenas o primeiro passo para a elaboração de um diagnóstico ambiental da área. Este deve incluir ainda informações relativas aos meios biótico e antrópico da região.

Este estudo confirma a contaminação da área. Já que esta encontra-se dentro de uma zona de expansão urbana de Rio Claro, caso haja o interesse de implantar um loteamento, deve-se proceder uma série de medidas de engenharia e estudos específicos com vistas a não prejudicar a população.

As sondagens a trado bem como os resultados das SEVs, comprovaram as informações obtidas através das entrevistas, indicando a maior concentração de resíduos na porção leste da área de estudo.

Apesar do laudo da Geoinform indicar a existência de metano na área, estes valores

não indicam qualquer risco a população.

O método de eletrorresistividade mostrou-se uma excelente ferramenta no diagnóstico preliminar de áreas onde há pouca informação disponível, apresentando um grande contraste entre os valores naturais e alterados devido a disposição dos resíduos.

A resistividade natural apresentou valores maiores que 3000 Ohms.m, decaindo de acordo com o aumento da influência dos contaminantes. O local onde foi realizado o depósito de resíduos e sua pluma de contaminação apresentaram resistividades inferiores a 1000 Ohms.m.

Ao contrário do que consta no laudo, o mapa potenciométrico indicou um fluxo no sentido do PM01 para o PM02. Este fato é comprovado devido a constatação da presença de maiores quantidades de Alumínio, Chumbo e Ferro no PM01 do que no PM02.

O fluxo principal da pluma de contaminação segue em direção ao rio Corumbataí, fazendo com que as concentrações de Ferro, Manganês e Alumínio aumentem a jusante da área do lixão.

As linhas de caminhamentos elétricos que cortaram o lixão mostraram uma zona onde há uma queda de resistividade próxima aos seus centros, indicando a posição onde há maior concentração de resíduos e conseqüentemente a fonte principal de contaminação. Percebeu-se também que atualmente a contaminação ultrapassa os limites da gleba, indicando um possível fluxo em direção à linha Referência 2.

Como proposta para futuros trabalhos, recomenda-se:

- A realização de um diagnóstico aprofundado da área, contendo um maior número de análises de água e solo, principalmente nos locais que apresentaram menor resistividade;
- Ensaio de condutividade hidráulica local a fim de se verificar a velocidade de avanço da pluma de contaminação;
- Estimar o volume da fonte principal de contaminação indicada neste estudo;
- Realizar mais ensaios geofísicos, principalmente de potencial espontâneo e potencial induzido, os quais apresentam boa resposta em áreas de deposição de resíduos; e
- A elaboração de uma análise de risco.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEM Terrameter SAS 4000 / SAS 1000 - Instruction Manual, 136f. 2006

ANTONIO FILHO, F. D. Crescimento urbano e recursos hídricos: o caso de Rio Claro (SP). **Revista Estudos Geográficos**, Rio Claro, 15: 55-62.

- ASSIS, J.F. **Avaliação do uso de Aterros, como alternativa para disposição de resíduos sólidos domiciliares e industriais.** 126p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Classificação de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419:** Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.
- AZAMBUJA, E.; COSTA, A.F.U.; NANNI, A.S. (1999) **O emprego da prospecção geofísica na avaliação de plumas de contaminação por hidrocarbonetos.** Disponível em <<http://www.azambuja.com.br/acervo/REGEO99.pdf>>. Acesso em 03/out/08.
- BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S/A. **Rio Claro.** São Paulo, 1995. 1 fotografia aérea Faixa 5 n° 20. Escala 1:5.000.
- BRAGA, A.C.O. Métodos geoeletricos aplicados. Rio Claro. **Apostila...** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista. 27p. 1999
- BROOKS, M.; HILL, I.; KEAREY, P. **Geofísica de Exploração.** Tradução de M. C. M. Coelho. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; McCracken, R. J. **Soil Genesis and Classification.** 3o ed., Iowa State Univ. Press, 1989, 446 pp..
- CAVALCANTE, A.T.; SANTOS, R.J.Q. Estudos hidrogeológicos para a préseleção de áreas destinadas à implantação de um lixão na região de Japaratinga e Maragogi – Alagoas – Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 9., 1996, Salvador **Anais...** Salvador: Associação Brasileira de Águas Subterrânea
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2001) **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas.** 389 p. São Paulo
- CHRISTENSEN, T. H.; KJELDSEN, P.; BJERG, P. L.; JENSEN, D. L.; CHRISTENSEN, J. B.; BAUN, A.; ALBRECHTSEN, H. J.; HERON, G. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, no 16, p. 659- 718, 2001.
- COTTAS, L. R. **Estudos geológico- geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro- SP. São Paulo, SP.** 171 f., 2V. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências/ USP – São Paulo, 1983.
- COTTAS, L.R. (1991) Definição de áreas adequadas para instalação de aterros industriais e sanitários em Rio Claro - SP. In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, 2., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CBGC. p. 253-261.
- ELIS, V.R.; ZUQUETTE, L.V. Caminhamento elétrico dipolo-dipolo – Uma técnica eficiente na investigação de depósitos de resíduos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro.
- ELIS, V.R. **Avaliação da aplicação de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos.** 264 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. 1998

FACHIN, S. J. S. **Ensaio geoeletricos 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto – SP: avaliação de parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema.** Dissertação (Mestrado). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG. Universidade de São Paulo – USP. 142 p. 2007.

FARQUHAR, G. J., e ROVERS, F. A. Gas production during refuse decomposition. **Water, Air and Soil Pollution**, vol. 2, nº 10, p. 483-499, 1973.

FERREIRA, F. J. F. Métodos Elétricos – Técnicas e Aplicações de Imageamentos Elétricos 2-D e 3-D. Curitiba. **Apostila...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 69p., 2002.

GEOINFORM. **Lauda Técnico de Investigação Ambiental Preliminar Personalizada.** Rio Claro, 2008.

GRIFFITHS, D. H.; BAKER, R. D. Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology. **Journal of Applied Geophysics**, no 29, p. 211-226, 1993.

HASSUDA, S.; REBOUÇAS, A.C.; CUNHA, R.C.A.; MARKER, A. (1998) Critérios para classificação de áreas contaminadas por resíduos sólidos – Estudo de caso na região metropolitana de São paulo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 4., 1998, Montevideo. **Anais...** Montevideo: ALHSUD. p.927-943.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2002) **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.** Disponível em <<http://www.ibge.com.br>>. Acesso em 03/mar/2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 10.10.2009

IPT/CEMPRE. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado.** 2a ed., São Paulo, 234pg, 2000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO- IPT **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo-** escala 1:1000.000. São Paulo. (IPT. Série Monografias), 1981.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos.** São Paulo: Edunesp. 2o ed., 253p., 2004.

LOKE, M. H.; BAKER, R. D., Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by quasi-Newton method. **Geophysical Prospecting**, no 44, p. 131- 152, 1996.

MALAGUTTI FILHO, W; JOSÉ, C.; BRAGA, A.C.O.; ELIS, V.R.; TANDEL, R.Y.; PORSANI, J.L. Aplicação integrada de técnicas geofísicas no aterro sanitário de Rio Claro – SP, resultados preliminares. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 5., 1997 **Anais...** p. 422-424.

MENEZES, D.B.; CONTIN NETO, D.; SCHALCH, S.; Diagnóstico de impactos no meio físico causados por depósitos de resíduos sólidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 18., 1995, Salvador. **Anais...** Salvador: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

- MOREIRA, C. A. **Geofísica aplicada no monitoramento de área de disposição de resíduos sólidos domiciliares**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE. Universidade Estadual Paulista – UNESP. 167 P. Rio Claro. 2009.
- OLIVA, A. **Estudo hidrofaciológico do aquífero Rio Claro no município de Rio Claro – SP**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE. Universidade Estadual Paulista – UNESP. 192 p. Rio Claro. 2006.
- ORELLANA, E. **Prospeccion Geoelectrica en Corriente Continua**, Biblioteca Técnica Philips, Madrid: Paraninfo, 523 p, 1972.
- PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da depressão periférica paulista**. Instituto de Geografia - USP. Série Teses e Monografias, n.22, 86 f, 1976.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO **Plano diretor de Rio Claro e normas complementares**/editor: Antonio Sérgio Pitton. 314 p.-Rio Claro, 2008
- PRADO, H.; OLIVEIRA, J. B.; ALMEIDA, C. L. F. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos**. Escala 1:100.000. Instituto Agrônomo de Campinas, 1981.
- RESS, J. F. The fate of carbon compounds in the landfill disposal of organic matter. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 30, p. 161–175, 1980.
- SANTOS, F.M. **Aplicação de métodos geofísicos no estudo da contaminação da águas subterrâneas no Lixão da Cuiabá-MT**. Cuiabá, 2005. 88p. Dissertação (mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal do Mato Grosso.
- SEGATO, L. M.; SILVA, C. L. Caracterização do chorume do aterro de Bauru. In: XVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Alegre: ABES. 2000.
- TELFORD, W.M.; Geldart, L.P. e Sheri. R.E. **Applied Geophysics**, Cambridge University Press, 2ed. 770p, 1990.
- TRESSOLDI, M.; CONSONI, A.J. Disposição de resíduos. In: Antônio Manoel dos santos Oliveira e Sérgio Nertan Alves de Brito (Org). **Geologia de Engenharia**. Cap 21: p. 361-380. São Paulo. 1994
- TROPPEMAIR, H. **Atlas da qualidade ambiental e de vida de Rio Claro-SP**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, 1992.72 f.
- VELOZO, R. **Caracterização geológico-geotécnica do lixão desativado de São Carlos-SP, com auxílio da geofísica**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 177f, 2006.
- ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)** Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE. Universidade Estadual Paulista – UNESP. 99 p. Rio Claro. 1994.

**APÊNDICE A - REGISTRO
FOTOGRAFICO**



Foto 1 - Torre de alta tensão próximo ao muro do condomínio



Foto 2 - Presença de lixo em perfil de solo



Foto 3 - Área alagada localizada a oeste da gleba, próximo ao rio Corumbataí



Foto 4 - PM01 Geoinform ao lado da SEV 05



Foto 5 - Predomínio de pastagem na área com a presença de vegetação arbórea ao fundo



Foto 6 - Presença de resíduos no solo da área florestada



Fotos 7 – Resíduos empilhados provenientes da construção do condomínio



Foto 8 – Sondagem a trado 01 com presença de resíduos



Foto 9 – Sondagem a trado 02 com a presença de resíduo plástico



Foto 10 – Sondagem a trado 04 sem indícios de presença de resíduos



Foto 11 – Execução da Linha Referência 1



Foto 12 – Execução da Linha 1