UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA POLUIÇÃO
PROVOCADA NO AQÜÍFERO FREÁTICO E NO
SOLO PELO ATERRO CONTROLADO DA CIDADE
DE RIO CLARO, SP.**

Roque Yuri Tandel

Orientadora: Profa. Dra. Mária Szikszay

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1998

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA POLUIÇÃO
PROVOCADA NO AQÜÍFERO FREÁTICO E NO
SOLO PELO ATERRO CONTROLADO DA CIDADE
DE RIO CLARO, SP**

ROQUE YURI TANDEL

Orientador: Prof^a Dr^a Mária Szikszay

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof^a Dr^a Mária Szikszay

Examinadores: Prof. Dr. Alberto Pacheco

Prof^a Dr^a Dejanira de F. de Angelis

Dr. Rodrigo César de A. Cunha

Prof. Dr. Walter Malagutti Filho

SÃO PAULO
1998

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA POLUIÇÃO
PROVOCADA NO AQÜÍFERO FREÁTICO E NO
SOLO PELO ATERRO CONTROLADO DA CIDADE
DE RIO CLARO, SP.**

Roque Yuri Tandel

Orientadora: Profa. Dra. Mária Szikszay

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005949

SÃO PAULO
1998

In Memoriam a meu pai, Primitivo Tandel e em gratidão a minha mãe, Jovina Maria Tandel.

AGRADECIMENTOS

Profundos e sinceros agradecimentos:

- A prof.a. Dra. Mária Szikszay pela orientação segura e pelo enriquecimento cultural, que sem dúvida contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional;
- A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelos recursos financeiros recebidos;
- Ao prof. Dr. Evaristo Ribeiro Filho do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG - USP), que conduziu-me ao doutorado;
- A Transpolix Transportes Especiais Ltda. e ao seu gerente Sr. Nivaldo Magom, pelo livre acesso ao aterro e apoio em várias etapas da coleta de dados;
- Ao prof. Dr. Walter Malagutti e equipe e ao prof. Dr. Clóvis José, ambos do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Campus de Rio Claro (IGCE - UNESP - Rio Claro), que tornaram possível a obtenção e interpretação dos dados geofísicos;
- A prof.a. Dra. Dejanira de Franceschi de Angelis do Instituto de Biologia (IB) da UNESP - Rio Claro, que viabilizou a realização das análises bioquímicas e biológicas;
- A minha esposa, prof.a. Dra. Maria da Conceição Farias Freitas Tandel do IGCE - UNESP - Rio Claro, pelas análises estatísticas e também pelo incentivo;
- Ao Dr. Marcos Vieira Ligo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, de Jaguariúna e ao Dr. José Salvador Barone da Puriquima Ltda. de São Paulo pela das análises físico-químicas;
- A ENDERC, Empresa Pública Municipal de Desenvolvimento de Rio Claro, representada pelo Eng. Civil Luís Antônio Seraphim, que localizou e cedeu os dados físico-químicos coletados no aterro no período entre outubro de 1990 e julho de 1992;
- Ao Kléber Wolney Raiado e a Cristiane Piza Raiado pelo profissionalismo e qualidade dos serviços de digitação e editoração.

PREFÁCIO

Um dia todos nós seremos resíduos (lixo)

“Porque os vivos sabem que hão de morrer, mas os mortos não sabem coisa nenhuma, nem tão pouco eles têm jamais recompensa, mas a sua memória ficou entregue ao esquecimento. Até o seu amor, o seu ódio, e a sua inveja já pereceram, já não têm parte alguma neste século, em coisa alguma do que se faz debaixo do sol.

Vai, pois, come com alegria o teu pão e bebe com bom coração o teu vinho, pois já Deus se agrada das tuas obras. Em todo o tempo sejam alvos os teus vestidos, e nunca falte o óleo sobre a tua cabeça. Goza a vida com a mulher que amas, todos os dias de vida da tua vaidade, os quais Deus te deu debaixo do sol, todos os dias da tua vaidade: porque esta é tua porção nesta vida, e do teu trabalho, que tu fizeste debaixo do sol.

Tudo quanto te vier à mão para fazer, fazei-o conforme as tuas forças, porque na sepultura, para onde tu vais, não há obra, nem indústria, nem ciência, nem sabedoria alguma.”¹

Rei Salomão em Eclesiastes 9:5 a 10, (cerca de 930 anos antes de Cristo)

Entretanto

“Irmãos, não queremos que ignoreis o que se refere aos mortos,

para não ficardes tristes como os outros que não têm esperança.

Se cremos que Jesus morreu e ressuscitou,

assim também os que morreram em Jesus,

Deus há de levá-los em sua companhia.

Pois isto vos declaramos, segundo a palavra do Senhor:

que os vivos, os que ainda estivermos aqui para a Vinda do Senhor,

não passaremos à frente dos que morreram.

Quando o Senhor, ao sinal dado, à voz do arcanjo e ao som da trombeta divina,

descer do céu, então os mortos em Cristo ressuscitarão primeiro;

em seguida nós, os vivos que estivermos lá,

seremos arrebatados com eles nas nuvens

para o encontro com o Senhor, nos ares.

E assim, estaremos para sempre com o Senhor.

Consolai-vos, pois uns aos outros com estas palavras.”¹

Apóstolo Paulo em I Tessalonicenses 4:13 a 18, (51 d. C.).

¹ Bíblia Sagrada.

Sumário

Agradecimentos.....	i
Prefácio.....	ii
Sumário.....	iii
Lista de gráficos.....	iv
Lista de tabelas.....	viii
Lista de figuras.....	xi
Lista de fotos.....	xiii
Anexos.....	xiv
Resumo.....	xv
Abstract.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Generalidades.....	01
1.2 Justificativas e objetivos.....	02
1.3 Definições dos depósitos para lixo e descrição do processo de decomposição.....	03
1.3.1 A geração de metais na decomposição do lixo do aterro.....	11
1.3.2 Retenção pelo solo dos elementos potencialmente tóxicos.....	18
1.4 Métodos geofísicos aplicados em estudos de depósito para lixo.....	21
2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA.....	24
2.1 Localização.....	24
2.2 Aspectos fisiográficos regionais.....	27

2.2.1 Aspectos climáticos.....	27
2.2.2 Aspectos pedológicos e da vegetação.....	28
2.2.3 Aspectos geomorfológicos.....	28
2.3 Geologia regional.....	30
2.3.1 Formação Rio Claro.....	30
2.3.2 Formação Corumbataí.....	33
2.4 Geologia local e Hidrogeologia.....	34
2.5 Algumas características do município de Rio Claro.....	39
2.6 O aterro controlado da cidade de Rio Claro.....	42
2.6.1 Histórico.....	42
2.6.2 Estrutura do aterro em abril/97.....	44
2.6.3 Operação do aterro.....	45
3. METODOLOGIA.....	52
3.1 Amostragem.....	52
3.1.1 Gases.....	52
3.1.2 Percolado.....	52
3.1.3 Águas dos poços de monitoriamento.....	53
3.1.4 Solo e sedimentos.....	55
3.2 Análises físico-químicas e bioquímicas.....	55
3.2.1 Gases, percolado e águas dos poços de monitoriamento.....	55
3.2.2 Solo e sedimentos.....	59
3.3 Ensaios biológicos.....	61

3.3.1 Testes de toxicidade aguda.....	61
3.3.1.1 Princípios do método.....	61
3.3.2 Contagem das bactérias.....	63
3.4 Ensaios geofísicos.....	64
3.4.1 Métodos geoeletricos.....	64
3.4.1.1 Princípios do método da eletrorresistividade, técnica da Sondagem Elétrica Vertical - SEV.....	66
3.4.1.2 Princípios do método eletromagnético indutivo, técnica do Caminhamento Eletromagnético - CEM.....	68
3.4.1.3 Princípios do método da polarização induzida.....	72
3.4.1.4 Técnicas de campo do Caminhamento Elétrico - CE.....	77
3.4.2 Ensaios sísmicos.....	81
3.4.2.1 Princípios do método da sísmica de refração.....	81
3.5 Softwares utilizados.....	89
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
4.1 Resultados físico-químicos, bioquímicos e biológicos obtidos e sua interpretação.....	90
4.1.1 Características do solo.....	90
4.1.2 Características do aquífero freático.....	95
4.1.2.1 Características físico-químicas e bioquímicas das águas do aquífero freático.....	96
4.1.2.2 Características biológicas das águas do aquífero freático.....	102
4.1.3 Características do percolado.....	103
4.1.4 Características do gás do aterro controlado.....	109

4.2 Tratamento estatístico.....	111
4.3 Resultados geofísicos obtidos e sua interpretação.....	118
4.3.1 Resultados obtidos pelo método eletromagnético.....	118
4.3.2 Resultados obtidos pelo método eletrorresistividade e polarização induzida.....	123
4.3.3 Resultados obtidos pela sísmica de refração.....	124
4.3.4 Comparações entre os métodos geofísicos estudados.....	128
5. CONCLUSÕES.....	129
6. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES.....	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133

Lista de Gráficos

1. Modelo de REES para examinar a metanogênese em aterros sanitários.....	05
2. Variação do pH no aterro e seus efeitos na produção de gás metano.....	07
3. Tempo de estabilização em dias.....	10
4. Sistemática sugerida para adição de metais em solos.....	19
5. Quantidade mensal de lixo coletado no período de 01/01/95 a 31/12/96.....	47
6. Teores de ferro (%) no solo.....	93
7. Teores de zinco (ppm) no solo.....	94
8. Valores da condutividade elétrica a 25 °C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas dos poços de monitoriamento no período de 15/01/96 a 23/12/96.....	100
9. Valores do DQO ($\text{mg}/\text{O}_2/\text{L}$) das águas dos poços de monitoriamento no período de 15/01/96 a 23/12/96.....	101
10. Valores de toxicidade aguda do percolado e das águas dos poços de monitoriamento no período de 15/01/96 a 23/12/96.....	103
11. Teores de ferro (ppm) no percolado.....	105
12. Teores de chumbo (ppm) no percolado.....	105
13. Teores de zinco (ppm) no percolado.....	106
14. Teores de cádmio (ppm) no percolado.....	106
15. Valores do DQO e do DBO no percolado em $\text{mg}/\text{O}_2/\text{L}$	107
16. Valores da condutividade elétrica a 25 °C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no percolado.....	108
17. Valores do pH no percolado.....	108
18. Teores de CO_2 , CH_4 e N_2 no gás do aterro.....	110
19. Teores de oxigênio no gás do aterro.....	110
20. Condutividade elétrica aparente (mS/m) medido pelo EM-31, na linha LC1, em 23/10/96 e as profundidades teóricas de investigação.....	122
21. Condutividade elétrica aparente (mS/m) medido pelo EM-34, na linha LC1, em 23/10/96 e as profundidades teóricas de investigação.....	123

Lista de Tabelas

1. Padrões da EPA para metais pesados em água potável comparados com a média dos valores detectados de metais pesados em chorumes, provenientes de aterros de diversas idades.....	15
2. Levantamento de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos de líquidos percolados de quatro aterros sanitários de São Paulo.....	16
3. Resultados analíticos das características físico-químicas dos líquidos percolados procedentes dos aterros sanitários selecionados.....	17
4. Dados acumulados pluviométricos em milímetros (mm), coletados no posto Agroceres.....	27
5. Descrição, de campo, da sondagem a trado.....	37
6. Algumas características do município de Rio Claro.....	39
7. Distribuição dos estabelecimentos em Rio Claro (ano de 1993) por tamanho, segundo ramos de atividade econômica.....	40
8. Quantidade mensal de lixo coletado no período de 01/01/95 a 31/12/96.....	47
9. Resumo da coleta de lixo, em toneladas, do mês de dezembro de 1996.....	48
10. Dados do esgotamentos dos poços.....	54
11. Análises químicas e bioquímicas realizadas nas águas dos poços de monitoriamento e no percolado.....	57
12. Resultados das análises granulométricas dos sedimentos, realizadas por pipetagem e peneiramento.....	91
13. Resultados das análises químicas do solo.....	92
14. Teor de ferro, cádmio, chumbo e zinco no solo.....	93
15. Constituintes mineralógicos do solo.....	95
16. Profundidade dos poços e do nível hidrostático.....	95
17. Resultados das análises químicas das águas dos poços de monitoriamento para as amostras de 15/01/96, executado pela CENA - USP.....	97

18. Resultados das análises químicas das águas dos poços de monitoriamento para as amostras de 26/11/96 e 23/12/96, executado pela Puriquima Ltda. por absorção atômica.....	97
19. Teores em ppm de cobre, chumbo, cádmio e zinco nas águas dos poços de monitoriamento. Analisado pela EMBRAPA de Jaguariúna - SP por absorção atômica (forno de grafite).....	99
20. Condutividade elétrica a 25 °C em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e pH das águas dos poços de monitoriamento.....	100
21. Resultados de DQO das águas dos poços de monitoriamento e a respectiva porcentagem de redução deste em relação ao do percolado.....	101
22. Toxicidade aguda das águas dos poços 2 e 3. Ensaio biológico com <i>Daphnia similis</i> (Cetesb, Norma L5. 018 de 1991a).....	102
23. Contagem microbiana (UFC/ml) realizadas nas amostras coletadas em 26/11/96.....	103
24. Teores em ppm de chumbo, zinco, cádmio e cobre no percolado, analisados pela EMBRAPA de Jaguariúna - SP e pela Puriquima Ltda.....	104
25. Resultados obtidos de DQO e DBO_5 , toxicidade, condutividade elétrica e pH no percolado, no período entre 15/01/96 e 23/12/96.....	107
26. Resultados da análise da composição do gás do aterro (% em volume).....	110
27. Estimativas dos parâmetros estatísticos das variáveis medidas no solo.....	111
28. Coeficientes da correlação de Pearson / nível de significância descritivo para as variáveis analisadas no solo.....	113
29. Estimativas dos parâmetros estatísticos das variáveis analisadas no percolado.....	114
30. Coeficientes da correlação de Pearson / nível de significância descritivo / número de amostras para as variáveis analisadas no percolado.....	115

31. Estimativas dos parâmetros estatísticos das variáveis medidas durante o ano de 1996.....	116
32. Coeficientes da correlação de Pearson / nível de significância descritivo / número de amostras para as variáveis analisadas durante o ano de 1996.....	117
33. Resultados do caminhamento eletromagnético realizado em 23/10/96 com o EM-31, sobre a linha LC1.....	121
34. Resultados do caminhamento eletromagnético realizado em 23/10/96 com o EM-34, sobre a linha LC1. Espaçamento entre bobinas: 20 m.....	123
35. Comparações entre os métodos geoeletricos aplicados.....	128

Lista de Figuras

1. Mapa de localização da área de estudo.....	25
2. Localização do aterro controlado da cidade de Rio Claro.....	26
3. Mapa de solos da região de Rio Claro.....	29
4. Mapa geológico da região de Rio Claro.....	31
5. Perfis das sondagens tipo SPT executadas em junho de 1983.....	35
6. Mapa geral do aterro.....	anexo 3
7. Perfil geológico da área.....	38
8. Classificação dos métodos geoeletricos.....	65
9. Curva de descarga IP - domínio do tempo.....	73
10. Esquema para explicar a sobretensão de uma partícula metálica submersa em um eletrólito.....	74
11. Representação de íons em um meio poroso formando uma concentração iônica, criando a polarização da membrana.....	75
12. Arranjo de campo para realização do caminhamento elétrico.....	78
13. Representação esquemática para a técnica de sísmica de refração para o caso de 2 camadas.....	83
14. Pontos de medições da condutividade aparente, pela técnica do caminhamento eletromagnético, coletados em nov/88 e mar/89 pelo EM-31 e EM-34.....	118
15. Malha de pontos utilizados para confecção de mapas de contorno de isocondutividade aparente.....	118
16. Mapa de isocondutividade aparente (mS/m). EM-34/20m-V-S2 (profundidade teórica de investigação: 30 m).....	120
17. Mapa de isocondutividade aparente (mS/m). EM-34/40m-H-S2 (profundidade teórica de investigação: 30 m).....	120
18. Sondagens elétricas verticais (SEV) executadas e interpretadas em 1993. Arranjo Schlumberger.....	125

19. Carta de resistividade aparente (ohm.m) - técnica do caminhamento elétrico - arranjo dipolo - dipolo - profundidade teórica de 20 m - campanha de 1993.....	126
20. Seções de resistividade (ohm.m) e cargabilidade aparentes (Ma) obtidas no aterro controlado de Rio Claro pela técnica do caminhamento elétrico - arranjo dipolo - dipolo.....	126
21. Interpretação dos ensaios de sísmica de refração.....	127

Lista de Fotos

1. Área de disposição de lixo, coberta com solo em junho de 1996.
Notar queimador de gases à esquerda e alambrado (cerca) ao fundo..... 49
2. Mesma área da foto 1 que ficou com lixo descoberto por 4 dias em
fevereiro de 1996. Ao fundo, ao lado do caminhão que descarrega
o lixo, encontra-se a balança..... 49
3. Percolado escoando por vala aberta diretamente no solo em março de 1996.
Local onde foi realizado a sondagem a trado..... 50
4. Construção do poço e implantação das canaletas para coleta do percolado.
Mesma área da foto 3..... 50
5. Aterro gramado e coberto por uma camada de terra após o encerramento
das atividades de disposição de lixo no mesmo. Foto de maio de 1998. 51
6. Incinerador desativado do lixo hospitalar (julho/97)..... 51

ANEXOS

Anexo 1 - Análises físico - químicas do percolado, realizadas pela SPA - Sistemas de Proteção Ambiental.....	144
Anexo 2 - Resultados dos caminhamentos eletromagnéticos indutivo (mS/m), realizados em nov/88 (S1) e mar/89 (S2) no aterro do município de Rio Claro, pelo prof. Dr. Clóvis José - IGCE - UNESP. ..	148
Anexo 3 - Mapa geral do aterro (Figura 6)_____	“envelope”

RESUMO

Esta tese oferece fortes evidências que apontam que um aterro controlado pode ser uma solução ambientalmente viável para a disposição final de lixo doméstico. Para tanto um estudo foi desenvolvido em área localizada no município de Rio Claro, SP, em terrenos constituídos por arenitos (Fm. Rio Claro) e argilitos (Fm. Corumbataí), onde existia um lixão desde 1982, transformado em aterro controlado no final de 1988 e encerrado em setembro de 1997.

Com o objetivo de estudar a poluição provocada no aquífero freático por este aterro, foram analisados durante um ano (1996) as águas de três poços de monitoriamento e o percolado (chorume). Determinaram-se os teores de zinco, chumbo, cádmio, cobre, pH, DQO, DBO₅, condutividade elétrica, toxicidade aguda (*Daphnia similis*) e contagem bacteriana. Interpretou-se também uma série de análises físico-químicas do percolado e do gás do aterro realizadas entre outubro de 1990 e julho de 1992.

Foi amostrado o solo, sobre o qual escorria por vários anos o percolado, até atingir-se o nível d'água. Determinaram-se suas características granulométricas, mineralógicas e químicas em vários horizontes, com o objetivo de mensurar a contaminação causada pelo percolado no mesmo.

Utilizaram-se vários métodos geoeletricos (eletroressistividade, polarização induzida e eletromagnético indutivo) para determinar a pluma de contaminação e a direção do fluxo da água. Para a determinação da geometria do aterro foram realizados ensaios de sísmica de refração.

Os resultados indicam que, embora o percolado possua grande potencial poluidor, o aquífero freático não está sendo contaminado de maneira significativa e, que no solo tem ocorrido a degradação quase total do percolado. A pluma de contaminação tem estado circunscrita a área do aterro. Portanto o impacto ambiental tem sido pequeno e restrito.

ABSTRACT

This thesis gives strong evidence showing, that the controlled landfill can be a possible environmental solution for the disposal of the domestic waste. This conclusion is based on a study carried out in the Rio Claro District of the state of São Paulo. The terrain of the studied area, where a dump existed since 1982, is constituted of sandstones and argillaceous rocks.

This dump was transformed into a controlled landfill at the end of 1988 and was closed in September 1997. In order to study the pollution provoked in the water by the landfill, the water of three monitoring wells and the landfill leachate were analyzed throughout the year of 1996. These analyses determined the traces of zinc, lead, cadmium, copper, pH, COD, BOD, electric conductivity, toxicity (*Daphnia similis*) and the bacterial counting.

A series of physical and chemical analyses of landfill leachate and of the landfill gas, between October, 1990 and July, 1992, was also studied.

The soil, where the landfill leachate has been flowing throughout years, was sampled until the water level was reached. With the aim of measuring the contamination caused by the landfill leachate, grain-size determination, mineralogical and chemical characteristics of the soil at several levels were carried out. Several geoelectric methods (resistivity, induced polarization and electromagnetic induction) were utilized in order to establish the plume of contamination and the direction of the water flow. Seismic refractions were also made to determine the landfill geometry.

Although the landfill leachate has enormous potential of pollution, the results indicated that the groundwater is not being contaminated on a large scale, and also that the landfill leachate, in the soil, has been largely degraded. The plume contamination was found only in the landfill. Therefore the environmental impact has been small and restricted.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

“O crescimento populacional brasileiro, bem como o aumento do grau de urbanização não foi acompanhado de medidas necessárias para dar ao lixo gerado por esta população um destino adequado.

O brasileiro convive com a maioria do lixo que produz. São 241.614 toneladas de lixo produzidas diariamente no país. Ficam a céu aberto (lixão) 76% de todo este lixo. Apenas 24% recebem tratamento mais adequado: 13% aterro controlado; 10% aterro sanitário; 0,9% usina de compostagem e 0,1% usina de incineração.

Grande parte do lixo urbano gerado não é coletada, permanecendo junto a habitações ou sendo descartada em logradouros públicos, terrenos baldios, encostas e cursos d'água.

Os sistemas de limpeza urbana, de competência municipal, devem afastar o lixo das populações e dar um destino ambiental e sanitariamente adequado. No entanto, esta tarefa não é fácil, sendo dificultada por problemas, tais como:

- inexistência de uma política brasileira de limpeza pública;
- limitação financeira - orçamentos inadequados, fluxo de caixa desequilibrado, tarifas desatualizadas, arrecadação insuficiente e inexistência de linhas de crédito;
- falta de capacitação técnica e profissional - do gari ao engenheiro - chefe;
- descontinuidade política e administrativa;
- falta de controle ambiental.

Estes problemas resultam em degradação ambiental, deslizamentos, enchentes, desenvolvimento de transmissores de enfermidades, poluição das águas superficiais e subterrâneas e poluição do ar” (JARDIM & WELLS, 1995, p.6-8).

1.2 Justificativas e objetivos

Escolheu-se o aterro da cidade de Rio Claro pelos seguintes motivos:

- É um aterro que está em operação desde 1982 e, a partir de 1988, foi implantado controle para receber somente lixo doméstico;
- Possui um histórico comum com vários outros aterros municipais: começou numa voçoroca. Somente devido às exigências dos órgãos ambientais de fiscalização e da população foi transformado em um aterro controlado;
- A cidade de Rio Claro é de porte mediano com 143.699 habitantes (SEADE, 1994) e possui 98% da área urbana atendida por coleta de lixo, sendo que este tem disposição final em um único aterro;
- Como o aterro não possuía, até final de 1996, recirculação do percolato, tornou-se possível quantificar a geração de metais tóxicos pelo lixo doméstico;
- Desde 1988 o aterro passou a seguir um projeto, elaborado por uma empresa do ramo, com o objetivo de minimizar o impacto ambiental. Entretanto como não foi previsto proteger o solo com uma manta plástica ou com uma camada de argila, pode-se estudar a retenção da poluição pelo mesmo;
- Foi possível descobrir, nas diversas repartições da prefeitura e da UNESP, vários dados não publicados a respeito do aterro.

Em virtude desta situação escolheu-se estudar este aterro com os seguintes objetivos:

- Comparar os diversos métodos geofísicos para detectar e determinar a poluição no solo e no aquífero freático;

- Verificar ao longo de um ano a toxicidade, o teor de alguns metais (Zn, Cd e Pb) e variáveis físico-químicas do percolado e da água do aquífero freático para encontrar possíveis correlações, variações sazonais e mensurar impactos ambientais relacionados;
- Verificar, durante um ano, a retenção pelo solo de alguns metais (Zn, Cd e Pb) presentes no percolado;
- Finalmente desenvolver um trabalho que possa fornecer parâmetros para o estudo dos impactos ambientais provocados pelos aterros sanitários de outras cidades de porte médio, com características climáticas e geológicas semelhantes.

1.3 Definições dos depósitos para lixo e descrição do processo de decomposição

Aterro sanitário é um tipo de depósito utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo - particularmente lixo domiciliar - que, fundamentado em critérios de engenharia ou normas operacionais específicas, permite a confinamento segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública (ABNT, 1989b); ou, a forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais (CETESB, 1979).

Aterro controlado refere-se a uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho (ABNT, 1985). JARDIM & WELLS (1995), comentam que esta forma de disposição produz, em geral, poluição localizada, pois similarmente ao aterro sanitário, a extensão da área de disposição é minimizada. Porém, geralmente não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das

águas subterrâneas), nem sistema de tratamento de chorume ou de dispersão dos gases gerados.

Lixão é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É sinônimo de depósito de lixo a céu aberto (ABNT, 1989b). JARDIM & WELLS. (1995), comentam que além de uma total falta de controle quanto ao tipo de resíduos recebidos nestes locais, observa-se até mesmo a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias. Comumente ainda se associam fatos altamente indesejáveis, como a criação de porcos e a existência de catadores (os quais, muitas vezes, residem no próprio local).

Cabe aqui uma discussão sobre a diferença que existe entre o que seja chorume e percolato. O chorume origina-se na digestão da matéria orgânica através das enzimas produzidas por bactérias. Águas da chuva e de nascentes percolam através do lixo no aterro e carreiam o chorume e a matéria orgânica, dando origem ao percolato (GOMES, 1989). Assim fica claro que o líquido que é analisado e estudado em laboratório é o percolato, sendo o chorume apenas uma parte deste primeiro.

Digestão Anaeróbia é conceituada, por METCALF & EDDY *apud* GOMES, (1989), como a decomposição de matéria orgânica e inorgânica na ausência de oxigênio molecular, com a conversão deste material em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

Trabalhos recentes de REES (1980), REES & VINEY (1982) e LIMA (1985) *apud* GOMES (1989), revelam um modelo com quatro estágios para expressar a metanogênese em aterro (gráfico 1). Resumidamente, este modelo é assim explicado:

- Fase Aeróbia (1): Após o aterramento do lixo os microrganismos aeróbios encontram-se habitando o meio. A temperatura do aterro situa-se entre 40-45°C.

Gráfico 1 - Modelo de REES para examinar a metanogênese em aterros sanitários.

FONTE: REES - 1980 IN GOMES (1989, MODIFICADO)

A duração desta fase varia com a quantidade de oxigênio disponível e com o número de microrganismos. Segundo REES (1980) *apud* GOMES (1989), a fase aeróbia dura entre 10 e 100 dias após o aterramento dos resíduos. LIMA (1985) *apud* GOMES (1989) é mais explícito e indica o final desta fase em 15 dias de aterramento. A atividade dos microrganismos aeróbios resulta em produção de CO_2 , água e no aumento da temperatura interna.

- Fase Anaeróbia Ácida (2): Com a diminuição do oxigênio o meio passa a ser ocupado por microrganismos anaeróbios e anaeróbios facultativos. A glicose resultante da primeira fase, é agora metabolizada. O resultado deste processo é a formação de álcoois, ácidos e acetatos. Gases como o hidrogênio e o dióxido de carbono são liberados para a atmosfera do aterro. A temperatura nesta fase diminui um pouco, ficando na faixa de 37-40°C e o pH encontra-se em seus valores mais baixos (gráfico 2). Para LIMA (1985) *apud* GOMES (1989) a duração desta fase é de 60 dias.

- Fase Metânica Instável (3): Com o equilíbrio na segunda fase, álcoois, ácidos e acetatos são agora decompostos por outro grupo de microrganismos (microrganismos hidrolíticos e fermentativos). Ocorre grande produção de acetatos, formiatos, hidrogênio e CO_2 , e pequenas quantidades de metano. A temperatura permanece em torno de 37°C. Em aterros, que são considerados como meios heterogêneos, dificilmente existem as condições ideais, fato que aumenta o tempo de retenção, fazendo com que a fase metânica instável possa durar até 8 anos. Para LIMA (1985) *apud* GOMES (1989) esta fase é relativamente longa, durando aproximadamente 2 anos.

- Fase Metânica Estável (4 e 5): Finalmente, com a transformação dos acetatos, formiatos e dióxido de carbono produzidos na terceira fase por microrganismos metanogênicos, o processo da conversão total da celulose se completa. Nesta fase, CH_4 e CO_2 são produzidos em grandes quantidades. A temperatura tende a estabilizar-se próxima à ambiente. O biogás gerado tem uma composição de gases da ordem de

Gráfico 2 - Variação do pH no aterro e seus efeitos na produção de gás metano.

onde: Nm^3 = volume ocupado por um gás nas condições normais de pressão e temperatura., isto é, 1 atmosfera (760 mm de Hg) e 0 °C.

aproximadamente 40% de dióxido de carbono e 60% de metano. Um aterro, em regime natural, pode atingir a quarta fase 10 anos após o aterramento.

POHLAND & HARPER (1985), apresentam um outro modelo para descrever a digestão anaeróbia em aterros sanitários, e dividem o processo em cinco fases, assim descritas resumidamente (gráfico 3):

Fase I: Ajustamento Inicial

- Disposição dos resíduos, acúmulo de umidade;
- Subsidência inicial, cobertura da área;
- Início do processo de estabilização detectado por mudanças nos parâmetros ambientais.

Fase II: Transição

- Formação do chorume;
- Transição da fase aeróbia para anaeróbia;
- Estabelecimento das condições de óxido-redução;
- Aparecimento de compostos intermediários (ácidos voláteis).

Fase III: Formação de Ácidos

- Predominância de ácidos orgânicos voláteis de cadeia longa;
- Decréscimo do pH com conseqüente mobilização e possível complexação de espécies metálicas;
- Liberação de nutrientes com Nitrogênio e Fósforo que serão utilizados como suporte para o crescimento da biomassa;

- Detecção do H_2 que pode afetar a natureza de alguns compostos intermediários formados.

Fase IV: Fermentação Metânica

- Conversão de produtos que apareceram na fase intermediária em CH_4 e CO_2 em excesso;
- Retorno do pH a nível de tampão, controlado pelos ácidos voláteis;
- Potencial redox nos valores mais baixos;
- Precipitação e complexação de metais;
- Drástica redução do DQO (demanda química de oxigênio), medida no chorume, com correspondente aumento da produção de gás.

Fase V: Maturação Final

- Estabilização da atividade biológica, com relativa inatividade;
- Escassez de nutrientes e paralisação da produção de gás;
- Predominância de condições ambientais naturais;
- Aumento do valor do potencial redox com o aparecimento de O_2 e espécies oxidadas;
- Conversão lenta de materiais orgânicos resistentes aos microrganismos em substâncias húmicas complexadas com metais reativados.

POHLAND & HARPER (1985), citam que a taxa de progresso entre as fases, depende de vários fatores, são eles: vários materiais tóxicos aos microorganismos, entre eles, oxigênio, metais pesados, metais alcalinos e alcalinos terrosos, cianetos, nitrogênio amoniacal, detergentes, antibióticos e ácidos orgânicos voláteis, além de soluções tampões e catalisadores, compactação do lixo e os próprios microrganismos existentes no lixo.

Gráfico 3 - Tempo de estabilização em dias.

A umidade é outro importante fator limitante no processo de digestão anaeróbia em aterros sanitários. Sabe-se que o teor de umidade melhora a produção de metano e aumenta a degradação da massa de lixo. Outro ponto a considerar diz respeito aos microrganismos existentes no local. Estes necessitam de um meio aquoso para atingir seu pleno crescimento; assim sendo, uma análise quantitativa dos microrganismos, será diretamente proporcional ao teor de umidade no interior do aterro. Por outro lado, um excesso de água, limitará o grau de compactação e um aumento no volume de percolado, parâmetros estes que devem possuir um controle durante as fases de construção e funcionamento dos aterros sanitários. O teor de umidade é influenciado por três fatores: a composição do lixo; as condições climáticas e as práticas de coleta.

1.3.1 A geração de metais na decomposição do lixo do aterro

PHIPPS (1981) *apud* ALLOWAY (1990) definiu metais pesados como um grande grupo de elementos com densidade maior do que 6 g/cm^3 . É também usado o termo de metais traços ou elementos traços para um grupo de elementos que ocorre naturalmente em baixas concentrações. Todavia o termo mais novo e que vem alcançando maior aceitação é o de elementos potencialmente tóxicos, uma vez que muitos metais pesados ou elementos traços são, em baixas concentrações, essenciais para a vida.

Segundo POHLAND & HARPER (1985), são inúmeros os estudos realizados sobre a formação e migração do chorume no meio ambiente enfatizando metais como o Cd, Ni, Pb, Zn e Cu. Os resultados revelaram a mobilidade dos citados metais em solos naturais, mesmo naqueles classificados como de baixa permeabilidade. Essa mobilidade foi considerada como função de inúmeros fatores entre os quais, pH, tipo de solo, natureza e concentração de íons metálicos e aerobiose ou anaerobiose do solo. Observou-se de maneira geral que quando o valor do pH decresce (como consequência da formação de ácidos orgânicos), a mobilidade dos metais aumenta. Constataram ainda que aplicando-se chorume ácido sintético em solos naturais, a mobilidade dos metais acontecia na seguinte sequência: $\text{Mn} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cd}$.

Ainda segundo estes autores, a colocação de argilas de baixa permeabilidade ou lonas sintéticas em aterros, tornou-se uma técnica obrigatória para deter a migração do chorume. Entretanto muitos aterros ainda em operação, foram construídos sem o benefício desses artificios. Além disso, tais métodos de impermeabilização não são considerados como de máxima segurança, pois atualmente tem-se conhecido de infiltrações e vazamentos em aterros cuidadosamente impermeabilizados de acordo com diversas técnicas.

Utilizando-se de chorumes neutros observaram que todos os elementos traços estudados foram absorvidos em alguma quantidade, com Zn e Fe sendo os elementos mais fortemente atenuados e Ca e Mn sendo os que apresentaram maiores índices de mobilidade. Verificaram que o Cr, Hg e Ni são extremamente móveis numa ampla variedade de solos, enquanto que o Hg foi significativamente atenuado por solos argilosos. Relataram ainda que a atividade microbiana pode influenciar a migração dos metais, afetando muito dos mecanismos de atenuação, e ainda que alguns compostos bioquímicos sintetizados por microrganismos podem formar complexos solúveis com íons metálicos.

Finalizando, POHLAND & HARPER (1985) analisaram a situação atual, concluindo que apesar dos avanços tecnológicos e do grande número de pesquisas realizadas pouco se conhece sobre as mudanças que realmente acontecem no solo, principalmente no que diz respeito às alterações específicas na estrutura edáfica e suas transformações a longo prazo.

MERBACH JÚNIOR (1989), estudou alguns metais pesados (Cu, Cr, Fe, Mn, Ni e Zn) presentes no percolado do aterro sanitário da cidade de São Carlos, SP, em função do tempo de disposição, num período máximo de dois anos, e verificou uma tendência inicial de altas concentrações dos mesmos no percolado, sendo que em seguida ocorre uma queda e uma certa estabilidade em baixas concentrações dos mesmos. Este

comportamento dos metais pesados presentes no percolado é explicado pela maturação do aterro sanitário. Entretanto como o estudo foi realizado em somente uma célula estas conclusões devem ser aplicadas com restrições pois nos aterros há células de diferentes idades gerando chorume.

JAMES (1977) *apud* MERBACH JÚNIOR (1989), apresenta valores de metais detectados em chorume de aterros com diferentes idades (tabela 1). CETESB (1996), realizou um levantamento de parâmetros físico-químicos dos percolados de vários aterros da grande São Paulo, os quais estão apresentados nas tabelas 2 e 3.

EGREJA FILHO & PEREIRA NETO (1993), avaliaram a ocorrência e a distribuição química de metais (Cu, Zn, Cd, Pb e Mn) na compostagem do lixo domiciliar urbano, visando a avaliação do real risco ambiental oriundo da utilização agrícola do composto. Concluíram que a mobilidade de todos os metais estudados decresce com o decorrer do processo de compostagem, atingindo valores mínimos após a fase de maturação. A diminuição da mobilidade foi associada à formação de humatos metálicos (quelatos) de alta estabilidade, havendo casos tão extremos como para o Cu e o Zn, em que nem o DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético), que é um forte agente quelante, consegue extrair os metais complexados. Existe também a possibilidade da oclusão destes metais no interior dos colóides orgânicos, ocorrida durante a fase de condensação e polimerização que leva à formação de húmus. Portanto, a utilização de compostos orgânicos, evidentemente maturados, diminui muito o risco de contaminação ambiental por metais tóxicos presentes nos resíduos orgânicos, além da possibilidade de utilização do próprio composto como agente atenuante da poluição por metais provinda de outras fontes.

A utilização do crustáceo *Daphnia similis* para a avaliação da toxicidade de efluentes vem sendo utilizada com muita frequência nos últimos anos (GHERARDI, et al., 1990). Estudos realizados por ZAGATTO (1988), para avaliar a sensibilidade deste microcrustáceo utilizando dicromato de potássio como referência, estabeleceu uma faixa

de aceitabilidade dos dados que compreende valores de concentração efetiva (ver definição no item 3.3.1.1) - CE(50); 24 horas, entre 0,04 mg/L a 0,17 mg/L. A *Daphnia pulex* foi utilizada por ATWATER et al. (1983) na avaliação da toxicidade aguda em chorume, mostrando-se tão eficiente quanto a utilização de peixes, com a vantagem de ser um método mais simples de ser empregado e de menor custo.

A *Daphnia similis* foi utilizado por BERTOLETTI (1989) *apud* SIVIERO (1995), para avaliar a toxicidade de 21 efluentes pertencentes a diversas atividades industriais que passavam por processos de neutralização. Para o ajuste do pH foram utilizados HCl e NaOH 1N. Os resultados mostraram que em 38% dos casos, a toxicidade manteve-se inalterada após ajuste do pH. Em 52% dos casos houve uma redução de 32% a 99% na toxicidade das amostras. O autor ressalta que em cinco casos a toxicidade aguda permaneceu baixa, enquanto que em dois casos observou-se aumento significativo na toxicidade após ajuste do pH. Com base nos resultados o autor salienta que uma simples neutralização do efluente industrial pode atender a legislação, mas quanto a toxicidade, esses elementos podem causar danos aos organismos aquáticos e também inibir determinadas fases em tratamentos biológicos.

Tabela 1 - Padrões da EPA para alguns elementos químicos e para o DQO em água potável comparados com a média dos valores detectados em chorumes, provenientes de aterros de diversas idades.

	Fe ppm	Cu ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr total ppm	Zn ppm	Hg ppm	Se ppm	DQO mg O ₂ /l
EPA	0,3	1,0	0,05	0,01	0,05	5,0	0,002	0,010	-
Aterro com 2 anos	495	0,45	0,15	0,007	0,073	13,6	0,0034	0,027	14258
Aterro com 2,5 anos	679	0,2	0,18	0,02	0,19	9,1	0,018	0,08	11274
Aterro com 3,3 anos	618	0,43	0,26	0,015	0,11	1,6	0,064	0,127	12292
Aterro com 4 anos	15,2	0,25	0,16	0,008	0,10	7,2	0,036	0,116	2900
Aterro com 20 anos	25,0	0,19	0,10	0,008	0,034	3,7	0,012	0,06	2666

Fonte: JAMES (1977) apud MERBACH (1989, modificado).

Tabela 2 - Levantamento de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos de líquidos percolados de quatro aterros sanitários de São Paulo.

Parâmetro	UN	V. Albertina			Eng. Goulart			Raposo Tavares Km 14,5			Pedreira CIT		
		Min	Méd	Max	Min	Méd	Max	Min	Méd	Max	Min	Méd	Max
pH		5,9	6,6	7,3	4,9	5,4	6,3	8,4	8,5	8,7	7,2	7,2	7,3
Resíduo Total	mg/l	9850	14431	19800	3100	3155	3200	15900	18709	21400	11800	16575	28300
Resíduo Fixo	mg/l	5020	7825	12600	270	1646	3270	11500	12967	15100	7500	8815	10900
Res. Volátil	mg/l	3800	6740	10400	248	1715	3505	3680	5769	9700	4100	7793	15400
Res. Filtrável	mg/l	4530	10764	18600	511	3106	6442	15000	18701	21100	10400	14975	24500
Res. Não Filtr.	mg/l	74	3678	10600	32	249	816	44	178	330	1170	1610	1830
Res. Sediment.	mg/l	1,00	20,50	62,00	<0,1	<1,3	5,00	<0,1	<0,5	1,20	1,50	4,30	8,00
Nitr. Amoniacal	mg/IN	308	549	760	6	75	175	2280	2564	2900	818	881	950
Nitr. Nitrato	mg/IN	0	0,003	0,01	0	0,02	0,04	-	-	-	-	-	-
Nitr. Nitrato	mg/IN	0,16	0,65	1,65	0,03	0,13	0,32	1,74	2,24	2,74	-	5,53	-
Nitr. Kjeldhal	mg/IN	440	709	1050	15	127	275	2430	2729	3140	940	1003	1100
DBO (5 dias, 20° C)	mg/l	690	10919	19800	480	3738	7700	700	1389	2270	3260	3675	4020
DQO	mg/l	4380	18110	28000	966	5836	12500	6080	6671	7840	6500	7163	8100
Cloreto	mg/Cl	854	2341	11000	50	311	550	60	1378	180	1450	1530	1650
Sulfato	mg/ISO ₄	<2	<70	160	0	33	106	1100	1223	1490	800	1176	1800
Fósforo Total	mg/TP	3,70	7,40	14,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro	mg/Fe	128	1121	6000	0,2	84,4	234	15,2	20,1	24,6	61	93,3	155
Cobre	mg/Cu	0,06	0,29	1,20	0,01	0,05	0,19	0,14	0,28	0,67	0,09	0,14	0,21
Chumbo	mg/Pb	0,18	0,69	2,30	0,00	0,09	0,22	0,30	0,44	0,50	0,30	0,58	0,90
Zinco	mg/Zn	0,50	10,36	35,60	0,12	2,33	9,40	0,72	1,03	1,50	3,20	6,25	9,00
Manganês	mg/Mn	0,93	15,17	26,00	0,61	4,19	11,00	0,09	0,21	0,30	0,95	2,43	3,76
Cádmio	mg/Cd	0,01	0,08	0,20	0,00	0,01	0,02	-	-	-	-	-	-
Cromo Hexav.	mg/Cr	<0,01	<0,014	<0,014	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo Total	mg/Cr	0,06	0,75	1,63	0,00	0,35	3,85	0,80	0,97		0,30	0,41	0,48
Colif. Totais	NMP/100 ml	230	1,7E 6	1,7E 8	-	-	-	4,9E 3	2,3E 5	7,9E 6	1,4E 5	1,6E 6	2,4E 7
Colif. Fecais	NMP/100 ml	49	1,7E 5	4,9E 7				140	3,3E 4	3,3E 6	1,4E 5	1,2E 6	2,4E 7

Fonte: CEIESB (1996)

Tabela 3 - Resultados analíticos das características físico-químicas dos líquidos percolados procedentes dos aterros sanitários selecionados.

Parâmetros Analisados	Aterro Sanitário de Santo André							Aterro Sanitário dos Bandeirantes				Aterro Sanitário de Itapequerica da Serra		
	4000	-	4300	3500	3000	2800	2800	6300	1880	1180	1300	1100	1090	852
Alcalinidade Bicarbonato	< 1,00	1,28	2,90	1,43	0,44	< 1,00	< 1,00	< 1,00	2,03	2,00	1,80	555	31,20	50,20
Alumínio	< 0,085	< 0,034	< 0,068	< 0,068	< 0,085	< 0,017	< 0,017	< 0,017	-	-	< 0,017	-	-	-
Arsênico	< 0,10	< 0,10	0,37	< 0,10	< 0,1	< 0,10	< 0,10	0,23	-	-	-	7,65	3,13	4,25
Bário	0,02	< 0,005	0,02	0,01	< 0,02	< 0,005	< 0,02	0,01	< 0,005	-	< 0,005	0,01	< 0,005	< 0,02
Cádmio	232,0	74,6	152,0	122,0	78,5	75,4	68,9	-	33,6	54,0	42,0	-	-	-
Cálcio	< 0,10	0,10	0,02	0,47	< 0,10	< 0,10	0,20	0,10	0,25	ND	ND	370	172	220
Chumbo	0,08	0,15	0,10	0,10	2,11	0,05	0,10	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05	0,30	0,12
Cobre	9200	97000	11400	9400	7500	7700	6900	16900	-	-	-	4330	4580	4400
Condutividade	< 0,05	< 0,05	0,09	0,08	0,06	0,1	< 0,05	0,09	0,12	0,09	0,08	1,00	< 0,05	< 0,05
Cromo Total	4460	3800	8050	5650	3170	3800	2600	7150	6200	5550	6520	3700	2560	2930
DQO Total	4690	4720	5790	5610	1990	2560	1720	8430	4120	3410	4320	2690	2520	2720
DBO Total	107,00	12,20	51,00	79,50	57,90	50,20	12,80	18,00	23,60	24,90	26,20	2790	113,00	220,00
Ferro	3,30	3,50	4,50	4,00	2,10	3,25	27,50	16,00	4,20	10,00	11,20	10,50	0,63	9,00
Fosfato Total	54,50	120,00	185,00	163,00	88,90	84,70	17,10	308,00	25,20	30,40	27,20	83,70	77,80	82,50
Magnésio	4,00	3,00	5,00	3,79	2,80	3,60	2,80	3,40	4,25	4,40	3,80	33,50	1,60	1,70
Manganês	0,15	0,17	0,25	0,21	0,09	0,10	0,35	0,13	0,09	0,12	0,10	0,10	0,09	0,18
Níquel	920	750	1,150	680	600	880	4950	80	210	650	640	160	160	160
Nitrogênio Total	38	45	22	17	50	20	44	27	23	28	30	271	50	57
Óleos e Graxas	8,65	7,20	7,30	7,30	8,00	7,10	6,90	8,50	7,68	7,59	8,00	7,14	7,05	7,10
pH	600	650	910	725	480	28	475	1100	460	480	620	320	290	315
Potássio	5690	5810	7830	7160	4420	4520	3760	8810	7200	6100	6920	10700	4300	3800
Resíduo Total	2460	2380	3350	3330	1760	1660	1230	3560	5100	3800	3980	2760	1690	1320
Resíduo Volátil	300	264	455	272	295	420	213	195	108	180	200	5660	1020	-
Res. Não Filtr. Total	50	156	350	224	260	252	173	170	100	97	120	-	-	-
Res. Não Filtr. Volátil	0,20	0,30	0,80	0,90	0,50	2,50	0,50	ND	0,20	ND	0,30	190,00	7,50	10,50
Res. Sedimentável	200	550	700	49	420	120	81	1200	370	600	420	300	280	285
Sódio	60	108	ND	< 20	< 2	< 4	< 2	< 20	< 2	< 2	< 2	10	3	4
Sulfato	2,40	0,96	2,50	1,20	1,60	0,92	0,68	0,78	0,07	0,23	0,17	1,28	0,06	0,06
Zinco														

OBS: Todos os parâmetros estão em mg/l com exceção dos valores de pH e de Resíduos Sedimentares (ml/l)

Fonte: CETESB (1996)

1.3.2 Retenção pelo solo dos elementos potencialmente tóxicos

Segundo ALLOWAY (1990), as argilas, devido a dimensão de sua superfície total, e as substâncias orgânicas são os principais retentores de metais. A matéria orgânica ou húmus contribui mais do que as argilas na captura e retenção de metais, quando o pH do solo é superior a 5. A ordem crescente de estabilidade dos metais potencialmente tóxicos é: $Cd < Ni < Co < Zn < Cu < Pb < Hg$. Percolados de aterro contém normalmente altas concentrações de Cl^- podendo formar complexos clorados com os metais presentes, tornando-os mais móveis e menos facilmente adsorvidos do que quando na forma de cátion.

PREZOTTO (1994) concluiu que Cd, Ni e Zn predominavam nos solos por ela estudados sob forma inorgânica e catiônica. A retenção e conseqüente mobilidade dessas formas mostrou ser função do pH do solo no momento da adição do metal, da capacidade de troca catiônica (CTC), do conteúdo de argilas e de óxidos de ferro e alumínio presentes no solo. Tendo em vista os resultados obtidos pode-se concluir que, à semelhança do que é feito em solos sob clima temperado, a quantidade máxima permissível de metais a ser adicionada em solos de clima tropical, pode ser limitada pela CTC e pH desses solos no momento da adição do metal. Entretanto um parâmetro melhor para essa adição de metais, esteja ele presente num resíduo orgânico ou inorgânico, é o conteúdo de argila e de óxidos de ferro e alumínio do solo onde esse resíduo vai ser descartado, uma vez que as características do metal são determinantes na previsão do seu comportamento (gráfico 4). O Cu apareceu predominantemente ligado à matéria orgânica com baixa mobilidade em todos os solos por ela estudados. Embora se tivesse adicionado Cr sob forma trivalente os resultados levaram a concluir que houve oxidação desse elemento a Cr (VI) provavelmente levada a efeito pelos óxidos de Mn presentes nos solos. Convém ressaltar que os solos foram estudados apenas até uma profundidade máxima de 40 cm e as soluções contendo os metais estudados (Cu, Cd, Cr, Ni e Zn) foram adicionadas conjuntamente ao solo visando a aplicação simultânea da quantidade máxima de metais permitida em solos agrícolas.

Gráfico 4 - Sistemática sugerida para adição de metais em solos.

Fonte: PREZOTTO (1984)

ALEXANDRE (1995) e ALEXANDRE et al.(1995a), estudaram o comportamento do As, Cu, Pb e Zn na zona não-saturada e saturadas em clima tropical (região de Louveira - SP). Os resultados indicaram que as principais fontes dos metais estudados são: As e Zn - rocha original, Cu pesticidas e Pb atmosfera, com os solos poluídos por Cu e Pb. Os principais responsáveis pela retenção do Cu , Pb e Zn, na zona não-saturada, são os minerais ferruginosos. Os argilo-minerais retêm o As.

TOLEDO et al. (1995), realizaram estudos em laboratório, através de colunas de solo, visando a retenção do Zn, Cu, Co e Pb por solos da zona insaturada sob clima tropical. Concluíram que nos dez primeiros centímetros a retenção é muito elevada para estes elementos. Entretanto quando se simula um clima mais seco, somente o Pb é mais retido na parte média e basal da coluna.

SZIKSZAY (1995), em estudo de laboratório e em campo concluiu que a presença de oxihidróxidos de Fe é o principal fator para retenção de metais na zona insaturada e que dependendo da intensidade da infiltração d'água pode ocorrer uma nova mobilização dos metais anteriormente retidos.

COTTAS (1983) sugeriu que onde haja intenção de construir aterros para depósito de lixo, em terrenos constituídos pela Formação Rio Claro,, o topo do aquífero freático deve possuir uma profundidade mínima de 14 metros. Isto por que normalmente são utilizados 5 metros para a escavação, restando ainda 9 metros para a filtração do percolado até este atingir o aquífero freático.

1.4 Métodos geofísicos aplicados em estudos de depósito para lixo

MENDES (1987), descreveu a aplicação dos métodos geofísicos de eletrorresistividade e eletromagnético indutivo, ambos através de sondagens (elétricas e eletromagnéticas) e de caminhamentos (elétricos e eletromagnético), para mapear e monitorar a poluição e contaminação de águas subterrâneas, especificamente nos casos de aterros sanitários localizados nos municípios paulistas de Taubaté, São José dos Campos e Novo Horizonte. Após concluir que os métodos adotados são adequados para o estudo da poluição subterrânea, fez ainda um estudo comparativo entre estes:

- O método de eletrorresistividade fornece uma interpretação quantitativa mais precisa, permite investigar grandes profundidades, mas sofre interferência de correntes telúricas, o que pode exigir fontes bastante potentes. Utiliza-se, para sua operação, de até cinco pessoas.

- O método eletromagnético indutivo permite obter, de maneira mais rápida, medidas de condutividade para elaboração de mapas e perfis de isovalores cuja interpretação qualitativa se equívale, em termos de precisão e nível de informação, às obtidas pelo método de eletrorresistividade. Utiliza-se de no máximo duas pessoas e os valores perdem a linearidade em locais de alta condutividade porque são influenciadas mais fortemente por feições superficiais do que profundas.

- Os dois métodos são vulneráveis a interferências naturais e artificiais como tempestades magnéticas, linhas de alta tensão, proximidades de veículos, etc.

- Ambos os métodos se completam, com a eletrorresistividade apresentando vantagens na determinação do número de camadas, suas espessuras e resistividade até grandes profundidades sob um ponto determinado do terreno, através de sondagens elétricas, e o eletromagnético indutivo no mapeamento e medidas de direção de fluxo de manchas poluentes por meio de caminhamentos eletromagnéticos.

ELLERT et al. (1988), apresentaram um resumo das técnicas geofísicas aplicáveis ao estudo da poluição da água subterrânea, ilustrando com resultados obtidos em dois aterros do estado de São Paulo.

ELLERT et al. (1990), utilizaram com sucesso o método eletromagnético indutivo e o de eletrorresistividade para estudar, no lixão do município de São Carlos - S.P., a presença e extensão de qualquer nuvem de poluente. Utilizaram também a sísmica de refração, objetivando a determinação do comportamento horizontal e vertical do maciço geológico e das características hidrogeológicas. Ressaltaram ainda a alta resolução e a rápida execução (até 1 Km/hora) do método eletromagnético indutivo.

DEHAINI (1995), utilizou o método de eletrorresistividade e o eletromagnético indutivo para detectar a poluição no aquífero provocado pelo lixão do município de Diadema - S.P. Além de mostrar a adequabilidade destes métodos para o estudo deste tipo de problema, assumiu que o constituinte iônico sódio foi responsável pela detecção das anomalias através destes métodos. Sugeriu como 170 ppm o valor mínimo de concentração de sódio presente na pluma de contaminação, para ocorrer anomalias detectáveis por estes métodos.

BOIAN (1995), aplicou o método geofísico de indução eletromagnética de corrente para estudar o aterro sanitário da cidade de São José do Rio Preto, e conseguiu mapear a pluma de contaminação por este método.

CARPENTER et al. (1990), utilizando o método eletrorresistividade com arranjo do tipo Wenner e Schlumberger, conseguiram mapear a estrutura interna de um aterro sanitário com um erro médio na determinação das espessuras das camadas de cerca de 30%.

MALAGUTTI (1991), recomenda, sempre que possível, que as técnicas sísmicas e elétricas devem ser empregadas de maneira integrada, pois minimiza as limitações interpretativas de ambas as técnicas. Ressaltou também que, na utilização do método da sísmica de refração, para obter-se uma densidade de informação razoável, deve haver um espaçamento entre pontos de tiro de no mínimo 50 metros.

COSTA & FERLIN (1993), aplicaram os métodos eletrorresistividade (sondagem elétrica vertical) e eletromagnético EM 34-3, na detecção e monitoriamento de dois depósitos de lixo no estado do Rio Grande do Sul. Realçaram a rapidez com que se obtém informações para monitoriamento da pluma em relação aos métodos convencionais (coleta e análise das águas de poços de monitoriamento).

2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

2.1 LOCALIZAÇÃO

O município de Rio Claro localiza-se no centro - leste do Estado de São Paulo e dista 175 Km a noroeste da capital, com acesso rodoviário através do sistema Anhanguera - Bandeirantes e rodovia Washington Luiz (SP 310) e acesso ferroviário através da FEPASA (figura 1).

O aterro sanitário localiza-se ao lado da rodovia Fausto Santomauro (SP 127) que interliga os municípios de Rio Claro e Piracicaba, na altura do Km 2 (figuras 2).

Figura 2: Localização do Aterro controlado da Cidade de Rio Claro

REFERÊNCIA CARTOGRÁFICA

Folha Barro de Assistência
SF-23-Y-A-I-4-SE-E IGC 1979

Aterro controlado de Rio Claro

MUNICÍPIO
Rio Claro

ESCALA
1/10.000

Fonte: Secretaria de Economia e Planejamento (1979)

2.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS REGIONAIS

2.2.1 Aspectos climáticos

O clima da região de Rio Claro, na classificação de Köppen é do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco com estação chuvosa no verão. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18^o C, e a do mês mais quente ultrapassa os 22^o C. Segundo TROPPEMAIR (1978) o regime de chuvas, quanto à distribuição anual, é tropical, com duas estações definidas. De abril a setembro ocorre o período seco, caindo em 15 a 20 dias um total de 180 a 200 mm de chuva. Estas chuvas estão associadas à invasões de massas polares que também provocam amplitudes térmicas médias de 12 a 14^o C, ou, em casos extremos, até 18^o C em 24 horas. O período úmido ocorre de outubro a março, onde cerca de 1.200 mm de precipitação caem em 55 a 60 dias de chuva, correspondendo a mais de 80% das precipitações anuais. Neste época normalmente verificam-se amplitudes térmicas menores que 12^o C. Os ventos predominantes são os provenientes dos quadrantes S e SE.

Na tabela 4 são apresentados os valores acumulados em mm da precipitação pluviométrica, a partir de setembro de 1992, de um posto de observação (posto Agroceres) situado a mesmo de um quilometro do aterro controlado da cidade de Rio Claro.

Tabela 4 - Dados acumulados pluviométricos em milímetros (mm), coletados no posto Agroceres.

ano	jan.	fev.	mar.	abr.	mai.	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Total
92	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	135,4	84,2	190,7	77,2	
93	326,9	296,1	108,6	56,3	59,1	41,0	12,1	37,7	183,1	38,8	130,7	150,7	1.441,10
94	194,9	213,0	91,1	59,2	67,9	32,2	14,4	0,0	0,0	118,8	243,2	306,9	1.341,60
95	210,5	502,3	191,2	97,6	97,8	30,4	48,5	0,0	27,2	153,3	149,5	164,2	1.672,50
96	474,5	169,6	199,3	98,0	111,1	14,4	0,0	48,5	141,4	176,3	213,6	169,6	1.816,30

nd: não determinado. Fonte: TAVARES et al. (1994,1995,1996 e 1997).

2.2.2 Aspectos pedológicos e da vegetação

Latossolo vermelho amarelo é a classificação do solo sobrejacente à Formação Rio Claro (COTTAS, 1983), cobrindo uma faixa que se estende do centro-norte até o sudoeste do município de Rio Claro. São latossolos de coloração vermelho-amarelada, espessos e apédicos. Do ponto de vista químico são solos muito ácidos, com soma e saturação em bases muito baixas, e com alumínio trocável ao longo do perfil. O material original é produto do intemperismo dos sedimentos arenosos da Formação Rio Claro (figura 3).

A vegetação de origem era predominantemente cerrados e cerradões. Atualmente nos solos em torno do aterro sanitário é cultivada cana-de-açúcar onde ainda não é praticada a fertirrigação (irrigação utilizando a vinhaça, originada do processo industrial de transformação da cana-de-açúcar em álcool e açúcar, com fins fertilizantes).

2.2.3 Aspectos geomorfológicos

No contexto geomorfológico do relevo paulista, de acordo com vários trabalhos sintetizados no mapa geomorfológico do Estado (IPT, 1981a), o Estado de São Paulo é dividido em cinco grandes províncias geomorfológicas, sendo que a área de estudo está inserida na província III - Depressão Periférica, zona do médio Tietê. O sistema de relevo na área estudada é classificado como colinas amplas, isto é, com declividade baixa (até 15%), topos extensos e aplainados e drenagem de baixa densidade. MELO (1995), classifica a área em estudo como nível planáltico Bd (segunda superfície rebaixada) com altitudes entre 520 e 680 m.

Fonte: Cottas (1983)

Figura 3 - Mapa de Solos da região de Rio Claro

2.3 GEOLOGIA REGIONAL

A geologia da área de estudo é constituída por sedimentos da Formação Rio Claro assentados sobre sedimentos da Formação Corumbataí (figura 4).

2.3.1 Formação Rio Claro

Segundo ZAINÉ (1994) os sedimentos da Formação Rio Claro são predominantemente arenosos, esbranquiçados, amarelados e róseos, mal consolidados, com solo (latossolo areno-argiloso) bastante desenvolvido (8 a 12 m de espessura) nos altos (topo dos interflúvios). São comuns as intercalações de lentes argilosas e também de níveis conglomeráticos.

O desenvolvimento de um solo profundo pode ser atribuído ao fato de os depósitos da Formação Rio Claro serem arenosos e de fraca litificação, favorecendo processos pedogenéticos avançados e, obviamente, com grande influência climática nesta evolução.

Numa rápida descrição de um perfil geral, a partir de um latossolo espesso, pode ser visualizado o limite solo-rocha, ou o limite entre os horizontes "B" e "C", com o registro de níveis argilosos, que chegam a ser preservados mesmo em meio ao solo, na forma de camadas ou de horizontes contínuos contendo fragmentos dos níveis lamíticos. Tal limite, chamado, informalmente, "solo/rocha" também é freqüentemente marcado em situações de meia encosta, por linhas de seixos ou cascalheiras e lateritas ferruginosas associadas, caracterizando, assim, um solo "alóctone", ou seja, solo coluvionar.

A porção basal da Formação Rio Claro é sempre marcada por um nível conglomerático, passando para arenito argiloso e conglomerático. Quando assentada sobre a Formação Pirambóia, os conglomerados são mais proeminentes. O contato com a Formação Corumbataí é marcado, além dos seixos de quartzo, por fragmentos de siltito, de argilito e por sílex.

Figura 4 - Mapa Geológico da Região de Rio Claro Escala 1:50.000

Fonte: Adaptado da Secretaria da Agricultura e Abastecimento (1986)

Na base da Formação Rio Claro, além dos ruditos, sempre ocorrem arenitos argilosos, de coloração amarelada, avermelhada e arroxeadada, com seixos de quartzo esparsos ou em linhas, maciços ou com acamamento tênue.

Níveis conglomeráticos de 0,10 a 0,30 m de espessura podem ocorrer por toda a coluna, compostos por seixos de quartzo de 0,01 a 0,03 m (moda), clastos de lamitos e, comumente, crostas ferruginosas associadas.

Os litotipos mais freqüentes da unidade são arenitos de cores variadas, esbranquiçados, amarelados, avermelhados e arroxeados, de granulometria predominantemente fina a média, variando para frações grossas e conglomeráticas, com níveis bem selecionados, friáveis. Ocorrem também na forma de bancos de até 5 m, com predomínio de granulometria grossa, geralmente com estruturas como estratificação cruzada planar e acanalada, com níveis conglomeráticos na base. Os arenitos também podem constituir camadas decimétricas a métricas, com granulometria fina a média, estratificação cruzada e granodecrescência ascendente, alternadas com níveis pelíticos (argilitos e siltitos), arroxeados, avermelhados, marrons, amarelados a pardacentos, maciços a finamente laminados, com espessura média de 0,10 a 0,30 m, podendo ocorrer camadas de 1 m a mais de 3 m. Evidências de diastrofismo são mais visíveis nestes últimos litotipos, além do registro de fósseis vegetais.

Os níveis pelíticos constituem a porção superior de pequenos ciclos de deposição, gradando a partir da porção arenosa. Quanto à sua distribuição espacial vertical dentro da unidade, ocorrem, preferencialmente, em uma porção intermediária, compondo, juntamente com os arenitos, uma seqüência cíclica de areia e argila, com espessuras de 0,30 m até pouco mais de 1 m.

Por vezes, podem ser observadas crostas ferruginosas, junto aos níveis argilosos, evidenciando processos de laterização, principalmente, na interface areia - argila, além de

concreções, que conferem um aspecto de “acebolamento” aos lamitos com cimentação ferruginosa, por remobilização e concentração do ferro.

MELO (1995), realizou análises mineralógicas da fração argila da Formação Rio Claro, encontrando a seguinte proporção dos minerais argilosos: caulinita, muito abundante (50 a 80%); illita, escassa (1 a 5%); camada mista, raro (<1%); gibbsita, raro (<1%) e goethita, raro (<1%).

Nos arenitos pode ser notada, a presença de variadas concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro, pelos tons coloridos, principalmente amarelados, róseos e arroxeados. Algumas destas camadas arenosas têm alta pureza, com teores médios de sílica da ordem de 99,5% “in natura”. Este dado despertou o interesse econômico, sendo estas camadas de areia mais pura, objeto de exploração pela Mineração Mandu, em lavra localizada no Distrito de Ajapi, que a explora para ser utilizada como matéria-prima para indústria de fundição (FERREIRA, 1995).

A permeabilidade (K) da Formação Rio Claro intemperizada possui valor médio de $2,3 \times 10^{-4}$ cm/s (COTTAS, 1983).

2.3.2 Formação Corumbataí

Define-se como Formação Corumbataí, a unidade superior do Grupo Passa Dois no Estado de São Paulo, com área de ocorrência bastante extensa no vale do Rio Corumbataí, de onde foi proposta sua designação por PACHECO *apud* ZAINE (1994).

Litologicamente, é constituída por argilitos, siltitos e folhelhos arroxeados e marrom-avermelhados, às vezes esverdeados, com intercalações de arenitos, leitos carbonáticos e coquinas. Seus espessos e contínuos pacotes lamíticos são alvos de intensa atividade de mineração, sendo cada vez mais explorada para fabricação de cerâmica vermelha.

A espessura da Formação Corumbataí, junto à sua faixa aflorante, em território paulista, é da ordem de 130 m. Na região de Rio Claro é admitida uma espessura máxima de 130 m, adelgaçando para norte, não ultrapassando 60 m nas proximidades de Leme/Pirassununga.

A permeabilidade (K) da Formação Corumbataí possui valor médio de $6,5 \times 10^{-7}$ cm/s (COTTAS, 1983).

2.4 GEOLOGIA LOCAL E HIDROGEOLOGIA

Segundo ZAINÉ (1994), na área onde situa-se o aterro controlado, não há falhas ou outros lineamentos que causariam uma descontinuidade nas rochas favorecendo infiltrações.

Foram executadas no aterro controlado, em junho de 1983, antes das escavações para obtenção de material para recobrimento do lixo, duas sondagens tipo SPT (SP - 1 e SP - 2), cujos perfis encontram-se na figura 5 e a localização das mesmas na figura 6. Nota-se que:

- Havia cerca de 5 m de espessura de sedimentos intemperizados da Formação Rio Claro, cuja permeabilidade (K) era de aproximadamente $2,0 \times 10^{-4}$ cm/s;
- Ocorria uma lente de argilito de menos de um metro de espessura. Provavelmente esta lente possuía estruturas de sobrecarga (ondulações) que faz com que a profundidade de ocorrência da mesma oscile entre 5 a 6 m de profundidade;
- A sucessão litológica acompanha a topografia.

Figura 5 - Perfis das sondagens tipo SPT executadas em junho de 1983.

DESCRIÇÃO LITOLÓGICA:

- A** = MATERIAL ARENO-ARGILOSO, LATERIZADO, MARROM-AVERMELHADO - FORMAÇÃO RIO CLARO - COLUVIONAR, $K \cong 2.0 \times 10^{-4}$, PERMEÁVEL
- B** = NÍVEL CONGLOMERÁTICO, SEIXOS PEQUENOS DE LIMONITA, MATRIZ ARENO-ARGILOSA CASTANHO-CLARO - FM RIO CLARO - COLUVIONAR
- C** = LENTE DE ARGILITO BRANCO-ROSA-LILÁS, FRATURADO, FORMAÇÃO RIO CLARO - ALUVIONAR, PERMEÁVEL P/ FRATURAS
- D** = AREIA MÉDIA A FINA LIGEIRAMENTE CONGLOMERÁTICA, AMARELA E VERMELHA, FM RIO CLARO - ALUVIONAR, $K \cong 10^{-3}$, PERMEÁVEL
- E** = SILTITO LILÁS ALTERADO, FM CORUMBATAÍ, PERMEÁVEL
- F** = SILTITO LILÁS, INALTERADO, FRATURADO, FM CORUMBATAÍ, PERMEÁVEL POR FRATURAMENTO

FONTE: PREF. MUNICIPAL DE RIO CLARO, 1983

Em ensaios de permeabilidade, encomendados pela prefeitura, onde amostras do solo do aterro foram compactadas com a energia equivalente da Proctor Normal, trabalhando com a umidade ótima de 10,2%, conferiu um coeficiente de permeabilidade nunca superior a 10^{-6} cm/s.

Foi ainda realizado pelo autor em 27 de outubro de 1996 uma sondagem a trado, cuja descrição é mostrado na tabela 5 e sua localização na figura 6. Ressalta-se que:

- O nível do hidrostático estava à profundidade de 6,81 m;
- Há uma pequena camada, com 0,93 m de espessura, de sedimentos inconsolidados recentes provenientes do retrabalhamento da Formação Rio Claro intemperizada e do material utilizado para cobertura do lixo e drenagem do percolado e dos gases (brita de basalto, entulhos de construção e rochas da Formação Irati constituídas por folhelhos piro-betuminosos, calcários dolomíticos e sílex);
- Foram encontrados vestígios da lente de argilito a 4,01 m de profundidade. Provavelmente trata-se da mesma lente de argilito detectada nas sondagens do tipo SPT, porém, como há um aumento da declividade do terreno neste local, o argilito sofreu um “creep” (envergamento e ruptura misturando-se com o solo das proximidades);
- Há um nível com abundantes concreções limoníticas a 3,61 m de profundidade que marca o início da passagem do arenito intemperizado para o saprolito (TANDEL, 1993), este último a partir de 4,21 m de profundidade. Notar que este mesmo nível foi observado na sondagem SP - 2 (nível B). A importância neste nível reside em ser uma barreira geoquímica, onde é reprecipitado o óxido de ferro que foi carregado pelas águas pluviais (TANDEL, 1993).

A figura 7 sintetiza estes dados.

Tabela 5 - Descrição de campo da sondagem a trado (ST) executada em 27/10/96.

Cota aproximada: 575 m. Equipamentos: Até 0,93 m cavadeira, de 0,93 a 1,23 m trado manual de 3" e de 1,23 ao final trado mecânico de 3". Localização na figura 6.

Profundidade em metros	Descrição Litológica
0,00 - 0,11	Sedimento muito recente, arenoso, cinza e com matéria orgânica.
0,11 - 0,19	Sedimento muito recente, arenoso, negro com matéria orgânica.
0,19 - 0,29	Idem
0,29 - 0,39	Sedimento muito recente, areno-argiloso com matéria orgânica.
0,39 - 0,53	Idem
0,53 - 0,93	Sedimento areno-argiloso e mesclado entre negro e avermelhado. Presença de um seixo de basalto. Final do sedimento muito recente.
0,93 - 1,23	Solo areno-argiloso amarronzado com um pouco (odor) de matéria orgânica.
1,23 - 1,98	Solo arenoso amarronzado sem matéria orgânica.
1,98 - 3,16	Idem.
3,16 - 4,21	Solo vermelho e argiloso. Concreções de óxidos de ferro e manganês a 3,61 m. Passagem do arenito intemperizado para o saprolito. Concreções de argila a 4,01 m.
4,21 - 5,13	Arenito com cor alaranjada.
5,13 - 6,18	Idem
6,18 - 7,10	Arenito com cor creme. Nível d'água a 6,81 m.

Figura 7 - Perfil Geológico da Área

Escala Horizontal 1:2.000

Exagero Vertical 10x

2.5 ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO

A tabela 6 mostra alguns dados que caracterizam o município de Rio Claro.

Tabela 6 - Algumas características do município de Rio Claro

Área:	521 Km ²
Estimativa da população residente (1994):	143.669 habitantes
Densidade demográfica (1994):	275,76 hab./Km ²
Taxa geométrica de crescimento anual da população (1994):	1,47%
Taxa de urbanização (1991):	96,03%
Proporção da população urbana (1991):	90,27%
Proporção da população rural (1991):	9,73%
Área urbana atendida por coleta de lixo (1991):	98,06%
Coleta de lixo (1991):	10% adm. direta; 90% empresa privada.

Fonte: SEADE (1993a, 1993b e 1994)

O Brasil possui 4.974 municípios (IBAM, 1993 *apud* JARDIM & WELLS, 1995). A maior parte destes municípios (72,6%) possuem menos de 20.000 habitantes e representam 14,8% da população brasileira, enquanto que os 21 maiores municípios (0,4% do total de municípios) representam 27,2% da população. O município de Rio Claro esta na faixa populacional entre 100.001 e 300.000 habitantes, que corresponde a 2,7% do total de municípios e 17,5% da população brasileira.

A tabela 7 relaciona os estabelecimentos comerciais e industriais do município de Rio Claro onde também é efetuado a coleta do lixo “domiciliar” e comercial e que, no período em que o aterro não era controlado, eventualmente dispuseram lixo industrial no mesmo.

Tabela 7 - Distribuição dos estabelecimentos em Rio Claro (ano de 1993) por tamanho, segundo ramos da atividade econômica.

	0 Empregados	Até 4	5 a 9;	10 a 19;	20 a 49;	50 a 99;	100 a 249;	250 a 499;	500 a 999;	> 999	Total
Agricultura e criação de animais	8	54	3	2	2	1	1	1	-	-	72
Extrativa vegetal	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
Extrativa mineral	2	1	-	2	2	1	-	-	-	-	8
Ind. de não metálicos	5	22	2	2	5	3	-	-	-	-	39
Ind. de metalúrgica	3	24	8	4	2	1	-	-	-	-	42
Ind. mecânica	3	16	2	2	7	1	2	-	-	-	33
Ind. eletrôeletônica e comunicação	-	5	2	2	-	1	-	1	-	-	11
Ind. transportes	-	2	-	-	1	-	1	-	1	-	5
Ind. madeira	2	3	2	3	1	1	1	-	-	-	13
Ind. mobiliária	3	16	2	2	-	-	1	-	-	-	24
Ind. papel	1	2	-	1	-	-	-	-	-	-	4
Ind. borracha	1	2	-	1	-	-	1	-	-	-	5
Ind. couros/peles	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	2
Ind. química	1	3	1	2	3	5	3	-	-	-	18
Ind. farmacêuticas/veterinária	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	2
Ind. de plástico	1	-	2	1	1	1	1	-	1	-	8
Ind. têxtil	2	1	1	2	-	-	-	-	-	-	6
Ind. vestuário/calçados	15	33	12	14	9	5	-	-	-	-	88
Ind. alimentícia	4	21	9	8	7	-	1	-	1	-	51
Ind. bebidas	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	3
Ind. editoração e gráfica	1	6	-	2	3	1	-	-	-	-	13
Ind. diversas	1	9	5	1	5	-	-	-	-	-	21
Construção civil	6	23	8	6	7	5	-	-	-	-	55
Ind. utilidade pública	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Comércio varejista	115	497	94	59	21	10	-	-	-	-	796
Comércio atacadista	4	42	13	7	4	-	1	-	-	-	71
Instituições financeiras	-	1	3	4	9	1	2	-	-	-	20
Comércio/ adm. de imóveis	2	11	7	-	1	-	-	-	-	-	21
Serviços de transporte	3	24	-	4	2	2	2	-	-	-	37
Serviços de comunicação	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-	3
Serviços de alojamento e alimentação	17	58	18	9	1	-	-	-	-	-	103
Serviços de reparo/manutenção	8	16	2	-	-	-	-	-	-	-	26
Serviços pessoais	4	18	2	3	-	-	-	-	-	-	27
Serviços domiciliares	4	8	10	2	-	-	-	-	-	-	24
Serviços de diversão	-	3	-	3	-	-	-	-	-	-	6
Serviços técnico/profissional	6	41	13	5	2	1	-	-	-	-	68
Serviços auxiliares	20	55	14	3	5	2	1	-	-	1	101
Serviços sociais	3	35	20	9	6	1	-	-	-	-	74
Serviços médicos/odontológicos	13	73	5	2	1	1	1	1	-	-	97
Serviços de ensino	3	6	4	3	2	2	2	-	-	-	22
Administração pública	1	2	3	3	-	-	-	3	-	1	13
Atividades não especificadas	29	167	40	19	7	6	6	-	2	-	276
Ignorado	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	7
Total	293	1309	307	194	120	54	29	6	5	2	2319

FONTE: Elaboração a partir dos dados da RAIS - Relatório Anual de Informações Sociais - Ministério do Trabalho

PIRES, E. L. S. (1996) - UNESP - Departamento de Planejamento Regional - Laboratório de Estudos Urbanos e Ambientais - Rio Claro. *Comunicação pessoal*

BERRIOS (1986) realizou estudos sobre o lixo urbano residencial da cidade de Rio Claro quando correlacionou classes sociais com o volume e a composição do lixo. Constatou que há uma produção de 700 gr/pessoa/dia na classe social alta e 380 gr/pessoa/dia na classe social baixa, dando como média 540 gr/pessoa/dia para as 5 classes sociais em que foram enquadrados os diferentes bairros. Também na composição se verificou uma diferenciação acentuada entre o lixo “gordo” da classe alta e o lixo “magro” da classe baixa. As porcentagens em relação ao peso apresentaram os seguintes dados, médias e valores extremos em cada categoria de lixo da classe social alta e baixa: matéria orgânica (restos de comida e vegetação): 60% (64 e 56%); papel e papelão: 15% (17,3 e 12,7%); tijolos, pedras e cinzas: 4,5% (1,2 e 8%); plásticos e borracha: 5,5% (6,5 e 3,5%); materiais ferrosos: 3,5% (5,6 e 2,1%); trapos e couros: 2,2% (0,6 e 4,9%); vidros e garrafas: 2,1% (1,2 e 3,3%); madeira e serragem: 2% (0,3 e 2,1%).

OLIVA (1989), comenta que há quatro unidades hospitalares na cidade de Rio Claro, sendo uma especializada em psiquiatria e as outras três de caráter geral, e destas, a maior possui incinerador. A partir de 25/08/88 iniciou-se a coleta de lixo hospitalar em carros especiais fechados, entretanto, este lixo está sendo generalizadamente disposto no aterro controlado, inclusive placenta e material humano uterino.

Há a confluência de dois rios ao sudoeste do aterro em estudo: Rio Corumbataí e de seu afluente Ribeirão Claro. Ambos recebem esgotos não tratados da cidade de Rio Claro. O primeiro está classificado como classe 2 (decreto estadual nº 10.755 de 22 de novembro de 1977) e, o segundo, como classe 3 a partir da jusante da captação de água de abastecimento para a cidade de Rio Claro, até a confluência com o Córrego Santa Cruz.

2.6 O ATERRO CONTROLADO DA CIDADE DE RIO CLARO

2.6.1 Histórico

O aterro da cidade de Rio Claro teve sua origem em 1982 como um lixão instalado numa voçoroca. Nesta ocasião a coleta do lixo e o “gerenciamento” do lixão eram efetuados pela prefeitura municipal. Em 1988 a coleta do lixo passou a ser realizada pela empresa Coletora Pioneira Ltda. e o gerenciamento do lixão pela empresa SPA - Sistemas de Proteção Ambiental Ltda. Pelo contrato firmado entre a prefeitura e a SPA, os caminhões, tratores e outros equipamentos deveriam ser cedidos pela prefeitura conforme fossem necessários. Neste mesmo ano, em 25/08/88, foi sancionado uma lei municipal disciplinando a coleta do lixo hospitalar, que passaria a ser realizada por caminhões especiais fechados.

A SPA começou, paulatinamente, a obedecer um projeto por ela elaborado que incluía a prática de cobrir diariamente o lixo, colocar drenos para a coleta do percolato e dos gases e, no final de 1991, cercou toda a área em torno do aterro. A partir de outubro de 1990 até outubro de 1992 analisou sistematicamente, em intervalos mensais, a composição do percolato e dos gases, dados estes que estão sendo publicados pela primeira vez por esta tese. Em outubro de 1992 a SPA encerrou o gerenciamento do aterro e, durante sua gestão, houve várias ocasiões em que a gestão do aterro foi prejudicada porque a prefeitura não cumpria sua parte, conforme pode ser observado nos relatórios internos emitidos.

A coleta do lixo continuou sendo realizada pela Coletora Pioneira Ltda. até junho de 1993. A partir de então, mediante um contrato de emergência, a coleta passou a ser realizada pela empresa Proposta Engenharia e Edificações Ltda. até junho de 1994. Nesta data a empresa Tranpolix Transportes Especiais Ltda. assinou contrato para realização da coleta até 27/05/99.

O gerenciamento do aterro, após a saída da SPA, voltou para a prefeitura, quando então ocorreu uma descaracterização dos serviços que vinham sendo executados. Em novembro de 1994 a Tranpolix assumiu também o gerenciamento do aterro (com caminhões e máquinas próprios) e elaborou e implantou um projeto para, novamente, minimizar os impactos ambientais. Imediatamente foi realizado um levantamento topográfico (Figura 6), instalados novos drenos para o percolado e para os gases, reformando, onde necessário, os que já estavam instalados. Voltou-se à prática da cobertura diária do lixo (Foto 1), com raras exceções em período de chuvas prolongadas (Foto 2).

Em novembro de 1996, o percolado que, até então, escoava pelo aterro em uma vala no solo, atingia a SP-127 e nesta terminava de ser absorvido pelo solo (Foto 3), passou a ser coletado em canaletas de concreto (Foto 4). Por estas canaletas o percolado é conduzido a um poço com 3 m de profundidade, confeccionado em tubos de concreto com diâmetro de 1,5 m e cuja base e laterais são concretadas. Deste poço o percolado é bombeado para os drenos do início do aterro, realizando assim sua recirculação.

A vida útil do aterro encerrou-se em setembro de 1997 e foi utilizado, em caráter emergencial, uma pequena área a leste contígua ao aterro. Definiu-se finalmente, baseando-se já nos resultados desta tese, utilizar esta área, porém ampliada, como o local do novo aterro do município.

Após o encerramento da disposição de lixo no aterro, este foi coberto por uma camada de aproximadamente 0,5 metro de solo e gramado (foto 5). Convém ressaltar que o aterro foi considerado o melhor entre os 57 municípios que integram a bacia dos rios Piracicaba e Capivari. O resultado faz parte do Primeiro Inventário do Lixo Domiciliar do Estado de São Paulo realizado pela Secretaria do Meio Ambiente (JORNAL CIDADE).

Apesar dos esforços da prefeitura, o aterro em estudo ainda não possui licenciamento ambiental. Estão elaborando um PRAD (Plano de Recuperação em Área

Degradada) onde uma das maiores preocupações é a manutenção do aterro após o encerramento das atividades no mesmo.

2.6.2 Estrutura do aterro em abril / 97

No final de 1991 foi construída uma cerca, constituída por tela de fios de aço e mourões de concreto, que delimitou a área total do aterro, isto é, 44.242,16 m². A partir desta data também foi implantado fiscalização constante para impedir descarga de lixo industrial e balança onde todo caminhão é pesado antes de descarregar. Possui ainda um incinerador (Foto 6) adquirido pela prefeitura no primeiro semestre de 1991, a um custo aproximado de US\$ 300.000,00, que deveria ser utilizado para queimar o lixo hospitalar porém, nunca entrou em operação plena, por conter erros graves de projeto e, no final de 1991 foi abandonado. Por esse motivo o lixo hospitalar vem sendo disposto no aterro, na sua extremidade sudoeste e no pátio do incinerador, em valas comuns, adicionado-se cal.

Há drenos para coletar o percolado e os gases. Estes são construídos com brita nº 4 de basalto, formando células de 4 m de altura. O percolado é conduzido por canaletas de concreto até um poço concretado e deste para os drenos do início do aterro. A quantidade de percolado gerado é de no máximo 42 l/h na época das chuvas até zero na seca. Os gases saem através de queimadores que são mantidos acesos.

Não há impermeabilização, com camadas de argila ou mantas plásticas, do solo que serve como base do aterro. Entretanto em ensaios de permeabilidade, onde amostras deste solo foram compactadas com a energia equivalente da Proctor Normal, trabalhando com a umidade ótima de 10,2%, conferiu um coeficiente de permeabilidade nunca superior a 10⁻⁶ cm/s (dados fornecidos pela prefeitura).

Há três poços de monitoriamento do aquífero freático, provavelmente construídos no início de 1994, cuja localização é dada na figura 6. Um quarto poço existente no local foi inutilizado e coberto por lixo antes de janeiro de 1996. Estes poços possuem 4" de

diâmetro, são de PVC rígido e não há laje de concreto para proteção. As águas destes poços passaram a ser analisadas pela primeira vez em janeiro de 1996, fruto do trabalho para elaboração desta tese.

O material utilizado para cobertura do lixo provém normalmente do próprio aterro (Formação Rio Claro Intemperizada). Eventualmente são utilizados entulhos de construção e o estéril das minas de calcários dolomíticos da região (folhelhos betuminosos, calcários dolomíticos e sílex). Tanto o entulho como o estéril são freqüentemente utilizados para pavimentar o acesso interno dos caminhões com lixo. A compactação do lixo e da cobertura é efetuado por uma esteira D65 Komatsu. A espessura da cobertura é de cerca de 0,5 m.

Baseado no histórico deste aterro e de sua estrutura, pode-se classificá-lo atualmente como um aterro controlado, segundo a definição da norma ABNT - NBR 8849/85.

2.6.3 Operação do aterro

Atualmente a Transpolix é a responsável tanto pela coleta de lixo que se encontrar ensacado e depositado nas calçadas, como pelo gerenciamento do aterro. Para o serviço de coleta a empresa dispõe de 6 caminhões coletores compactadores, marca USIMECA, com capacidade para 12 m³ e 1 caminhão com capacidade para 4 ton. para a coleta do lixo hospitalar. Estes trabalham em dois turnos: das 7:00 às 15:20 h e das 17:00 às 1:00 h, sendo que das 15:20 h e às 17:00 h é reservado para a manutenção e limpeza dos caminhões.

No aterro há as seguintes máquinas: 1 esteira D65 Komatsu, 1 pá-carregadeira Case W20, 2 caminhões tocos Volkswagen e, eventualmente, 1 retro-escavadeira Case 750 traçada. A jornada de trabalho é das 7:00 às 15:20 h, havendo sempre um operador

de esteira até às 18:00 h em regime de horas extras. Durante a noite há a presença de vigilantes contratados de empresa do ramo.

O quadro de funcionários da empresa em Rio Claro é composto por:

- No aterro: 2 operadores, 2 motoristas, 1 balanceiro e 2 para serviços gerais;
- Na coleta: 9 motoristas, 2 motoristas fiscais, 1 motorista para o lixo hospitalar, 36 coletores, 4 coletores reservas e 1 coletor para o lixo hospitalar;
- Na sede da empresa em Rio Claro: 1 mecânico, 1 auxiliar mecânico, 1 lavador, 1 borracheiro, 3 funcionários de escritório e 1 gerente.

Totalizando 68 pessoas.

O preço para a coleta do lixo, até julho de 1997, é de R\$ 21,16 / ton. para o lixo doméstico e R\$ 85,21 / ton. para o lixo hospitalar. Para a operação do aterro o preço é de R\$ 12,96 /ton. Estes preços são reajustados anualmente pelo IGP coluna 2. Entretanto no período entre agosto de 1995 a dezembro de 1996 a prefeitura quitou apenas cerca de 10% do valor dos serviços prestados. Neste intervalo a Transpolix interrompeu suas atividades em apenas 09/07/96 e 04/12/96. Por ocasião da posse da nova administração municipal, fez-se um acordo para saldar progressivamente a dívida acumulada, embora até o encerramento desta tese (maio/98) isto não tenha sido cumprido.

A evolução do volume anual coletado de lixo é apresentado na tabela 8 e, tem-se um exemplo da distribuição mensal por tipo de lixo na tabela 9. Nota-se que está ocorrendo um aumento expressivo no volume mensal de lixo coletado, provavelmente devido a:

- Aumento da população (taxa geométrica de crescimento anual da população (1994): 1,47%);
- Instalação de 2 shoppings center na cidade em 1995 (Lojas Americanas e Sé Supermercados);
- Maior consumo de alimentos pela população de baixa renda, originado pela estabilização dos preços (Plano Real).

Pode-se observar no gráfico 5 que o aterro controlado da cidade de Rio Claro já recebe mais do que 100 ton./dia de lixo e, de acordo a Secretaria do Meio Ambiente (1991) a prefeitura deveria elaborar um EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto no Meio Ambiente), o que é muito dispendioso e moroso pois, segundo informação verbal fornecida pelos advogados da Cetesb, havia no 2º semestre de 1996 apenas 6 funcionários designados para analisar 16.000 EIAs/RIMAs. Os órgãos ambientais solicitaram apenas um PRAD (Plano de Recuperação de Área Degradada).

Tabela 8 - Quantidade mensal de lixo coletado no período de 01/01/95 a 31/12/96.

DATA	Toneladas de Lixo
jan./95	2200
fev./95	1930
mar./95	2120
abr./95	1890
maio/95	2100
jun./95	1990
jul./95	2190
ago./95	2170
set./95	2200
out./95	2500
nov./95	2500
dez./95	2800
jan./96	3000
fev./96	2600
mar./96	2600
abr./96	2600
maio/96	2500
jun./96	2300
jul./96	2600
ago./96	2700
set./96	2600
out./96	2800
nov./96	2900
dez./96	3200
Média 1995	2216
Média 1996	2700
Taxa de crescimento: 18%	

Gráfico 5 - Quantidade mensal de lixo coletado no período de 01/01/95 a 31/12/96.

Tabela 9 - Resumo da coleta de lixo, em toneladas, do mês de dezembro de 1996.

DIAS	Lixo Domiciliar	Lixo Hospitalar	Lixo Extra *
1			
2	146,27	1,06	
3	126,70	0,65	
4	53,62	0,60	
5	64,79		
6	123,90	1,19	0,10
7	144,66	0,50	
8			
9	158,44	0,93	1,93
10	134,98	0,57	
11	100,88	0,64	
12	97,03	0,62	
13	111,29	0,80	0,47
14	100,51	0,63	
15			
16	156,78	0,84	2,55
17	132,29	0,55	0,80
18	103,18	0,63	1,99
19	106,53	0,59	
20	112,41	0,63	1,43
21	107,38	0,56	0,60
22			
23	179,25	0,94	
24	147,31	0,43	
25			
26	127,22	0,41	
27	186,38	0,59	0,77
28	116,48	0,44	0,60
29			
30	171,21	0,83	0,74
31	140,64	0,39	
TOTAL	3150,13	16,02	11,98
Porcentagem	99,12%	0,50%	0,38%

* Lixo doméstico transportado por terceiros, como por exemplo, pelas próprias empresas e escritórios.

Foto 1: Área de disposição de lixo, coberta com solo em junho de 1996. Notar queimador de gases à esquerda e alambrado (cerca) ao fundo.

Foto 2: Mesma área da foto 1 que ficou com lixo descoberto por 4 dias em fevereiro de 1996. Ao fundo, ao lado do caminhão que descarrega o lixo, encontra-se a balança.

Foto 3: Percolado escoando por vala aberta diretamente no solo em março de 1996. Local onde foi realizada a sondagem a trado.

Foto 4 - Construção do poço e implantação das canaletas para coleta do percolado. Mesma área da foto 3.

Foto 5 - Aterro gramado e coberto por uma camada de terra após o encerramento das atividades de disposição de lixo no mesmo. Foto de maio de 1998.

Foto 6: Incinerador desativado do lixo hospitalar (julho/97).

3. METODOLOGIA

3.1 AMOSTRAGEM

3.1.1 Gases

As amostragens e as análises dos gases provenientes do aterro no período compreendido entre outubro de 1990 a agosto de 1992, foram conduzidas pela empresa SPA - Sistemas de Proteção Ambiental Ltda.. Estas análises fazem parte dos relatórios emitidos por esta empresa para a prefeitura, os quais foram utilizados para elaboração desta tese. Devido a falência da SPA não foi possível esclarecer quais métodos foram utilizados tanto para as amostragens como para a execução das análises, entretanto, todos os laudos estão assinados por um engenheiro químico, o que confere credibilidade aos mesmos.

3.1.2 Percolado

Todas as coletas de percolado foram efetuadas empregando-se garrafas de 500 ml de polietileno novas. Até a coleta do dia 25/10/96 as amostras foram retiradas na vala por onde escoava o percolado (Foto 3), as duas restantes foram coletadas no poço de concreto (Foto 4). Utilizava-se ainda de uma máscara anti-gás com carvão ativado e de luvas de borracha. No total foram coletadas 11 amostras ao longo do ano de 1996.

Para a conservação das amostras no campo foi utilizado uma cuba de isopor com gelo, até serem conduzidas à câmara fria do departamento de Bioquímica e Microbiologia (DBM) do Instituto de Biociências (IB) da UNESP (Campus de Rio Claro) que é mantida a 4°C, e desta, para a realização das análises específicas.

3.1.3 Águas dos Poços de Monitoramento

A coleta das águas dos poços de monitoramento foi precedida, com uma antecedência de 24 h em média, pelo esgotamento (total ou parcial) dos poços. Utilizou-se para esta obra um tubo de PVC rígido branco, de 2 polegadas de diâmetro, com 0,93 m de comprimento e fechado por um cap em ambas as extremidades. A parte superior deste tubo foi perfurada transversalmente de tal forma a permitir a passagem de uma corda de nylon usada para alçar este tubo dos poços. Na parte inferior, no centro do cap, foi feito um orifício de cerca de 50 mm de diâmetro. Foi colocado no interior do tubo uma esfera de vidro (bolinha de “gude”) com cerca de 1,5 cm de diâmetro. Desta forma a esfera de vidro comportou-se como uma válvula que permitia a entrada da água dos poços e, quando o tubo era alçado, impedia a saída da água. Para permitir um bom encaixe da esfera de vidro no orifício da parte interna do cap, este foi construído com formato côncavo.

Na tabela 10 mostra-se o tempo gasto para o esgotamento de cada poço e o volume de água retirado, bem como, algumas observações que julgou-se pertinentes. No total foram coletadas 11 amostras ao longo do ano de 1996.

Todas as coletas de água foram efetuadas em triplicata empregando-se garrafas de polietileno novas com capacidade para 1000 ml, que eram lavadas previamente com a água do poço que seria amostrado. Foram preenchidas totalmente com a amostra e acondicionadas em cuba de isopor com gelo, sendo então conduzidas ao laboratório de Geoquímica Analítica do departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) - UNESP (Campus de Rio Claro). Duas amostras eram aciduladas, uma com H_2SO_4 e a outra com HNO_3 , até que ambas atingissem pH em torno de 2. Na terceira amostra nada era adicionado. Finalmente conduzia-se as amostras para a câmara de refrigeração, mantida a 4°C, do DBM da UNESP (Campus de Rio Claro), conforme método indicado pelo STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER (1992).

Tabela 10 - Dados do esgotamentos dos poços.

Poço 1: Sempre esgotado totalmente.			
Data	Tempo utilizado (minutos)	Volume retirado (litros)	Observações
14/01/96	*nd	40	Retirado bentonita e areia do fundo do poço.
15/02/96	60	50	
18/03/96	95	55	
16/04/96	50	45	Água turva nos últimos 10 litros.
20/05/96	50	45	idem
22/07/96	45	50	idem
22/08/96	44	47	Água turva nos últimos 37 litros.
26/09/96	43	47	Água turva nos últimos 35 litros.
24/10/96	43	45	idem
25/11/96	43	48	Água turva nos últimos 38 litros.
22/12/96	45	50	Retirado areia e uma concreção de limonita do fundo do poço. Água turva nos últimos 35 litros.
Poço 2: Sempre esgotado totalmente.			
14/01/96	*nd	20	Retirado bentonita e areia do fundo do poço.
15/02/96	30	20	
18/03/96	30	22	
16/04/96	25	25	Água turva nos últimos 15 litros.
20/05/96	20	22	Água turva nos últimos 5 litros.
22/07/96	20	22	Água turva nos últimos 11 litros. Retirado areia do fundo do poço.
22/08/96	16	20	Água turva nos últimos 15 litros.
26/09/96	15	18	Água turva nos últimos 11 litros.
24/10/96	14	15	Água turva nos últimos 10 litros.
25/11/96	12	13	Água turva nos últimos 3 litros.
22/12/96	12	15	Água turva nos últimos 7 litros.
Poço 3: Nível da água praticamente não variava durante a limpeza do poço.			
14/01/96	*nd	40	Retirado bentonita e areia do fundo do poço.
15/02/96	60	40	
18/03/96	60	55	
16/04/96	55	45	Água límpida até o final.
20/05/96	45	65	Água um pouco turva nos últimos 55 litros.
22/07/96	45	65	Água um pouco turva nos últimos 35 litros.
22/08/96	36	50	Água um pouco turva nos últimos 30 litros.
26/09/96	35	50	
24/10/96	35	50	Água um pouco turva nos últimos 35 litros.
25/11/96	44	70	Água um pouco turva nos últimos 30 litros.
22/12/96	31	50	Água um pouco turva nos últimos 20 litros.

*nd: não determinado.

3.1.4 Solo e sedimentos

Na Figura 6 está localizada a sondagem a trado realizada em 27/10/96 para amostrar o solo e os sedimentos. Esta foi executada dentro da vala construída diretamente no solo, por onde o percolado escoou durante vários anos (foto 3, pg. 50). O critério para divisão dos intervalos de amostragem foi a observação visual de alterações na textura, cor ou mineralogia do solo ou sedimentos. Cada amostra é constituída por uma porção homogeneizada e quarteada do respectivo intervalo. Pretendeu-se desta forma estudar a retenção de alguns metais tóxicos no solo em função das características do último.

As amostras foram recolhidas em sacos plásticos onde era anotado o intervalo amostrado. Convém ressaltar que estes não foram acondicionados em câmara fria até a realização das análises específicas que foram realizadas vários dias após a coleta, portanto, parte da matéria orgânica se perdeu. A tabela 5 (pg. 36) mostra os intervalos de amostragem e os equipamentos utilizados.

3.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E BIOQUÍMICAS

3.2.1 Gases, percolado e águas dos poços de monitoriamento

Como já mencionado no item 3.1, as análises dos gases foram realizadas pela empresa SPA, entretanto, não foi possível determinar os métodos utilizados, ressaltando-se porém que todas as análises vem assinadas por um engenheiro químico, o que confere credibilidade às mesmas.

O percolado e as águas dos poços foram submetidos, no momento da coleta, a medida de pH com o pH-metro da Digimed modelo D-21. Os frascos de coleta eram completados totalmente com a amostra, evitando-se a presença de ar e então, levados a uma cuba de isopor com gelo. Poucas horas depois (máx. de 4 horas), já no laboratório, eventualmente eram medido novamente o pH para certificar-se que não houve erro grosseiro na medida de campo, com o pH-metro de mesa da Nova Técnica modelo NT

PH2 pertencente ao laboratório do DBM da UNESP (Universidade Estadual Paulista) - Campus de Rio Claro. Neste mesmo laboratório foi medida a condutividade elétrica com o condutivímetro Tecnopon modelo CA150 e, eventualmente, no laboratório de Geoquímica Analítica do DPM do IGCE - UNESP - Campus de Rio Claro, era novamente medido o valor da condutividade com o equipamento da Analion modelo C-701. Os valores sempre estiveram muito próximos com diferenças de no máximo 5%. Como as amostra chegavam no laboratório com temperaturas ao redor de 7° C, os valores medidos de condutividade foram multiplicados pelo fator de correção para a temperatura de referência de 25° C, isto é, por 1,528 de acordo com o U.S. DEPT. AGRICULTURE HANDBOOK 60 (1954) *apud* SZIKSZAY (1993).

Medidas diretas dos níveis dos poços foram realizadas em 20/03/96, 23/07/96 e 23/12/96, antes do esgotamento da água inicial contidas nos mesmos.

Nas amostras das águas dos poços de monitoriamento previamente aciduladas foram determinados os metais. Nas amostra de água no estado natural foram realizadas as demais análises. A tabela 11 identifica sucintamente: a amostra, o local onde a análise foi realizada, o método utilizado e os elementos e compostos analisados. Colaboraram para a realização das análises químicas, bioquímicas e biológicas do percolado e das águas dos poços de monitoriamento os seguintes laboratórios:

- CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, seção de química analítica, na Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP. Para as análises de P, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Si, Zn e Ni foi utilizado um espectrômetro de plasma com acoplamento indutivo em argônio (ICP-AES), marca JARREL-ASH modelo 97S Atomcomp. O $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ e o NH_4 foi determinado por colorimetria e o SO_4 por turbidimetria (FIA), em todas estas análises foi utilizado o equipamento da CEMTO modelo 432

Tabela 11 - Análises químicas e bioquímicas realizadas nas águas dos poços de monitoriamento e no percolado.

AMOSTRA	LABORATÓRIO	MÉTODO	ANÁLISES
Águas de 15/01/96	CENA	ICP-AES	Ba, B, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Si, Zn, Ni
Águas de 15/01/96	CENA	Colorimetria	NO ₃ e NO ₂
Águas de 15/01/96	CENA	Turbidimetria	SO ₄
Águas de 15/01/96	CENA	Colorimetria	NH ₄
Percolado de 15/01/96	CENA	ICP-AES	B, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn
Águas e percolado de: 15/01/96, 16/02/96, 20/03/96 e 18/04/96	EMBRAPA	Espectrofotometria de absorção atômica (forno de grafite)	Cu, Zn, Cd, Pb
Águas e percolado de: 21/05/96, 23/07/96, 23/08/96, 25/10/96, 26/11/96 e 23/12/96. Percolado de 18/04/96	PURÍQUIMA	Espectrofotometria de absorção atômica	Pb, Zn, Cd.
Águas de 26/11/96	PURIQUIMA	Espectrofotometria de absorção atômica	Na, K, Ca e Mg
Águas de 26/11/96	PURIQUIMA	Turbidimetria	Cl e SO ₄
Águas de 26/11/96	PURIQUIMA	Colorimetria	NH ₄ , NO ₃ e NO ₂
Águas de 26/11/96	PURIQUIMA	Eletrodo específico	F
Águas de 23/12/96	PURIQUIMA	Titulação	CO ₂ e CO ₃
Águas de 23/12/96	PURIQUIMA	Espectrofotometria de absorção atômica	Fe solúvel
Percolado de 25/10/96 e 23/12/96	PURIQUIMA	Espectrofotometria de absorção atômica	Fe total
Águas e percolado de 23/12/96	PURÍQUIMA	Diluição e Incubação (20°C, 5 dias)	DBO ₅
Todas as amostras do percolado	DBM - IB - UNESP	Diluição e Incubação (20°C, 5 dias)	DBO ₅
Todas as amostras	DBM - IB - UNESP	Refluxo do dicromato	DQO
Todas as amostras	DBM - IB - UNESP	Norma CETESB L 5.018 (1994)	Toxicidade aguda
Amostra de 26/11/96	DBM - IB - UNESP	Norma CETESB L 5.201 (1978a)	Contagem Bacteriana

- Laboratório do Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental (CNPMA) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em Jaguariúna, SP. O equipamento utilizado neste laboratório para dosagem de Cu, Cd, Zn e Pb, foi o espectrofotômetro AA-680, Atomic Adsorption / Flame Emission, da Shimadzu, acoplado a um GFA, Graphit Furnace Atomizer (forno de grafite), para a detecção de teores em escala de partes por bilhão. Este equipamento utiliza volumes menores do que 5 ml de líquido para a realização das análises.

- Puriquima Ltda. É um laboratório comercial com tradição em realização de análises para empresas nacionais e multinacionais. Realizou as análises de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio) obedecendo a metodologia da Cetesb L5120 (1991a), isto é, através do método da incubação e diluição (20°C , 5 dias), e a dos metais segundo as normas da Companhia de Tecnologia Ambiental - CETESB L 5.012 (1978b), L 5.160 (1989a), L 5.111 (1989b) e L 5.158 (1989c), por espectrofotometria de absorção atômica, utilizando o espectrofotômetro marca Varian Tectron modelo AA6. Para a determinação da demanda química do oxigênio (DQO) foi utilizado o método de refluxo do dicromato segundo norma da CETESB L 5.121(1990). O cloreto foi analisado pelo método turbidimétrico com prata e o sulfato pelo mesmo método com bário, ambos utilizando o colorímetro marca Micronal modelo B120. O fluoreto foi medido com eletrodo específico no equipamento marca Anallion modelo PM606F. Amônia, nitrato e nitrito foram analisados por colorimetria utilizando-se do equipamento marca Hach modelo DR 2000. Finalmente o ácido carbônico e o carbonato foram determinados por titulação (volumetria ácido-base).

- Laboratório do Departamento de Bioquímica e Microbiologia (DBM) do Instituto de Biociências (IB) da UNESP - Campus de Rio Claro. Realizou as análises de DBO_5 também segundo a metodologia da CETESB apresentada na norma L 5.120 (1991a). Para a determinação da demanda química do oxigênio (DQO) foi utilizado o método de refluxo do dicromato segundo norma da CETESB L 5.121(1990). Executou também a determinação das toxicidades agudas e contagem bacterianas segundo as normas da CETESB L 5.018 (1991a) e L 5.201 (1978a), respectivamente.

Convém ressaltar ainda que, para todas as determinações dos metais no percolado, este foi digerido com ácido nitroperclórico a quente (210°C) e que, as amostras das águas dos poços de monitoriamentos não foram filtradas, mas somente separadas da argila que decantava, quando presente.

3.2.2 Solo e sedimentos

Com as amostras coletadas nas profundidades que constam na tabela 5 (pg. 36), foram realizadas análises físicas e químicas para a caracterização do perfil no que diz respeito à granulometria, teores de alguns metais e argila, matéria orgânica e mineralogia.

A determinação da granulometria e do teor de argila do solo e sedimentos foram executadas no laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. As frações de diâmetro maior que o silte foram separadas através do peneiramento, e as frações inferiores, por pipetagem. Após a obtenção dos resultados, as amostras foram classificadas pelos critérios de SHEPARD e de FOLK & WARD *apud* SUGUIO, (1973).

No laboratório de análises de solos, do Departamento de Ciência do Solo, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), que possui um programa de controle de qualidade, foram realizados os seguintes ensaios padrões no solo e sedimentos:

- pH: mediu-se o pH do sobrenadante da mistura de 10 cm³ de solo com 25 ml de uma solução de CaCl₂ (0,01 M), agitada por 5 minutos e decantada em 30 minutos. O equipamento utilizado foi um pH-metro da Digimed modelo DMPH-2.
- Determinação da porcentagem de matéria orgânica: fez-se um ataque a frio com H₂SO₄ (10 N) e Na₂Cr₂O₇.2H₂O (4 N) sob agitação por 15 minutos. Deixou-se em repouso por 1 hora, adicionou-se 50 ml de água e, após a decantação por 12 horas, fez a leitura no sobrenadante do cromo trivalente resultante desta reação de óxido-redução, através do colorímetro marca Klemet. Como é proporcional o valor obtido do cromo

trivalente à quantidade de matéria orgânica presente na amostra, conseguiu-se determinar o valor desta.

- Determinação dos teores de P, K, Ca, Mg: a extração destes elementos do solo fez-se através de duas resinas trocadoras de íons, uma catiônica e outra aniônica, em contato com o solo por 16 horas. Após esta extração o fósforo foi medido por um colorímetro marca Klemet; o potássio por um fotômetro de chama marca Corning modelo 400 e o cálcio e o magnésio por um espectrofotômetro de absorção atômica marca Perkin-Elmer modelo 560.

- A determinação da soma de alumínio mais hidrogênio (H + Al) foi realizada por um pH-metro marca Digimed modelo DMPH-2, imerso no sobrenadante da mesma mistura usada para a determinação do pH, adicionando-se 5 ml de uma solução tampão denominada SMP. Após a agitação desta mistura foi efetuado a leitura do pH e, através de uma tabela que correlaciona este valor com a soma de alumínio mais hidrogênio, obteve-se o resultado.

Os valores de soma de base (SB) foram obtidos pela soma dos valores encontrados de potássio, cálcio e magnésio. A capacidade de troca catiônica (T) foi obtida pelo valor resultante da soma de SB mais H + Al. A porcentagem de saturação em base (V) foi obtida pela seguinte expressão:
$$V = \frac{100 \times SB}{T}$$

A determinação dos teores de Zn, Pb, Cd e Fe no solo e sedimentos foi realizada nos laboratórios da Puríquima Ltda. através de um espectrofotômetro de absorção atômica marca Varian Tectron modelo AAA6.

As frações argilosas do solo e sedimentos, separadas por pipetagem, foram submetidas às análises por Difração de raios X para se conhecer sua composição mineralógica. Para execução dessas análises as frações argilosas, obtidas por pipetagem, foram dispostas em lâminas especiais e secas em estufas por 48 horas à temperatura de 60°C. O equipamento utilizado foi o difratômetro de raio X da Siemens modelo D5000, pertencente do laboratório de Geoquímica Analítica do DPM do IGCE UNESP - Rio Claro.

3.3 ENSAIOS BIOLÓGICOS

3.3.1 Teste de toxicidade aguda

Estes testes foram realizados nos laboratórios do DBM do IB - UNESP (Rio Claro), nas amostras do percolado e das águas dos poços de monitoriamento, utilizando-se do microcrustáceo *Daphnia similis*, seguindo a norma da CETESB L 5.018 (1991a), tanto nas águas dos poços de monitoriamento como no percolado. Para o cálculo do CE50 (concentração efetiva para 50% dos organismos em testes) e da UT (unidades tóxicas), empregou-se o método descrito por HALMINTON et. al. (1977).

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, no Estado de São Paulo, tem utilizado este instrumento dentro da sistemática de controle da poluição das águas (BASSOI et. al., 1990).

3.3.1.1 Princípios do método (GHERARDI - GOLDSTEIN et al., 1990)

A toxicidade é uma propriedade inerente do agente químico que produz efeitos danosos a um organismo quando este é exposto, durante um certo tempo, a determinadas concentrações, sendo que, as concentrações no meio ambiente são determinadas pelas contribuições pontuais e não pontuais, modificadas pelos processos físicos, químicos e biológicos.

Os testes de toxicidade avaliam o efeito do efluente sobre sistemas biológicos, que reagem a uma situação global, isto é, ao efluente como um todo. Este método possui como principais vantagens:

- A possibilidade de ser avaliada a toxicidade conjunta de todos os constituintes de um efluente de natureza química complexa.

- A possibilidade de também se avaliar a biodisponibilidade e as interações entre os constituintes.

Os testes de toxicidade, para avaliar os efeitos causados à(s) espécie(s) - teste, consistem em expor os organismos aquáticos representativos do ambiente a várias concentrações de uma ou mais substâncias, ou a fatores ambientais, durante um determinado período de tempo. Até bem pouco tempo, estes testes eram denominados de bioensaios, ou ensaios biológicos.

Normalmente, são realizados testes com três organismos, pertencentes a diferentes níveis tróficos do ambiente aquático. Exemplo: com os produtores primários, representados por espécies de algas como *Chlorella vulgaris* ou *Selenastrum capricornutum*; com os consumidores primários como os microcrustáceos *Daphnia similis* ou *Ceriodaphnia* sp., e com os consumidores secundários, representados por peixes como *Cheirodon notomelas*, *Hemigrammus marginatus* ou *Poecilia reticulata*, que têm sido as espécies utilizadas para o Estado de São Paulo.

Usualmente, o primeiro teste a ser aplicado é o com *Daphnia similis*, com 48 horas de duração, para avaliar a toxicidade aguda, pois trata-se de um teste rápido, sendo a espécie altamente sensível a uma grande diversidade de poluentes. Em geral, se o efluente apresenta toxicidade aguda, essa informação já pode ser considerada suficiente para dar início às ações de controle.

Defini-se efeito agudo a uma resposta severa e rápida dos organismos aquáticos a um estímulo, que se manifesta, em geral, num intervalo de 0 a 96 horas. Normalmente, o efeito é a letalidade, ou alguma outra manifestação do organismo que a antecede, como, por exemplo, o estado de imobilidade em alguns microcrustáceos. Para avaliar os efeitos agudos de agentes tóxicos em agentes de toxicidade usa-se, geralmente, a concentração letal (CL50) ou a concentração efetiva (CE50). Essa é a resposta considerada mais significativa para ser extrapolada a uma população.

Defini-se a concentração Efetiva (CE50) como a concentração do agente tóxico que causa efeito agudo (imobilidade) a 50% dos organismos, em 24 ou 48 horas de exposição, nas condições-teste; a rigor, quando não são realizadas análises químicas, refere-se à concentração nominal do efluente, no início do teste, expressa como CE(I)50; neste texto adotou-se CE50 a título de simplificação.

Como os valores numéricos de toxicidade aguda, expressos em CE50, exprimem uma relação inversa, isto é, quanto menor, maior é a toxicidade, transforma-se estes valores em Unidades Tóxicas aguda (UT) pelas seguintes fórmulas:

$$UT = \frac{100}{CE50}$$

Desta forma, quanto maior o valor numérico da UT maior a toxicidade.

3.3.2 Contagem das bactérias

A contagem das unidades formadoras de colônia (UFC) de bactérias foi determinada pela técnica da diluição em placas (pour plate), segundo a norma da CETESB L 5.201 (1978a), nas amostras coletadas em 26/11/96, tanto das águas dos poços de monitoriamento como do percolado. O objetivo deste ensaio foi obter uma avaliação preliminar da contaminação por bactérias do aquífero freático e também quantificar expeditamente a retenção pelo solo desta contaminação.

Inoculou-se nas placas 1 ml das diluições, que variaram de 10^{-1} a 10^{-8} do percolado e das águas dos poços de monitoriamento e procedeu-se a técnica de "pour plate". Após a solidificação do agar, incubou-se as placas a 28° C por 48 horas. Após este período, com o auxílio de um contador de colônias foram realizadas as leituras das unidades de formação de colônias (UFC), que forneciam contagem de 30 a 300 colônias. As UFC/ml foram obtidas multiplicando-se a contagem das colônias por placa pela diluição utilizada.

3.4 ENSAIOS GEOFÍSICOS

Foram executados vários ensaios geofísicos, com diferentes métodos, com os seguintes objetivos: determinar a espessura e a geometria do aterro, profundidade do aquífero freático, espessura do solo abaixo do aterro e acima do aquífero freático, delimitar células do aterro, determinar o sentido do fluxo subterrâneo e finalmente comparar os vários métodos geofísicos.

3.4.1 Métodos geoelétricos

A figura 8 mostra a classificação dos ensaios geoelétricos e quais foram utilizados para a elaboração desta tese.

Em novembro de 1988 e em março de 1989 o prof. Dr. Clóvis José, do departamento de Física do IGCE - UNESP (Rio Claro), fez duas séries de medidas eletromagnéticas indutivas no aterro (série S1 e S2, respectivamente), empregando-se os equipamentos EM-31 e EM-34, da Geonics canadense. Todavia estes dados nunca foram interpretados e publicados integralmente, sendo que o Dr. C. José gentilmente cedeu estes para a elaboração desta tese.

No primeiro semestre de 1993 o geofísico Dr. Antônio Celso de Oliveira Braga executou sete sondagens elétricas verticais (SEV) no aterro, com o arranjo Schlumberger, utilizando o equipamento Terrameter da Abem, visando a determinação da espessura dos diferentes materiais litológicos subsuperficialmente ao aterro e a profundidade do aquífero freático. Foi realizado também um levantamento com a técnica do caminhamento elétrico, arranjo dipolo-dipolo, objetivando a definição do fluxo subterrâneo principal.

Em 23/10/96 fez-se mais um caminhamento eletromagnético (linha LC1), novamente com a participação do Dr. C. José, com o equipamento da Geonics, já referido, amostrando as profundidades de 15 e 30 m.. Finalmente em 12/11/96 foi executada, juntamente com o geofísico prof. Dr. Walter Malagutti Filho do departamento de geologia

aplicada do IGCE - UNESP (Rio Claro), ensaios de caminhamento elétrico com a técnica dipolo-dipolo, medindo simultaneamente os parâmetros resistividade e cargabilidade, empregando-se um transmissor TSQ-3 e um receptor IPR-12, ambos da Scintrex canadense. Foram executadas duas seções de 300 metros cada, uma localizada sobre o aterro (linha LC1) e outra fora (linha LC2) paralelamente à linha anterior. O ensaio foi dimensionado com um espaçamento entre os dipolos de 10m e foram amostrados 6 níveis teóricos de profundidade.

A figura 6 revela a localização das linhas onde foram realizados ensaios geoeletricos que foram utilizados no estudo do aterro controlado de Rio Claro desde 1988.

Figura 8 - Classificação dos Métodos Geoeletricos Aplicados (BRAGA, 1997). Os asteriscos (*) indicam os métodos utilizados para o estudo do aterro controlado de Rio Claro.

3.4.1.1 Princípios do método da eletrorresistividade, técnica da sondagem elétrica vertical - SEV (DEHAINI, 1995)

A eletrorresistividade é um método geofísico que utiliza a propriedade física resistividade elétrica para identificação dos materiais do subsolo. Ela expressa a maior ou menor facilidade com que a corrente elétrica flui pelo material e depende da natureza e do estado físico do corpo considerado.

Com base neste princípio, o método, através de equipamentos dispostos na superfície, determina a resistividade elétrica dos materiais do subsolo a diferentes profundidades. Desta forma, detecta-se os contrastes nas propriedades elétricas que são reflexos das características das diferentes camadas rochosas abaixo da superfície.

O levantamento de dados é feito sobre a área a ser pesquisada por técnicas que são definidas conforme objetivo do trabalho a ser realizado, sendo o mais indicado no caso de pesquisa de águas subterrâneas a sondagem elétrica.

A técnica de campo consiste em introduzir uma corrente elétrica no subsolo possibilitando determinar as resistividades a várias profundidades. Em linhas gerais o equipamento, um resistivímetro, é constituído de uma fonte de corrente, um miliamperímetro, milivoltímetro e acessórios.

Também é necessário para o trabalho de campo 4 eletrodos que são cravados no solo. Dois eletrodos (AB ou eletrodos de corrente) têm a função de introduzir corrente elétrica no subsolo, enquanto através dos outros dois (MN ou eletrodos de potencial) mede-se a diferença de potencial devido à corrente elétrica gerada. A disposição, ou arranjo, dos eletrodos pode ser simétrica ou assimétrica.

O arranjo dos eletrodos mais utilizado é do tipo Schlumberger onde a distância MN, teoricamente, tende a zero em relação à distância AB, o que facilita tanto na interpretação (qualidade das curvas de campo e cálculo de curvas teóricas) como no trabalho de campo pois atenua alguns sinais indesejáveis que podem ser adquiridos no mesmo e, é de fácil e rápida execução.

A equação para resistividade em um meio homogêneo é aplicável também para um meio heterogêneo, o que é mais comum nos solos, só que neste caso a magnitude medida é denominada por resistividade elétrica aparente (ρ_a).

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} K$$

onde:

ρ_a = resistividade aparente (ohm.m)

ΔV = diferença de potencial

I = corrente elétrica

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$$

A e B = eletrodos de corrente

M e N = eletrodos de potencial

AM, BM, AN e BN = distâncias entre eletrodos

sendo que K representa somente o efeito das distâncias de separação dos eletrodos, chamado de fator geométrico. O fator geométrico varia conforme o arranjo de eletrodos utilizado. Convém lembrar ainda que o inverso da resistividade é denominado de condutividade.

Enfim, executar a SE significa realizar uma série de medidas para definir as resistividades elétricas em subsuperfície, efetuadas com o mesmo tipo de arranjo e separação crescente entre os eletrodos de corrente. Durante as medições permanecem fixos a direção e o centro do arranjo AMNB. À medida que se aumenta a distância entre A e B, o volume total da subsuperfície amostrada também aumenta, possibilitando alcançar camadas cada vez mais profundas.

Os dados de resistividade aparente (ρ_a em ohm.m) são representados em escala logarítmica em função das distâncias entre os eletrodos de corrente ($AB/2$ em metros) também na mesma escala. Obtém-se assim uma curva da SE, denominada Curva de Resistividade Aparente, que em seguida é interpretada por meio de ábacos (curvas teóricas) ou por meio de programas computacionais. Com a interpretação feita obtém-se as resistividades verdadeiras das camadas e suas respectivas espessuras, que aliadas a outras informações de teor geológico da região permitem avaliar a estrutura geológica abaixo da superfície estudada.

Segundo MENDES (1987), os resultados de uma sondagem elétrica podem apresentar erros, como em todo método indireto de investigação, devido a fatores extra-medidas que podem alterar o comportamento das linhas de corrente por ocasião das leituras, provocando distorções nas curvas de resistividade aparente. Estes fatores são comumente representados por anisotropia, equivalência e supressão de camadas, e as variações laterais de resistividade. Em condições ideais os resultados fornecidos por uma sondagem elétrica podem atingir uma precisão acima de 90%, diminuindo na medida em que ocorram estes fatores, e proporcionalmente à sua intensidade.

3.4.1.2 Princípios do método eletromagnético indutivo, técnica do caminhamento eletromagnético - CEM (DEHAINI, 1995)

Os métodos eletromagnéticos empregam ondas eletromagnéticas. Em linhas gerais o princípio do método se baseia em um campo primário, ou emissor, gerado por

uma bobina que cria um campo eletromagnético alternado que é detectado por uma bobina receptora.

Se existe um corpo condutor abaixo da superfície então estabelece-se um campo secundário criado por correntes induzidas pelo campo primário, com a mesma frequência do primário mas com uma diferença de direção, fase e/ou amplitude. Esta diferença é detectada pela bobina receptora em forma de anomalia. O estudo destas anomalias permite detectar as heterogeneidades existentes no subsolo, e determinar seu tamanho e profundidade.

A profundidade de investigação depende parcialmente de dois fatores que se podem variar: a distância emissor-receptor e a frequência da corrente indutora. Outros fatores que devem ser levados em conta são a resistividade elétrica do meio pelo qual a onda se propaga e orientação relativa entre as bobinas.

O procedimento de medida utilizado foi a técnica do caminamento eletromagnético (CEM), pelo qual é possível observar a variação lateral no subsolo a uma certa profundidade, propiciando uma definição aproximada da extensão da pluma. São utilizados 2 arranjos de bobinas, o horizontal coplanar e vertical coplanar, os quais definem duas profundidades de investigação para cada distância entre as mesmas, pois, teoricamente, a profundidade atingida depende da distância entre as bobinas e da inclinação das mesmas.

A condutividade elétrica obtida é aparente, pois é resultado da integração da condutividade de cada parcela de solo desde a superfície até a profundidade de investigação do equipamento. Portanto, diferentemente do método da eletrorresistividade que nos dá informações tanto de teor qualitativo quanto quantitativo, no eletromagnético indutivo obtém-se apenas uma interpretação qualitativa indicando os contrastes da área estudada, sendo que a determinação de dados quantitativos relativos à espessura,

profundidade e dimensões de uma maneira geral, de corpos em subsuperfície, é bastante limitada através deste método.

Segundo MENDES (1987), é uma medida de condutividade global, sendo uma resposta cumulativa do efeito de cada parcela do solo partindo da superfície até a profundidade de alcance dos equipamentos. Os valores medidos representam os efeitos combinados nas diferentes camadas, suas espessuras e condutividade, desde a superfície até a profundidade de alcance do aparelho. Os resultados são bastante influenciados por fatores superficiais, o que deve ser considerado quando da interpretação.

Os equipamentos utilizados foram dois condutivímetros com seus acessórios: modelo EM-34-XL e o EM-31, ambos fabricados pelo GEONICS Limited. Permitem medir a magnitude condutividade elétrica e tem sido extensivamente utilizado para detecção da pluma de poluição com conteúdo de compostos inorgânicos nas águas subterrâneas, caracterizadas por seu aumento de condutividade elétrica. É possível ler diretamente o valor de condutividade elétrica aparente obtido de maneira indireta, a partir da relação entre campo magnético secundário e campo magnético primário.

O EM-31 pode ser operado por uma única pessoa, e possui um espaçamento fixo entre as bobinas de 3,66 metros.

O EM-34 já requer duas pessoas para sua operação, e vem acompanhado de três cabos de referência que possibilitam sua utilização com as bobinas espaçadas de 10, 20 e 40 metros. Deste modo, quando os eixos das bobinas são mantidos na horizontal é possível medir a condutividade elétrica até a profundidade de 0,75 vezes a distância existente entre as bobinas, e com os eixos na posição vertical atinge-se até a profundidade de 1,5 vezes a distância entre elas. As duas situações diferem fisicamente entre si pelo fato de que, na vertical praticamente todas as “linhas” do campo magnético estão penetrando no subsolo, enquanto que na horizontal somente metade, o restante se encontra no “espaço livre”. Portanto, as profundidades de investigações atingidas

teoricamente através desse equipamento são de 7,5, 15, 30 e 60 metros. Nesta pesquisa as profundidades investigadas são consideradas como próximas das definidas pelo manual do aparelho, pois estas não devem ser consideradas como exatas devido à heterogeneidade dos meios geológicos que, conseqüentemente, apresentam meios que propiciam maior ou menor penetração das ondas eletromagnéticas.

Os dados de CEM serão interpretados qualitativamente, através de mapas de isocondutividades aparentes para as respectivas profundidades investigadas, produzidos através do programa SURFER, os quais propiciam outra maneira de se visualizar a situação da área.

Para a confecção do mapa de contorno de superfície através do SURFER, utiliza-se o processo de "GRID" o qual cria um "grid" de pontos espaçados regularmente a partir de dados com pontos espaçados irregularmente. O "GRID" pode ser executado por vários métodos de interpolação. Dos vários métodos matemáticos disponíveis neste programa para o cálculo das isolinhas, foi escolhido criteriosamente o da Mínima Curvatura, devido à distribuição espacial dos dados levantados serem dispersos e irregulares. "Este processo interpolador é amplamente utilizado em ciências da terra. A superfície gerada por interpolação através deste método é análoga a uma camada fina linearmente-elástica passando através de cada dado com uma mínima quantidade de curvatura. A Mínima Curvatura gera uma superfície o mais suavizada possível ao mesmo tempo que tenta manter fidelidade ao dado o mais próximo possível. No entanto não é um interpolador exato, o que significa que seus valores nem sempre são exatamente fiéis aos dados." (traduzido do "Help" do software SURFER).

Os arranjos utilizados serão indicados pela seguinte nomenclatura, por exemplo:

EM-34/10m - H - S1 onde:

EM-34: é referente ao instrumento utilizado;

10m: significa que o cabo de referência utilizado foi de 10 metros (distância entre bobinas);

H: o eixo da bobina é horizontal (V quando o eixo da bobina estiver vertical);

S1: a série de medidas utilizadas.

3.4.1.3 Princípios do método da polarização induzida (BRAGA, 1997)

Conforme observado por pesquisadores desde o início deste século, na teoria, a resposta da polarização induzida é uma quantidade com dimensões muito reduzidas, sendo na prática medida tal como uma variação de voltagem em função do tempo ou frequência, denominados, respectivamente, de *IP-Domínio do Tempo* (usado na presente pesquisa) e *IP-Domínio da Frequência*.

No IP - Domínio do tempo, ao se aplicar, por intermédio de eletrodos de corrente denominados convencionalmente de A e B, cravados na superfície do terreno, uma diferença de potencial ΔV primária ao solo, é provocada conseqüentemente uma polarização do mesmo.

Esta diferença de potencial primária (ΔV_p) não se estabelece e nem se anula instantaneamente quando a corrente é emitida e cortada em pulsos sucessivos. Ela varia com o tempo na forma de uma curva $\Delta V_{IP} = f(t)$. Esta curva, liga a assíntota ΔV_p em regime estacionário com a assíntota zero após o corte da corrente (figura 9).

A amplitude de um valor $\Delta V_{IP}(t)$ está diretamente ligada à maior ou menor capacidade que os terrenos têm de se polarizarem, constituindo-se, portanto, na base do método. Esta capacidade de polarização constitui a susceptibilidade IP dos materiais da terra.

Analogamente, pode-se descrever o fenômeno da polarização induzida, como se o solo contivesse pequenos condensadores, que se carregariam durante a emissão de corrente, descarregando-se após o corte. A curva $\Delta V_{IP} = f(t)$ poderia ser chamada então de *curva de descarga IP*.

Os fenômenos físico-químicos que poderiam explicar a polarização induzida são muito complexos, sendo que a maior parte dos autores concordam em distinguir duas origens possíveis para a polarização induzida:

Figura 9 - Curva de descarga IP-Domínio do Tempo (BRAGA, 1997).

a) Polarização Metálica ou Eletrônica: na superfície limite de um corpo ou partícula metálica submetido à uma corrente elétrica, têm-se uma passagem da condução iônica para a eletrônica, e vice-versa. Isto resulta no fato de que em duas superfícies opostas do corpo sejam produzidas uma concentração de íons, os quais não cederam suas cargas ao corpo, ou seja, não tomaram elétrons do corpo nem cederam a ele.

Ao se cortar essa corrente, a distribuição dos íons se modifica e volta a seu estado inicial levando, para isto, um certo tempo, durante o qual existe uma polarização no corpo, atribuída aos efeitos observados (figura 10).

Este fenômeno pode ser utilizado, na prática, na prospecção de minerais metálicos condutores (condutibilidade eletrônica), os quais não precisam apresentar uma boa continuidade elétrica. O fenômeno IP é tão mais intenso quanto menor a continuidade elétrica entre os grãos minerais.

Figura 10 - Esquema para explicar a sobretensão de uma partícula metálica submersa em um eletrólito (ORELLANA, 1974 *apud* BRAGA, 1997).

As mineralizações finamente disseminadas em uma rocha fornecem respostas muito intensas e isto constitui a grande vantagem da polarização induzida com relação aos outros métodos geoeletricos, tais como, eletroresistividade e eletromagnético.

b) Polarização de Membrana: este fenômeno ocorre em rochas carentes de substâncias metálicas, e é devido a uma diferença de mobilidade entre os ânions e cátions, produzida pela presença de minerais de argila (figura 11).

Tais minerais se carregam negativamente, atraindo uma "nuvem catiônica" que permite a passagem dos portadores positivos mas não dos negativos, exercendo o efeito de uma membrana. Assim, são produzidos gradientes de concentração, que levam um tempo a desaparecer depois de suprimida a tensão exterior, e que originam, portanto, uma sobretensão residual.

Figura 11 - Representação de íons em um meio poroso formando uma concentração iônica, criando a polarização de membrana. (a) meio poroso antes da aplicação de um campo elétrico - posição de equilíbrio. (b) meio poroso após a aplicação de um campo elétrico (WARD, 1990 *apud* BRAGA, 1997).

A polarização induzida em minerais e rochas não metálicas seria causada principalmente pelo *potencial de membrana*, que aparece, se no eletrólito, contido nos poros dos materiais, a corrente elétrica circula através de uma membrana semipermeável (minerais de argila existentes na natureza). Isto ocorreria devido ao fato de que esta membrana seria permeável somente para cátions.

Em conjunto com a resistividade destes materiais, a polarização induzida individualiza litologias, em termos de predominância, constituídas de areias, areias argilosas e de argilas.

No IP-Domínio do Tempo, a curva de descarga $\Delta V_{IP} = f(t)$ é o objeto de estudo. Na figura 9 (pg. 73), tem-se a forma da onda primária transmitida e a curva de descarga IP. A curva de descarga pode ser estudada em sua totalidade ou apenas amostrada em alguns intervalos de tempo.

- parâmetro medido em IP (Tempo) é chamado de cargabilidade (M) e pode ser expressa em % ou milivolt/Volt (mV/V).

$$M = \frac{\Delta V_{IP} \times 1000}{\Delta V_P} \text{ (mV/V)}$$

Como ocorre no método da eletrorresistividade, se as medidas da polarização induzida são efetuadas sobre um terreno cujo subsolo é homogêneo, qualquer das magnitudes definidas acima podem ser utilizadas como medida de sua polarização verdadeira.

Na prática, como o meio pode ser considerado heterogêneo, o resultado das medidas dependerá da posição dos eletrodos que compõem o arranjo de campo utilizado em relação às heterogeneidades polarizáveis. Resulta, portanto, que os dados de campo expressam polarizações aparentes, que no presente trabalho, como será utilizado o IP-Domínio do Tempo, o parâmetro resultante das medidas será denominado de **cargabilidade aparente (Ma)**.

3.4.1.4 Técnica de campo do caminhamento elétrico - CE (BRAGA, 1997).

Tanto as sondagens elétricas verticais (SEV) como os caminhamentos elétricos (CE) são desenvolvidos, basicamente, a partir da superfície do terreno, entretanto, a diferença fundamental entre estas técnicas é que, enquanto que nas sondagens as investigações, das variações de um parâmetro físico, são efetuadas em profundidade a partir de um ponto fixo localizado na superfície do terreno, os caminhamentos elétricos são técnicas de investigações horizontais a uma ou várias profundidades aproximadamente constantes, a partir de vários pontos localizados na superfície do terreno.

As investigações pelo CE geralmente são realizadas ao longo de perfis e os resultados obtidos se relacionam entre si através, ou de um estudo em mapas a uma ou mais profundidades determinadas ou de seções com várias profundidades de investigação. (vários níveis de investigação)

No desenvolvimento dessa técnica, vários tipos de arranjos de campo podem ser utilizados, selecionado em função de diversos fatores, tais como: objetivos da pesquisa, profundidades de investigação requeridas, topografia e urbanização da área pesquisada, etc..

Os principais arranjos de campo da técnica do CE, mais freqüentemente utilizados, tanto internacionalmente como em nosso país, podem ser relacionados como o gradiente, quadripolo simétrico (Schlumberger e Wenner), polo-polo, polo-dipolo e dipolo-dipolo.

Devido ao caráter de detalhe e precisão dos resultados a serem obtidos, o arranjo utilizado na presente pesquisa foi o *Dipolo-Dipolo*. Este tipo de arranjo, além das qualidades citadas, é rápido e simples de ser executado nos trabalhos de campo.

Conforme apresentado na figura 12, no desenvolvimento desse arranjo de campo, pode-se utilizar simultaneamente vários dipolos de recepção dispostos ao longo da linha a ser levantada. Cada dipolo refere-se a um nível de investigação, podendo, dependendo do caráter da pesquisa, estudar as variações horizontais de um parâmetro físico ao longo de um perfil com um ou até cinco dipolos, respectivamente, com uma e cinco profundidades de investigações. Nesse tipo de arranjo a profundidade teórica atingida em cada nível investigado, pode ser tomada como sendo $R/2$ (metros). Ressalta-se que a distância R é equivalente ao $AB/2$ das sondagens elétricas verticais.

Figura 12 - Arranjo de campo para realização do caminhamento elétrico.(BRAGA, 1997).

O ensaio é desenvolvido ao longo de perfis previamente estaqueados, com espaçamento constante, em função das profundidades de investigações requeridas, pois tanto o espaçamento entre os dipolos como o números de dipolos utilizados regulam as profundidades de investigações atingidas. Ressalta-se que ao aumentarmos o espaçamento entre os dipolos, a profundidade atingida também aumenta, diminuindo, entretanto, o grau

de detalhe nas investigações, tais como, por exemplo, a não detecção de camadas geológicas de pequenas espessuras.

Como nesse tipo de arranjo, o potencial produzido pelos eletrodos de corrente AB diminui bastante conforme aumenta-se a distância R entre os centros dos dipolos AB e MN, prejudicando o sinal a ser lido no equipamento geofísico, e em função da prática adquirida nesse tipo de ensaio, recomenda-se estudar até cinco níveis de investigação, podendo em casos excepcionais, atingir-se até oito níveis, sendo nesse caso utilizado equipamento de alta potência (3 KWatts - 10 Ampères).

Após a disposição do arranjo no terreno, fixados os níveis de investigações, e obter-se as leituras pertinentes, todo o arranjo é deslocado para a estaca seguinte e efetuadas as leituras correspondentes, continuando este procedimento sucessivamente até atingir-se o final do perfil a ser levantado.

No método da eletrorresistividade, o parâmetro obtido - resistividade (ρ) - é determinado a partir da equação geral:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{onde: } I = \text{corrente elétrica, } \Delta V = \text{diferença de potencial e}$$

$$K = 2\pi \cdot G \cdot x, \quad \text{com}$$

$$G = \frac{1}{\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}}$$

sendo K um fator geométrico que depende da disposição dos eletrodos ABMN na superfície do terreno, x o espaçamento dos dipolos AB e MN adotado e n o nível de investigação correspondente.

No método da polarização induzida, o parâmetro obtido - cargabilidade - é determinado diretamente no equipamento geofísico utilizado.

O sistema de plotagem dos parâmetros físicos obtidos é efetuado considerando como ponto de atribuição das leituras, uma projeção de 45° a partir dos centros dos dipolos AB e MN, até atingir-se o ponto médio entre os centros destes dipolos (figura 12, pg. 78).

Após a plotagem de todos os parâmetros físicos obtidos em um perfil levantado, tem-se uma seção geolétrica aparente.

A interpretação dos dados obtidos no CE pode ser efetuada tanto em perfis como em mapas, sendo entretanto, mais usual, efetuar-se primeiramente uma interpretação dos perfis individualmente e posteriormente em conjunto, podendo representar e ilustrar os resultados dessa interpretação através de mapas de isovalores.

Na pesquisa desenvolvida, foi adotado um espaçamento fixo entre dipolos de 10 metros com cinco níveis de investigação, os quais teoricamente atingiram as profundidades de, respectivamente, 10, 15, 20, 25 e 30 metros, empregando-se um transmissor TSQ-3 e um receptor IPR-12, ambos da Scintrex canadense, que mede simultaneamente a resistividade aparente e a cargabilidade aparente.

3.4.2 ENSAIOS SÍSMICOS

Tentou-se inicialmente executar um ensaio sísmico de refração no aterro em 22/10/96. Seria realizado na mesma linha do caminhamento elétrico (LC1) e, portanto, as explosões necessárias ocorreriam sobre o aterro. Após ter-se montado todo o equipamento no campo, desistiu-se da realização do ensaio por haver surgido dúvidas sobre o comportamento dos gases do aterro no momento das explosões, que poderiam causar algum incidente. Então, em 22/6/97, realizou-se o ensaio em duas linhas sísmicas perpendiculares ao aterro (LS1 e LS2), de tal forma que as explosões ocorressem fora do mesmo. Assim evitou-se eventuais problemas com os gases gerados pelo lixo.

A linha LS1 possuía espaçamento de 3,26 m entre os 24 geofones e na linha LS2 o espaçamento foi de 4,25 m. Usou-se 2,0 Kg de dinamite nas explosões mais externas, 1,5 Kg nas explosões entre os geofones 1 e 2 das duas linhas e a 2 m do geofone 24 da linha 2 e, 1,0 Kg a 2 m do geofone 24 da linha LS1 (figura 6). Tentou-se usar 0,5 Kg de dinamite entre os geofones 1 e 2 da linha LS1 mas a potência das explosões não foi suficiente. Nos tiros centrais foi utilizado o martelo sísmico em ambas as linhas. Convém ressaltar que foi necessário diminuir o ganho do sismógrafo utilizado (Geopro 8024 da Bison Instruments Inc.) em virtude de haver muito ruído proveniente da rodovia SP 127.

3.4.2.1 Princípios do método da sísmica de refração (MALAGUTTI, 1991)

Os métodos sísmicos de prospecção baseiam-se na geração de ondas sísmicas na superfície, ou próximo a ela (em furos rasos), por meio da detonação de pequenas quantidades de explosivos ou impacto mecânico. As ondas geradas propagar-se-ão tridimensionalmente a partir da fonte e serão submetidas aos fenômenos de refração, reflexão e difração, nas descontinuidades em subsuperfície. Ao retornarem à superfície,

serão captadas por instrumentos que são capazes de transformar essa energia mecânica num pulso elétrico, os quais são denominados de geofones.

Os principais métodos de prospecção sísmica (reflexão e refração) desenvolveram-se unicamente apoiados nas medidas e na análise das ondas longitudinais, por serem estas de mais fácil identificação nos sismogramas, uma vez que são as primeiras a chegarem ao geofones.

Nos casos onde o meio inferior apresenta velocidade de propagação maior que o superior, haverá um “ângulo de incidência crítico (i_c)”, para o qual o ângulo de refração será igual a 90° . Neste caso, o raio incidente se propaga pela interface que separa os dois meios e daí retorna à superfície. É dito então, que a onda sofreu o fenômeno chamado de refração total.

Nota-se que, enquanto o ângulo de incidência crítico não é atingido, quase toda a energia é transmitida para o meio inferior, na forma de onda refratada. A partir do ângulo crítico, toda energia é refletida e nada é transmitido para o meio de maior velocidade de propagação.

Os princípios da técnica de refração sísmica, que foram desenvolvidos a partir da sismologia, baseiam-se na medida do tempo de percurso de ondas elásticas, geradas na superfície e, que ao sofrerem refração total em uma ou mais interfaces, em profundidade, retornam à superfície. Ao chegarem à superfície, essas ondas serão captadas em detetores, denominados geofones, que são previamente espaçados e alinhados de acordo com a profundidade que se deseja atingir.

A mecânica da técnica para seu procedimento mais simples, num caso de duas camadas horizontais, está esquematicamente representado na figura 13.

As ondas são geradas na fonte F e os tempos de percurso registrados nos receptores R, obtendo-se para cada receptor o tempo de chegada da onda longitudinal, em função da respectiva distância até a fonte. Estes valores são representados em gráficos “tempo x distância”, também conhecidos como dromocrônicas.

Figura 13 - Representação esquemática da técnica de sísmica de refração, para o caso de 2 camadas (MALAGUTTI, 1991).

Pode ser notado que o gráfico possui dois ramos distintos, com inclinações diferentes. O primeiro ramo, passando pela origem, corresponde aos geofones mais próximos da fonte, que detectam as ondas que caminham na superfície do terreno, denominadas ondas diretas. A inclinação desse ramo do gráfico é igual ao inverso da velocidade ($1/V_1$) da onda direta, caracterizando o meio superior.

A partir de uma distância conhecida como distância crítica (X_c) começam a chegar as ondas que se propagam com velocidade V_1 até a interface entre os dois meios, se refratam no topo da camada inferior (refração total) com velocidade V_2 e retornam à superfície com a velocidade V_1 da primeira camada.

Essas ondas definem um ramo da dromocrônica, cuja inclinação é o inverso da velocidade de propagação ($1/V_2$) da segunda camada. O prolongamento desse ramo intercepta o eixo dos tempos num valor que é denominado de “tempo de interceptação (T_i)”.

Com base na distância crítica e no tempo de interceptação, ambos dependentes das velocidades de propagação dos dois meios, foram estabelecidas fórmulas matemáticas que permitem o cálculo da espessura de cada camada atravessada e, conseqüentemente, da profundidade do topo da interface onde se deu a refração total.

A profundidade do refrator, abaixo do ponto de tiro, pode ser obtida através de dois diferentes caminhos, usando o tempo de interceptação ou, então, a distância crítica.

Na natureza, os estratos não são planos paralelos, nem apresentam velocidades constantes lateralmente. Assim, como consequência dos mergulhos das camadas e descontinuidades laterais e topográficas, as velocidades representadas nas dromocrônicas são, via de regra, aparentes e, portanto, passíveis de ajustes e correções.

Os métodos clássicos de interpretação utilizam-se dos conceitos de “tempo de interceptação” e “distância crítica”. Estes métodos assumem que: os refratores são planos, as velocidades sísmicas de cada meio são constantes e que as propriedades da rocha não variam ao longo do perfil. Assim, os cálculos da espessura são efetuados somente embaixo dos pontos de tiro, embora os refratores em subsuperfície não sejam, necessariamente, uniformes para permitir uma boa acurácia da interpretação e acerto nos cálculos.

Dessa forma, os diversos métodos interpretativos têm evoluído no sentido de permitirem que se extraia das dromocrônicas, basicamente:

- as velocidades verdadeiras dos refratores;
- o cálculo das espessuras abaixo de cada geofone;
- fiel conformação da morfologia do topo rochoso.

O método descrito a seguir, utilizado nesse trabalho, é conhecido como “Método do Ti”.

Esse método, de certa forma, adapta-se melhor aos objetivos da Geologia de Planejamento Urbano, por não exigir necessariamente, um espaçamento máximo entre os geofones no campo, e por não apresentar demasiados refinamentos, os quais levariam a procedimentos mais complexos de interpretação, com maior demanda de tempo e de pessoal especializado.

O método do “Ti” é um método recíproco de interpretação que exige pelo menos dois tiros sísmicos externos e dois tiros nas extremidades do arranjo. Permite a determinação do posicionamento de refratores com superfícies curvas e/ou irregulares e baseia-se nas seguintes suposições:

- que as ondas refratadas se propaguem através da superfície do refrator, não sofrendo grande penetração;
- que o(s) raio(s) da curvatura das eventuais irregularidades morfológicas na superfície do refrator, sejam significativamente maiores do que a sua profundidade;
- que a velocidade do refrator não sofra alterações severas ao longo do perfil.

A chegada das ondas na superfície são detectadas pelos geofones. O geofone é um instrumento detetor de sinais sísmicos cuja função é transformar os movimentos do solo em sinais elétricos. Esses instrumentos são dimensionados com sensibilidade específica, para trabalhos de refração ou reflexão sísmica.

O tipo de geofone mais utilizado é o “dinâmico”, ou, “de bobina móvel”. Compõe-se de um ímã permanente e uma bobina móvel, que é suspensa por molas dentro do campo magnético do ímã. Os demais componentes são o envoltório de poliuretano e a haste, ou “spike”, cuja função principal é a fixação do geofone ao solo. Esse sinal elétrico, após ser transmitido ao sismógrafo por cabos multicondutores, será processado e armazenado.

Nos sismógrafos digitais usuais, o sinal elétrico emitido pelos geofones, será amplificado e, posteriormente, enviado a microprocessadores internos, cujas funções podem ser acessadas através de teclados próprios. Esses instrumentos, por possuírem memória digital, permitem processamentos de campo tais, como: ajustes de ganhos, ajuste do tempo de varredura do sinal, ganhos automáticos, soma de sinais, filtros, etc. Os dados coletados podem ser observados, antes de gravados, num visor de raios catódicos permitindo leitura dos tempos e monitoriamento da qualidade do sismograma. O armazenamento digital do registro pode ser feito tanto em memória sólida como em disco, permitindo permanente reprodução e eventuais processamentos posteriores dos sinais.

Nos ensaios de sísmica de refração aplicados à Geologia de Engenharia, à Geologia de Planejamento Urbano e também à pesquisa de água subterrânea, devem-se obter com a maior precisão possível, as espessuras das diferentes camadas e suas respectivas velocidades, para se produzir uma imagem detalhada das condições de superfície. Para isso, utiliza-se como técnica de campo, a produção de um perfil contínuo, espaçando-se os pontos de tiro e os geofones ao longo de uma mesma linha. O recobrimento, quando necessário, deve envolver ao menos os dois últimos geofones da extremidade.

A separação entre os geofones deve ser de 5 ou 10 metros, quando se desejar atingir alvos situados a profundidades variando entre 25 a 50 metros. Os pontos de tiro devem ser espaçados entre si, de 25 ou 50 metros, dependendo do nível de detalhe que se deseja. Essas especificação, no entanto, devem servir como orientação preliminar, não se

tratando de norma rígida e podem ser modificadas de acordo com situações locais de campo ou, então, para diferentes condições geológicas. De qualquer forma, menores espaçamentos, entre geofones e entre pontos de tiro, permitirão, sempre, maior precisão na interpretação final.

Com a finalidade de minimizar os efeitos de absorção, as cargas explosivas devem ser colocadas dentro de furos a trado, nos horizontes menos aerados do solo. A profundidade desses furos, salvo especificidade locais, deve variar entre 1 e 3 metros.

Sem dúvida, a principal limitação da técnica de refração sísmica é a necessidade das velocidades dos diferentes estratos crescerem com a profundidade. Nos casos onde essa seqüência não se faz presente em ordem crescente, não haverá refração total na camada de baixa velocidade e a mesma não será detectada. Isto irá gerar erros no cálculo da espessura total do pacote amostrado.

Outra limitação à aplicação da técnica de sísmica de refração diz respeito ao problema da “camada escondida”. Em função de uma determinada relação entre espessuras e velocidades, a energia refratada proveniente dessa camada, chega à superfície alguns milissegundos após a chegada das ondas refratadas num meio inferior, de maior velocidade. Como na sísmica de refração, trabalha-se apenas com primeiras chegadas, a detecção dessa camada não será possível.

A máxima espessura teórica de uma camada escondida é denominada de “zona cega”. Uma camada escondida, quando presente, deve ocorrer no espaço de uma “zona cega” e sua espessura pode variar, portanto, de zero até um valor máximo. Esse valor será função do contraste de velocidades e espessuras com as camadas sobrejacentes e subjacentes.

Os valores mais adequados para o espaçamento entre os geofones, condicionam-se sempre a um conhecimento prévio das relações de espessuras dos diferentes estratos,

preferencialmente por meio de métodos diretos de investigação. Neste trabalho, que busca apenas a adequação da metodologia geofísica para a avaliação geológico-geotécnica do aterro, não existiu necessariamente a preocupação com rendimentos ou quantidade de área coberta, optando-se pelo espaçamento que permitia a colocação dos 24 geofones em cada linha de forma a cobrir os limites do aterro.

São comuns em alguns livros-texto, ou então, em publicações a respeito da utilização da sísmica de refração, a descrição de trabalhos onde apenas dois pontos de tiro são utilizados (nas extremidades dos arranjos). Esse procedimento é adequado quando se deseja conhecer apenas a profundidade do principal refrator que é geralmente o topo rochoso. No entanto, não deve ser utilizado, quando o alvo do trabalho for a definição dos parâmetros dos diferentes horizontes do perfil de alteração e suas características de variação. Neste caso, quanto maior for o número de pontos de tiro, maior será a densidade de informações.

O emprego do martelo sísmico deve ser feito apenas nos pontos de tiro centrais, a partir dos quais a onda percorrerá menores distâncias, ou, eventualmente, em áreas onde o topo de rocha estiver a pequenas profundidades.

3.5 SOFTWARE UTILIZADOS

- Microsoft Word 6.0 e 7.0: Redação do texto;
- Microsoft Excel 5.0 e 7.0: Elaboração de tabelas , cálculos estatísticos e geração de gráficos;
- Corel Photo-Point 6.0: Elaboração de figuras e tratamento de fotos;
- Corel Draw 6.0: Elaboração de figuras;
- Surfer 6.0 (Golden Software, Inc.): Tratamento dos dados obtidos pelo método geofísico eletromagnético indutivo. Elaboração das respectivas figuras.
- SAS (Statistical Analyses System) 6 (Cary NC: SAS Institute Inc.): Tratamento estatístico dos dados (estatísticas descritivas e testes de significância).

Outros softwares específicos foram utilizados para a interpretação dos difratogramas de raios-x e dos dados obtidos através do emprego de métodos geofísicos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS, BIOQUÍMICOS E BIOLÓGICOS OBTIDOS E SUA INTERPRETAÇÃO

Para atingir-se os objetivos propostos no item 1.2 foi realizado uma série de análises físico-químicas, bioquímicas e biológicas cujos resultados e interpretação são apresentados a seguir.

4.1.1 Características do Solo

Conforme já mencionado no item 3.1.3 foi realizada uma sondagem a trado no local por onde o percolado escoou durante vários anos, cuja descrição encontra-se na tabela 5 (pg. 36), e que forneceu amostras do solo e sedimentos onde foram determinadas suas características físicas, químicas e mineralógicas.

Nos resultados das análises granulométricas (tabela 12) observa-se que até a profundidade de 4,21 m o sedimento é mais argiloso (argila > 10%) e fino. O aumento de grânulos observado no intervalo 3,16 m a 4,21 m corresponde a ocorrências das concreções limoníticas que marcam a passagem do arenito intemperizado da Formação Rio Claro para o saprolito, conforme já discutido no item 2.4. A partir desta profundidade o sedimento torna-se mais grosso e com pouca argila. Convém lembrar que a maioria do material utilizado para cobertura do aterro foi proveniente da Formação Rio Claro intemperizada conforme relatado no item 2.6.2.

A tabela 13 apresenta os resultados das análises químicas do solo coletado. Nota-se que o solo é ácido e há matéria orgânica em todo o perfil, sugerindo que parte desta esteja atingindo o aquífero freático (item 4.1.2.1). O fósforo possui teores relativamente altos até 0,93 m, profundidade que marca o contato entre os sedimentos muito recentes

com o solo amarronzado, diminuindo no intervalo de 0,93 m a 4,21 m (contato solo intemperizado com saprolito) e voltando a subir para os níveis iniciais a partir desta profundidade. As variações do teor de fósforo coincidem com as variações litológicas. O mesmo pode ser observado com os valores de Soma de Base (SB) e na capacidade de troca catiônica (CTC) que possuem valores relativamente altos até 0,93 m, medianos entre 0,93 m a 4,21 m, e baixos a partir desta profundidade.

Tabela 12 - Resultados das análises granulométricas dos sedimentos, realizados por pipetagem e peneiramento.

Profundidade em metros	Grânulos %	Areia %	Silte %	Argila %	Classificação de Shepard (1954)	Diâmetro médio Folk & Ward (1957)
0,00 - 0,11	0,29	82,73	6,14	10,84	areia	areia muito fina
0,11 - 0,19	0,27	80,62	5,13	13,98	areia	areia muito fina
0,19 - 0,29	0,95	75,13	9,90	14,01	areia	areia muito fina
0,29 - 0,39	0,49	72,98	8,39	18,14	areia argilosa	silte grosso
0,39 - 0,53	0,75	74,84	7,77	16,61	areia	silte grosso
0,53 - 0,93	0,27	75,28	6,95	17,50	areia	silte grosso
0,93 - 1,23	0,27	75,77	6,23	17,74	areia	silte grosso
1,23 - 1,98	0,68	77,19	7,71	14,41	areia	areia muito fina
1,98 - 3,16	0,43	78,71	9,54	11,32	areia	areia muito fina
3,16 - 4,21	2,45	74,54	8,33	14,68	areia	areia muito fina
4,21 - 5,13	0,54	92,60	2,73	4,73	areia	areia média
5,13 - 6,18	0,45	94,99	1,08	3,48	areia	areia fina
6,18 - 7,10	0,26	95,00	1,30	3,44	areia	areia fina

A distribuição do cálcio e do potássio também são influenciados pela litologia. O cálcio possui valor relativamente alto até 0,93 m, decrescendo com a profundidade a partir deste ponto e, o potássio valores relativamente altos e constantes até 4,21 m, decrescendo a partir deste ponto. O magnésio, a soma de hidrogênio mais alumínio (H + Al) e a porcentagem de saturação em base (V) decrescem com o aumento de profundidade, sofrendo uma queda mais acentuada a 4,21 m.

Pode-se notar que na transição entre o solo e o saprolito ocorre uma barreira geoquímica conforme demonstrado por TANDEL (1993), impedindo que concentrações maiores de metais atinjam o aquífero freático. Convém ressaltar que o percolado é rico em fósforo e em diversos metais (item 4.1.3).

Tabela 13 - Resultados das análises químicas do solo.

Profundidade	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
em metros	CaCl ₂	%	mg/cm ³	meq/100 cm ³						%
0,00 - 0,11	5,6	1,1	6	0,47	1,6	1,0	1,0	3,1	4,1	76
0,11 - 0,19	5,2	1,2	6	0,50	2,1	1,4	1,1	4,0	5,1	78
0,19 - 0,29	5,8	1,1	6	0,47	1,9	1,1	1,1	3,5	4,6	76
0,29 - 0,39	5,6	0,9	8	0,42	1,5	0,8	1,0	2,7	3,7	73
0,39 - 0,53	5,7	1,1	5	0,51	2,3	1,6	1,2	4,4	5,6	79
0,53 - 0,93	5,8	0,9	4	0,50	2,0	1,0	0,7	3,5	4,2	83
0,93 - 1,23	6,0	0,9	3	0,47	0,8	0,8	0,9	2,1	3,0	70
1,23 - 1,98	6,5	0,8	2	0,47	0,9	0,8	0,7	2,2	2,9	76
1,98 - 3,16	5,9	0,7	2	0,41	0,6	0,7	0,8	1,7	2,5	68
3,16 - 4,21	5,7	0,7	4	0,48	0,3	0,4	0,9	1,2	2,1	57
4,21 - 5,13	5,8	0,9	6	0,27	0,2	0,2	0,7	0,7	1,4	50
5,13 - 6,18	5,5	0,9	7	0,18	0,2	0,2	0,7	0,6	1,3	46
6,18 - 7,10	5,7	0,8	4	0,15	0,3	0,2	0,7	0,6	1,3	46

M.O. = Matéria Orgânica

SB = Soma de Base

T = Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

V = % de saturação em base

A tabela 14 mostra que o ferro se concentra no horizonte onde ocorrem as limonitas e que após este há uma queda acentuada deste elemento nos sedimentos (gráfico 6). Os sedimentos muito recentes (até 0,93 m de profundidade) possuem teores mais altos de zinco em relação ao resto do perfil (gráfico 7), entretanto, são ainda baixos para caracterizar uma contaminação pois, o teor médio de zinco em solo não contaminado é de até 80 ppm (ALLOWAY, 1990). O chumbo e o cádmio estão presentes em teores menores do que 2,00 ppm e 0,1 ppm respectivamente, revelando que o solo do aterro também não foi contaminado por estes elementos, pois o teor médio de chumbo em solo não contaminado é de até 16 ppm e de cádmio é de até 0,1 ppm (ALLOWAY, 1990). Isto deve-se a uma rápida precipitação destes elementos (Zn, Pb e Cd) pois são muito poucos solúveis na maioria dos compostos e, também à relativa baixa concentração com que ocorrem no percolado (item 4.1.3).

Tabela 14 - Teor de ferro, cádmio, chumbo e zinco no solo.

Amostra	Profundidade em metros	Ferro (%)	Cádmio (mg/kg)	Chumbo (mg/kg)	Zinco (mg/kg)
1	0,00 - 0,11	1,12	< 0,1	< 2,00	12,80
2	0,11 - 0,19	1,12	< 0,1	< 2,00	17,60
3	0,19 - 0,29	1,4	< 0,1	< 2,00	16,80
4	0,29 - 0,39	1,48	< 0,1	< 2,00	14,20
5	0,39 - 0,53	1,48	< 0,1	< 2,00	16,80
6	0,53 - 0,93	1,36	< 0,1	< 2,00	26,00
7	0,93 - 1,23	1,28	< 0,1	< 2,00	1,60
8	1,23 - 1,98	1,44	< 0,1	< 2,00	1,60
9	1,98 - 3,16	1,34	< 0,1	< 2,00	1,60
10	3,16 - 4,21	1,53	< 0,1	< 2,00	1,20
11	4,21 - 5,13	1,12	< 0,1	< 2,00	1,20
12	5,13 - 6,18	0,91	< 0,1	< 2,00	1,00
13	6,18 - 7,10	0,74	< 0,1	< 2,00	1,20

Gráfico 7 - Teor de zinco (ppm) no solo.

Os constituintes minerais predominantes no solo são o quartzo e argilo-minerais. Estes últimos foram determinados por Difração de raios-x cujos resultados estão na tabela 15, predominando a caulinita e a mica em todas as profundidades, conforme já descrito por MELO (1995). A caulinita é, entre os argilominerais, aquele que proporciona menor troca de cátions e a menor superfície específica (SANTOS, 1975), possibilitando maior migração no solo dos metais. Entretanto, a presença de mica (provavelmente illita), pode auxiliar numa maior retenção dos metais. Os compostos não identificados, com picos a 8 e 6 Å (10^{-10} m), podem tratar-se de matéria orgânica cristalizada originada do percolado.

Tabela 15 - Minerais constituintes do solo amostrado.

Amostra	Profundidade(m)	Minerais
y0-4844	0,00 - 0,11	caulinita, mica * e goethita
y1-4845	0,11 - 0,19	caulinita, mica *
y2-4846	0,19 - 0,29	caulinita, mica *, calcita e goethita
y3-4847	0,29 - 0,39	caulinita, mica * e goethita
y4-4848	0,39 - 0,53	caulinita, mica *, goethita e composto com pico em 8 Å (10^{-10} m)
y5-4849	0,53 - 0,93	Não determinado
y6-4850	0,93 - 1,23	caulinita, mica *, composto com pico em 8 Å (10^{-10} m) e composto com pico em 6 Å (10^{-10} m)
y7-4851	1,23 - 1,98	caulinita, mica *, composto com pico em 8 Å (10^{-10} m) e composto com pico em 6 Å (10^{-10} m)
y8-4852	1,98 - 3,16	caulinita, mica *, composto com pico em 8 Å (10^{-10} m) e composto com pico em 6 Å (10^{-10} m)
y9-4853	3,16 - 4,21	caulinita, mica * e composto com pico em 6 Å.
y10-4854	4,21 - 5,13	caulinita, mica * e composto com pico em 8 Å (10^{-10} m).
y11-4855	5,13 - 6,18	caulinita e composto com pico em 8 Å (10^{-10} m)
y12-4859	6,18 - 7,10	caulinita, mica *, composto com pico em 8 Å (10^{-10} m) e composto com pico em 6 Å (10^{-10} m)

* provavelmente illita

4.1.2 Características do aquífero freático

A profundidade do nível hidrostático foi medida nos poços de monitoriamento em três ocasiões conforme é mostrado na tabela 16.

Tabela 16 - Profundidade dos poços e do nível hidrostático.

	Poço 1	Poço 2	Poço 3
profundidade do poço (m)	19,79	16,77	12,96
prof. do nível hidrostático (m)			
em: 20/03/96	13,43	13,04	6,78
23/07/96	14,28	13,60	7,27
23/12/96	13,84	14,43	7,79

No perfil geológico (figura 7, pg. 38) foi representado de forma aproximada a superfície do aquífero freático em 23/12/96. Observando-se a tabela 10 (pg. 54) nota-se que as vazões dos poços 1 e 2 eram baixas pois o aquífero freático captado está incluso na Formação Corumbataí que é argilosa e, portanto, possui baixa permeabilidade. Desta forma estes dois poços sempre foram esgotados totalmente durante a limpeza dos mesmos, que precedia a amostragem das suas águas. Já no poço 3 uma boa parte do aquífero freático está incluso na Formação Rio Claro que é arenosa e, portanto, possui boa permeabilidade e vazão.

4.1.2.1 Características físico-químicas e bioquímicas das águas do aquífero freático

Nas tabelas 17 e 18 são apresentados os resultados de análises químicas realizadas em três amostras das águas do aquífero freático (15/01/96, 26/11/96 e 23/12/96). Pode-se observar que:

- Há presença de altos teores de NH_4 (amônio) nos poços 1 e 2, indicando contaminação recente, pois o amônio rapidamente se oxida para o estado nitroso e nítrico no solo. Uma água potável pode possuir no máximo 0,05 de nitrogênio proveniente do NH_4 (EPA, 1976 *apud* SZIKSZAY, 1993). Por outro lado, há poucos nitratos, sendo que o máximo permitido em água potável é 45 ppm, e nenhum nítrico, indicando que o ciclo do nitrogênio ainda não se completou (SZIKSZAY, 1993). Já no poço 3 foi detectado uma presença maior de nitrato indicando um estágio mais avançado do ciclo do nitrogênio, revelando que a contaminação está relativamente distante.
- Trata-se de águas com baixa concentração de sais dissolvidos.

Tabela 17 - Resultados das análises químicas das águas dos poços de monitoriamento para a amostra de 15/01/96, executado pelo CENA - USP.

	Poço 1 ppm	Poço 2 ppm	Poço 3 ppm
NO ₃ + NO ₂	< 0,05	< 0,05	0,2
NH ₄	0,2	1,8	< 0,20
SO ₄	< 2,0	< 2,0	< 2,0
P	0,4	< 0,10	< 0,10
B	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Ba	0,2	0,3	0,04
Ca	15,7	7,2	1,3
Cd	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cr	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Cu	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fe	17,6	12,2	1,2
Mg	7	0,8	0,1
Mn	0,4	1,9	0,2
Pb	< 0,10	0,3	< 0,10
Si	10,5	5,9	5,3
Zn	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Ni	< 0,02	< 0,02	< 0,02

Tabela 18 - Resultados das análises químicas das águas dos poços de monitoriamento, para as amostras de 26/11/96 e 23/12/96, executado pela Puriquima Ltda. por absorção atômica.

Parâmetros	Poço 1 ppm	Poço 2 ppm	Poço 3 ppm
Amostra de 26/11/96			
Nitrogênio Nitratos	0,09	0,13	0,84
Nitrogênio Nitritos	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Sulfato	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cloreto	< 0,5	1,0	< 0,5
Fluoreto	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cálcio	6,4	4,3	0,5
Magnésio	3,00	0,70	0,15
Sódio	8,0	4,5	2,0
Potássio	6,8	2,4	0,7
Amostra de 23/12/96			
Ácido Carbônico (mg CO ₂ /L)	17,7	24,1	10,0
Bicarbonato (mg CO ₃ /L)	24,4	23,2	1,2
Ferro Solúvel	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Na tabela 19 são mostrados as concentrações de cobre, chumbo e cádmio nas águas dos poços de monitoriamento que foram analisadas pela EMBRAPA de Jaguariúna - SP utilizando-se de equipamento de absorção atômica acoplado a um forno de grafite (item 3.2.1). Nota-se que as amostras preservadas com HNO_3 apresentam geralmente teores maiores devido ao poder extrator maior deste ácido. Observa-se também que o teor de chumbo da amostra coletada em 15/01/97 apresenta metade do valor obtido no laboratório do CENA - USP (tabela 17), embora tratava-se exatamente da mesma amostra. Esta discrepância deve-se provavelmente à diferença dos métodos utilizados e da ausência de padrões comuns a estes laboratórios. Além destes dados, nas amostras de 21/05/96 à 23/12/96 que estavam também preservadas com HNO_3 , foram analisados o chumbo e o cádmio pela Puriquima Ltda. por absorção atômica (item 3.2.1). Os resultados obtidos para o chumbo foram todos menores do que 0,05 ppm, e para o cádmio todos menores do que 0,01 ppm.

Quanto ao teor de zinco (tabela 19) nas águas dos poços de monitoriamento, as amostras de 15/01/96 à 18/04/96 apresentaram valores menores do que 0,002 ppm, quando analisadas pela EMBRAPA de Jaguariúna - SP por absorção atômica em chama de ar - acetileno. As amostras de 21/05/96 à 23/12/96 foram analisadas na Puriquima Ltda. por absorção atômica e forneceram valores menores do que 0,02 ppm. Todas estas amostras também estavam preservadas com HNO_3 .

Pode-se concluir que as águas do aquífero freático não está sofrendo contaminação de cobre, chumbo, cádmio ou zinco proveniente do aterro, pois os teores permitidos em água potável para esses elementos são de até de 1 ppm para o cobre (tolerado até 3,0 ppm), 0,05 ppm para o chumbo (tolerado até 0,1 ppm), 0,01 ppm para o cádmio e 5,0 ppm para o zinco (tolerado até 15,0 ppm) (EPA, 1976 e ABNT - PB - 19 *apud* SZIKSZAY, 1993), e os valores encontrados nos poços de monitoriamento são menores ou iguais a esses limites.

Tabela 19 - Teores em ppm de cobre, chumbo, cádmio e zinco nas águas dos poços de monitoramento. Analisado pela EMBRAPA de Jaguariúna - SP por absorção atômica (forno de grafite).

Datas	Preservado com:					
	Poço 1		Poço 2		Poço 3	
	HNO ₃	H ₂ SO ₄	HNO ₃	H ₂ SO ₄	HNO ₃	H ₂ SO ₄
COBRE						
15/01/96	0,003	0,004	< 0,002	0,003	< 0,002	< 0,002
16/02/96	< 0,002	0,007	< 0,002	< 0,002	0,009	< 0,002
20/03/96	0,008	< 0,002	< 0,002	0,002	< 0,002	0,004
18/04/96	0,008	0,003	< 0,002	0,002	0,002	0,007
CHUMBO						
15/01/96	0,063	0,031	0,149	0,097	0,041	0,037
16/02/96	0,068	0,028	0,061	0,009	0,029	0,026
20/03/96	0,110	0,063	0,025	0,010	0,031	0,025
18/04/96	0,109	0,058	0,036	0,007	0,021	0,019
CÁDMIO						
15/01/96	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004
16/02/96	< 0,0004	0,0005	< 0,0004	< 0,0004	0,0004	< 0,0004
20/03/96	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004
18/04/96	< 0,0004	< 0,0004	0,0004	< 0,0004	< 0,0004	0,0006
ZINCO						
15/01/96	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
16/02/96	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
20/03/96	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
18/04/96	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002

Observa-se na tabela 20 e no gráfico 8, que os valores da condutividade elétrica das águas do poço 3 são muito baixos, comparáveis à água destilada pois o aquífero freático neste ponto está em arenito muito puro. Esta baixa condutividade corrobora com a conclusão de que não está ocorrendo influência significativa do aterro sobre o aquífero freático. Nesta mesma tabela pode-se também observar que as águas do aquífero freático são levemente ácidas.

Tabela 20 - Condutividade elétrica a 25 °C em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e pH das águas dos poços de monitoriamento.

Data	Poço 1		Poço 2		Poço 3	
	Cond.	pH	Cond.	pH	Cond.	pH
15/01/96	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16/02/96	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20/03/96	175,7	5,27	184,9	5,19	38,2	4,64
18/04/96	270,5	5,77	239,9	5,48	36,4	4,84
21/05/96	143,6	5,40	123,8	5,27	18,3	4,97
23/07/96	ND	5,45	ND	5,44	ND	4,84
23/08/96	178,3	5,74	184,9	5,79	29,3	4,95
27/09/96	164,7	5,83	185,8	5,81	23,5	5,02
25/10/96	125,3	5,70	163,5	5,96	36,1	5,10
26/11/96	155,9	6,05	206,3	6,12	38,2	5,31
23/12/96	ND	5,32	ND	5,36	ND	4,71

ND: Não Determinado

Gráfico 8 - Valores da condutividade elétrica a 25 °C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas dos poços de monitoriamento no período de 15/01/96 à 23/12/96.

Os resultados de DQO estão apresentados na tabela 21 e no gráfico 9. Para a amostra do dia 23/12/96 foi ainda determinado o DBO_5 pela Puriquima Ltda., cujo resultados são: poço 1, 15 $\text{mg}/\text{O}_2/\text{L}$; poço 2, 7 $\text{mg}/\text{O}_2/\text{L}$ e poço 3, 2 $\text{mg}/\text{O}_2/\text{L}$. Estes valores de DQO e DBO_5 são baixos e, continuam atestando que o aterro não influencia de modo significativo as águas do aquífero freático, demonstrando que apenas uma pequena parte da matéria orgânica está atingindo o aquífero freático. Há, portanto, uma grande degradação bacteriológica da matéria orgânica do percolado no solo. Convém ainda

ressaltar que os dois laboratórios (DBM - IB - UNESP e a Puriquima Ltda.) que realizaram análises de DQO apresentaram valores da mesma ordem de grandeza.

Tabela 21 - Resultados de DQO das águas dos poços de monitoriamento e a respectiva porcentagem de redução deste em relação ao do percolado.

Data	Poço 1		Poço 2		Poço 3	
	DQO mg/O ₂ /L	% Redução	DQO mg/O ₂ /L	% Redução	DQO mg/O ₂ /L	% Redução
	POÇO 1		POÇO 2		POÇO 3	
15/01/96	< 10,0	> 99,97	< 10,0	> 99,97	< 10,0	> 99,97
16/02/96	20,0	99,90	10,0	99,95	40,0	99,80
20/03/96	10,8	99,93	32,4	99,80	64,8	99,61
18/04/96	11,2	99,81	40,3	99,31	11,3	99,81
21/05/96	8,0	99,80	1,6	99,96	0,0	100
23/07/96	4,8	ND	3,2	ND	0,0	100
23/08/96	5,4	99,76	2,16	99,90	6,5	99,71
27/09/96	24,0	98,76	16,0	99,18	24,0	98,76
25/10/96	32,0	98,85	16,0	99,43	16,0	99,43
26/11/96	4,0	99,97	8,0	99,94	4,0	99,97
23/12/96	< 10	> 99,58	< 10	> 99,58	< 10	> 99,58
23/12/96*	31 *	98,92	11 *	99,62	4 *	99,86

ND: Não Determinado

* Valores obtidos pela Puriquima Ltda.

Gráfico 9 - Valores do DQO (mg/O₂/L) das águas dos poços de monitoriamento no período de 15/01/96 à 23/12/96.

4.1.2.2 Características biológicas das águas do aquífero freático

Na tabela 22 são apresentados os resultados dos testes de toxicidade aguda utilizando-se da *Daphnia similis*. As amostras do poço 1 foram classificadas como não tóxicas em todos os ensaios realizados. Foi elevado o pH dos poços 2 e 3 na amostra do dia 23/12/96, adicionando-se NaOH diluído até atingir pH igual a 7, para verificar se a toxicidade estava relacionada a acidez dessas águas, entretanto isto não se comprovou. Possivelmente a toxicidade das águas dos poços 2 e 3 esteja relacionada a baixa presença de ions dissolvidos (tabelas 17 e 18, pg. 97), inibindo o desenvolvimento do microcrustáceo, pois águas minerais comercializadas no Estado de São Paulo costumam apresentar esta mesma faixa de valores de toxicidade aguda (ANGELIS D. F., 1996)*. De qualquer forma, os valores de toxicidade apresentados pelas águas dos poços 2 e 3 são muito inferiores ao do percolado (gráfico 10), revelando o poder filtrante do solo.

Tabela 22 - Toxicidade aguda das águas dos poços 2 e 3. Ensaio biológico com *Daphnia similis* (CETESB, Norma L5-018 de 1991a).

	Poço 2			Poço 3		
	CE (50) 48 h	Unidades Tóxicas	% Redução em relação ao percolado	CE (50) 48 h	Unidades Tóxicas	% Redução em relação ao percolado
15/01/96	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16/02/96	55,49	1,8	90,0	47,04	2,1	88,2
20/03/96	74,83	1,3	92,9	95,66	1,04	94,4
18/04/96	54,77	1,8	89,4	52,00	1,9	88,8
21/05/96	53,61	1,86	88,6	47,83	2,09	87,2
23/07/96	70,69	1,41	91,7	71,62	1,39	91,8
23/08/96	54,0	1,82	89,3	55,0	1,82	89,3
27/09/96	56,5	1,77	89,3	51,3	1,95	91,0
25/10/96	54,77	1,8	89,4	66,0	1,52	91,0
26/11/96	54,8	1,82	88,2	66,0	1,65	89,3
23/12/96	50,9	2,0	88,2	74,4	1,3	92,3
23/12/97 #	43,4 #	2,3 #	88,3	45,9 #	2,2 #	88,8

ND: Não Determinado. # Valor obtido com ajuste da amostra para pH = 7

*ANGELIS D. F. (1996). (DBM - IB - UNESP). Comunicação pessoal.

Gráfico 10 - Valores da Toxicidade aguda do percolado e das águas dos poços de monitoriamento no período de 15/01/96 à 23/12/96.

Foi realizado ainda uma determinação do número de unidades formadoras de colônias por mililitro de amostra (UFC/ml) das águas dos poços e do percolado (tabela 23). Verificou-se que o solo tem retido a maioria das bactérias, senão todas, pois pode ter ocorrido contaminação das amostras das águas dos poços de monitoriamento, por ocasião da amostragem das mesmas, já que estas foram coletadas em frascos não esterilizados.

Tabela 23 - Contagem Microbiana (UFC/ml) realizadas nas amostras coletadas em 26/11/96.

Percolado	$1,57 \times 10^8$
Poço 1	$4,15 \times 10^2$
Poço 2	$1,85 \times 10^2$
Poço 3	$3,25 \times 10^3$

4.1.3 Características do percolado

No anexo 1 encontram-se os resultados das análises físico-químicas e bioquímicas do percolado no período de 22/10/90 à 07/07/92. Na tabela 24 estão os teores dos metais tóxicos analisados no percolado pela EMBRAPA de Jaguariúna - SP e pela Puriquima Ltda.. Além disso, a amostra do dia 15/01/96 foi também analisada pelo CENA - USP, encontrando-se os seguintes valores em ppm: boro 3,0, magnésio 660,0, ferro total 459,7, cobre < 2,5, manganês 30,4 e zinco 9,16. Nas amostras dos dias 25/10/96 e

23/12/96 foram determinados o ferro total na Puriquima Ltda. apresentando 5,6 ppm e 38,0 ppm, respectivamente.

Nota-se novamente discrepância entre os valores fornecidos pelas análises realizadas nestes laboratórios (por exemplo, nos teores de zinco), embora tratasse exatamente das mesmas amostras. Como já comentado (item 4.1.2.1), estas diferenças devem-se aos diversos métodos de análise utilizados (item 3.2.1) e a ausência de padrões comuns entre estes laboratórios. O autor optou pelas análises da Puriquima Ltda. pois, além de utilizar um método consagrado para a realização destas análises (absorção atômica) que requer um volume mais representativo da amostra, possui também larga experiência em análises de rejeitos e efluentes, inclusive percolados.

Tabela 24- Teores em ppm de chumbo, zinco, cádmio e cobre no percolado, analisados pela EMBRAPA de Jaguariúna - SP e pela Puriquima Ltda.

Data	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)
15/01/96	0,040	11,8	0,025	0,074
16/02/96	0,458	11,0	0,026	0,140
20/03/96	0,432	8,4	0,030	0,079
18/04/96	0,138	1,2	0,015	0,028
18/04/96*	< 0,05	0,32	< 0,01	ND
21/05/96*	< 0,05	0,18	< 0,01	ND
23/07/96*	< 0,05	0,11	< 0,01	ND
23/08/96*	< 0,05	0,10	< 0,01	ND
27/09/96*	< 0,05	0,16	< 0,01	ND
25/10/96*	< 0,05	0,06	< 0,01	ND
26/11/96*	0,15	1,86	< 0,01	ND
23/12/96*	< 0,05	0,30	< 0,01	ND

ND: Não Determinado. * Valor obtido pela Puriquima Ltda.

Nos gráficos 11, 12, 13 e 14 observa-se, respectivamente, os teores de ferro, chumbo, zinco e cádmio no percolado. Nota-se que há uma grande variação destes ao longo do tempo de forma aleatória (item 4.4). Provavelmente esta variação seja reflexo da própria heterogeneidade do conteúdo do lixo, por exemplo, se ocorrer a adição de uma

bateria velha de automóvel no aterro, isto provocará um aumento pontual dos teores de chumbo no percolado. Nota-se também que as concentrações do ferro, chumbo e do cádmio são freqüentemente muito elevadas em relação a água potável, entretanto, como discutido no item 4.1.2.1, não contaminaram o aquífero freático.

Gráfico 11 - Teores de ferro (ppm) no percolado.

Gráfico 12 - Teor de chumbo (ppm) no percolado.

Gráfico 13 - Teor de zinco (ppm) no percolado.

Gráfico 14 - Teor de Cádmio (ppm) no percolado.

O DQO, o DBO₅, CE (50) a toxicidade, a condutividade elétrica e o pH do percolado do período de 15/01/96 a 23/12/96 são mostrados na tabela 25. Nos gráficos 15, 16 e 17 vê-se os mesmos parâmetros, porém, para o período compreendido entre 22/10/90 a 23/12/96, com exceção da toxicidade que é mostrado no gráfico 10 na pg. 103 (período de 15/01/96 a 23/12/96).

Tabela 25 - Resultados obtidos de DQO e DBO₅, toxicidade, condutividade elétrica e pH do percolado, no período entre 15/01/96 à 23/12/96.

	DQO mg/O ₂ /L	DBO ₅ mg/O ₂ /L 5 dias 20 ⁰ C	CE (50) 48 h	Unidades Tóxicas	Cond. Elétrica a 25°C (μS/cm)	pH
15/01/96	32.208,0	26.900	5,63	17,76	ND	ND
16/02/96	20.000,0	18.077,0	5,6	17,86	ND	ND
20/03/96	16.570,0	15.833,0	5,43	18,4	6.112	5,64
18/04/96	5.880,0	4.000,0	5,91	16,9	25.9760	8,02
21/05/96	4.200,0	ND	6,11	16,36	53.480	7,70
23/07/96	2579,7	547,4	5,91	16,92	ND	8,07
23/08/96	2.239,8	90,0	5,9	16,95	14520	7,67
27/09/96	1.959,8	277,8	5,5	18,2	20.160	7,55
25/10/96	2.799,7	550,0	5,9	16,95	15.330	8,15
26/11/96	14.000,0	9.333,3	6,5	1005,4	13.248	6,81
23/12/96	2.399,9	875,5	5,91	16,9		7,53
23/12/96*	2866 *	620 *	5,1 [#]	19,6 [#]		

ND: Não Determinado. * Valores obtidos pela Puriquima. [#] Valor obtido com ajuste da amostra para pH = 7

Gráfico 15 - Valores do DQO e do DBO do percolado.

Gráfico 16 - Valores da condutividade elétrica a 25 °C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) do percolado.

Gráfico 17 - Valores do pH do percolado.

O pH do percolado é levemente alcalino, sendo isto comum em ambientes ricos em matéria orgânica e redutores (GARRELS & CHRIST, 1965 *apud* SZIKSZAY, 1993). A condutividade elétrica é extremamente elevada pois o percolado é uma mistura rica em sais. O DQO, o DBO₅, a toxicidade e a quantidade de colônias de bactérias (tabela 23, pg. 103) também apresentam valores bastantes elevados, confirmando o potencial poluidor desta substância.

4.1.4 Características do gás do aterro controlado

Na tabela 26 e nos gráficos 18 e 19 são apresentados a composição do gás do aterro, em porcentagem do volume, correspondente ao período compreendido entre 22/10/90 e 07/08/92.

Comparando-se estes resultados com os gráficos 1 (pg. 5), 2 (pg. 9), 3 (pg. 10), 15 (pg. 107) e 17 (pg. 108) e com o exposto no item 1.3.1, pode-se concluir que este aterro, na ocasião, estaria na fase metânica estável de REES (1980) *apud* GOMES (1989) ou na fase de fermentação metânica de POHLAND & HARPER (1985). Entretanto deve-se adotar estas classificações com ressalvas, pois a velocidade de decomposição do lixo num clima tropical certamente é maior que em clima temperado, onde estas teorias foram elaboradas. Convém realçar que REES (1980) *apud* GOMES (1989) admite cerca de 10 anos para que um aterro atinja a fase metânica estável e, o aterro em estudo a atingiu ainda enquanto era preenchimento diariamente com lixo novo. Além disso, observamos que células novas do aterro, logo após serem preenchidas (processo que demora cerca de 6 meses), emitiam gases suficiente para manterem os queimadores operando continuamente.

Tabela 26 - Resultados da análise da composição do gás do aterro (% em volume).

	22/Out/90	19/Nov/90	17/Dez/90	12/Abr/91	13/Mai/91	22/Jul/91	21/Ago/91	26/Nov/91	10/Dez/91	03/Jan/92	04/Fev/92	26/Mar/92	02/Abr/92	06/Mai/92	02/Jun/92	07/Ago/92
Dióxido de Carbono (CO ₂)	30,0%	31,0%	36,4%	38,0%	36,8%	37,6%	31,8%	37,2%	32,0%	37,0%	33,0%	38,2%	32,8%	36,7%	33,8%	28,8%
Metano (CH ₄)	58,0%	48,0%	49,1%	48,0%	44,0%	49,1%	48,2%	49,0%	52,0%	42,0%	40,0%	47,0%	46,0%	46,0%	49,0%	46,7%
Nitrogênio (N ₂)	12,0%	21,0%	13,9%	13,4%	18,8%	13,3%	19,4%	13,2%	15,0%	20,2%	26,2%	14,2%	20,8%	16,7%	16,6%	23,7%
Oxigênio (O ₂)	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%	0,4%	0,0%	0,6%	0,6%	1,0%	0,8%	0,6%	0,6%	0,4%	0,6%	0,6%	0,8%
Monóxido de Carbono (CO)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Hidrogênio (H ₂)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Gráfico 18 - Teores de CO, CH₄ e N₂ no gás do aterro.

Gráfico 19 - Teores de oxigênio no gás do aterro.

4.2 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Nas tabelas a seguir, defini-se o coeficiente de variação (c.v.) como o desvio padrão dividido pela média e multiplicado por 100. Portanto, quanto maior for este parâmetro, maior é a variação nos valores da amostra.

Na tabela 27 estão as estimativas dos parâmetros estatísticos das variáveis analisadas no solo. Comparando-se estes valores com o gráfico 4 (pg. 20) nota-se que o solo do aterro está fora da área considerada inadequada para descarte de resíduos contendo metais.

Tabela 27 - Estimativas dos parâmetros estatísticos das variáveis analisadas no solo

	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C.V.
Zinco (ppm)	13	8,74	8,83	1,00	26,00	101,07
Argila (%)	13	12,38	5,34	3,44	18,14	43,13
pH	13	5,75	0,29	5,20	6,50	5,20
Mat. orgânica (%)	13	0,92	0,16	0,70	1,20	17,22
Ferro (ppm)	13	1,26	0,24	0,74	1,53	19,10

N = Número de amostras; C.V. = Coeficiente de variação.

A análise do coeficiente de correlação linear de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre variáveis quantitativas. Ela é comumente denotada pela letra grega rho (ρ), quando se trata da correlação da população e pela letra "r" quando se trata da correlação calculada na amostra:

$$\rho = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde x e y são variáveis.

Rho (ρ) varia entre -1 e 1, sendo o valor 1 correspondente a uma medida obtida para pontos que estejam em alinhamento perfeito, numa reta, para o caso de duas variáveis. O sinal indica se a relação é crescente(+) ou decrescente (-) , ou seja se a reta tem coeficiente angular positivo ou negativo. Se o valor for zero significa que não há correlação entre as variáveis.

Ao calcular-se a correlação r numa dada amostra, não se obtém necessariamente um valor igual a zero, mesmo que na população tal valor seja zero. Existem testes estatísticos de hipóteses para se testar se tal valor de r pode ser considerado proveniente de uma população cuja correlação seja zero de fato.

Tais testes baseiam-se na significância estatística do valor obtido na amostra baseando-se na distribuição t-student ou na distribuição Normal ou de Gauss (COSTA NETO, 1977)).

O teste mais comum é o que se baseia na hipótese de que rho (ρ) seja zero (t-Student) Se o nível de significância descritivo (.ou seja, a probabilidade da ocorrência de um valor maior ou igual ao observado na amostra) for muito pequeno para uma população onde rho seja zero, infere-se que tal hipótese deva ser rejeitada, ou seja, ao invés de acreditar-se estar diante de um evento raro, abandona-se a hipótese inicial de que não haja correlação entre as variáveis em questão.

Nas tabelas abaixo destacam-se os valores de r que levaram a rejeição da hipótese de que a correlação populacional seja zero, ou seja sua probabilidade de ocorrência em tais populações é muito pequena, menor que 0.05 (nível de significância, $\alpha < 5\%$) e portanto, indicam que há correlação entre as variáveis. Os demais valores de r podem ser considerados provenientes de populações com correlação zero, isto é, não há correlação entre as variáveis.

Na tabela 28 observa-se que há correlação positiva entre os teores de argila e de ferro e entre o teores de matéria orgânica e zinco, conforme já descrito por ALLOWAY (1990) e resumido no item 1.3.2.. O ferro está sendo retido pela argila e o zinco pela matéria orgânica.

Tabela 28 - Coeficientes da correlação de Pearson / nível de significância descritivo para as variáveis analisadas no solo.

	Ferro	Zinco
Zinco	0,30	1,0
	0,3162	0,0
Argila	0,83	0,54
	0.0004	0,0558
pH	0,36	- 0,36
	0,2244	0,2300
Matéria orgânica	- 0,07	0,66
	0,8169	0,0143

Número de amostras = 13

Uma estimativa dos parâmetros estatísticos de algumas variáveis do anexo 1 (análise físico - química do percolado) é mostrado na tabela 29. Comparando-se estes valores com a tabela 1 (pg. 15), vê-se que o aterro de Rio Claro se encaixaria entre aterros com idades de 3,3 e 4 anos, entretanto, com já foi dito anteriormente (item 4.1.4), deve-se aplicar estes estudos com ressalvas em climas tropicais. Em verdade o percolado analisado no aterro de Rio Claro provem, em sua maioria, de células com alguns meses de idade.

Comparando-se a tabela 29 com as tabelas 2 (pg. 16) e 3 (pg. 17), que possuem dados de aterros da região próxima ao município de São Paulo, observa-se que o aterro de Rio Claro possui muitas semelhanças com estes, à exceção do aterro do município de Itapeverica da Serra, que possui um grande teor de metais em seu percolado. Outro fato que chama atenção são os coeficientes de variação muito altos, com exceção do pH, demonstrando a grande variabilidade físico - química e bioquímica do percolado ao longo

do tempo. Este fato deve-se à própria variabilidade do lixo e, também, porque a geração do percolado está condicionado ao regime de chuvas.

Tabela 29 - Estimativas dos parâmetros estatísticos das variáveis analisadas no percolado.

	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	C.V.
pH	28	7,27	0,81	5,27	8,21	11,18
Cond. elétrica a 25 °C (μS/cm)	23	14.621	12.831	420	53.480	87,76
DQO (mg/O ₂ /L)	30	9.200	14.808	76,00	56.000	160,96
DBO ₅ (mg/O ₂ /L)	25	6.776	10.833	5,00	38.300	159,86
Cádmio (ppm)	29	0,024	0,034	0,001	0,168	142,88
Ferro (ppm)	21	70,13	139,31	0,012	462,50	198,64
Chumbo (ppm)	21	0,35	0,79	0,0029	3,218	228,67
Zinco (ppm)	29	1,43	3,34	0,041	11,80	233,67

N = Número de amostras; C.V. = Coeficiente de variação.

As correlações de Pearson entre as diversas variáveis analisadas no percolado são apresentadas na tabela 30. Nota-se que há uma forte correlação entre os valores de pH, o DQO o DBO₅ e os teores dos metais. Isto pode facilitar o controle do percolado pois, por exemplo, bastaria controlar as variações nos valores do DQO para se ter uma idéia da variação dos teores dos metais presentes. A diminuição do valor do pH aumenta a disponibilidade de metais, uma vez que ocorre uma correlação negativa estatisticamente significativa ($\alpha < 1,91\%$) entre os valores de pH e os teores de metais ($\rho \leq -0,53$).

É muito provável que um percolado rico em matéria orgânica possua maior concentração de ácidos voláteis pois, observou-se correlações negativas estatisticamente significantes ($\alpha < 0,01\%$) entre os valores do pH e os do DQO ($\rho = -0,78$) e DBO₅ ($\rho = -0,86$).

Tabela 30 - Coeficientes da correlação de Pearson / nível de significância descritivo / número de amostras para as variáveis analisadas no percolado.

	pH	CONDUT	DQO	DBO ₅	CÁDMIO	FERRO	CHUMBO	ZINCO
pH	1,00 0,00 28							
CONDUT	-0,11 0,63 23	1,00 0,00 23						
DQO	-0,78 0,0001 28	0,44 0,0354 23	1,00 0,00 30					
DBO ₅	-0,86 0,0001 23	0,60 0,0052 20	0,97 0,0001 25	1,00 0,00 25				
CÁDMIO	-0,67 0,0001 27	0,30 0,1686 23	0,76 0,0001 29	0,66 0,0004 25	1,00 0,00 29			
FERRO	-0,58 0,0076 20	0,49 0,0443 17	0,68 0,0007 21	0,67 0,0024 18	0,70 0,0004 21	1,00 0,00 21		
CHUMBO	-0,53 0,0191 19	0,19 0,476 17	0,60 0,0037 21	0,45 0,06 18	0,92 0,0001 21	0,66 0,0143 13	1,00 0,00 21	
ZINCO	-0,58 0,0015 27	0,037 0,866 23	0,51 0,0044 29	0,62 0,0010 25	0,29 0,13 29	0,89 0,0001 21	0,25 0,27 21	1,00 0,00 29

Na tabela 31 estão as estimativas dos parâmetros estatísticos das variáveis medidas durante o ano de 1996. Chama atenção a relativa estabilidade dos coeficientes de variação da toxicidade e do pH, e também das condutividades elétricas das águas dos poços. Por outro lado, observa-se uma grande variabilidade nos valores de DQO (inclusive dos poços) e do DBO₅, à semelhança dos resultados expostos na tabela 29.

Tabela 31 - Estimativas dos parâmetros estatísticos das variáveis analisadas durante o ano de 1996.

Variável	N	Média	Desvio. Padrão	Mínimo	Máximo	CV
DQOPERC	12	8975	9680	1960	32208	107,86
DBO ₅ (mg/O ₂ /L)	11	7009	9304	90,00	26900	132,73
DQO1 (mg/O ₂ /L)	12	13,43	10,53	4,00	32,00	78,39
DQO2 (mg/O ₂ /L)	12	12,55	12,23	1,60	40,30	97,40
DQO3 (mg/O ₂ /l)	12	15,05	19,46	0	64,80	129,29
TOXPERC (U.T.)	12	17,35	1,087	15,40	19,60	6,27
TOX2 (U.T.)	11	1,79	0,26	1,30	2,30	14,75
TOX3 (U.T.)	11	1,72	0,37	1,04	2,20	21,70
CONDPERC a 25 °C (μS/cm)	7	22.414	15.148	6.112	53.480	67,59
pHPERC	9	7,46	0,79	5,64	8,15	10,61
CONDUT1 a 25 °C (μS/cm)	7	173,43	46,61	125,30	270,47	26,87
pH1	9	5,61	0,27	5,27	6,05	4,72
CONDUT2 a 25 °C (μS/cm)	7	184,15	35,76	123,77	239,90	19,42
pH2	9	5,60	0,33	5,19	6,12	5,83
CONDUT3 a 25 °C (μS/cm)	7	31,43	7,91	18,34	38,20	25,17
pH3	9	4,93	0,20	4,64	5,31	4,13
PLUV96 (mm)	12	151,36	123,84	0	474,50	81,82

onde: N = número de amostras; DQOPERC = DQO do percolado; DBO₅ = DBO₅ do percolado; TOXPERC = toxicidade do percolado; pHPERC = pH do percolado; CONDPERC = condutividade do percolado; DQO1 = DQO do poço 1; pH1 = pH do poço 1; TOX2 = toxicidade do poço 2; CODUT1 = condutividade do poço 1; PLUV96 = dados pluviométricos de 1996.

As correlações de Pearson entre as diversas variáveis analisadas durante o ano de 1996 estão na tabela 32. Como é de se esperar, há uma expressiva correlação entre os valores de DQO e DBO₅ e, além disso, entre estes parâmetros e a pluviometria. Conforme exposto no item 1.3.1 a umidade influencia na evolução da degradação do lixo e nas características do percolado sendo, portanto, muito coerente as correlações observadas. Novamente nota-se uma correlação negativa entre os valores de pH e de DQO e DBO₅. Não há uma correlação linear da pluviometria com os parâmetros analisados nos poços pois, o solo retarda a influência que o clima possui sobre as características do aquífero freático.

Tabela 32 - Coeficientes da correlação de Pearson / nível de significância descritivo / número de amostras para as variáveis analisadas durante o ano de 1996.

	DQO _{perc}	DBO ₅	DQO1	DQO2	DQO3	Tox _{perc}	Tox2	Tox3	Cond _{perc}	pH _{perc}	Condut1	pH1	Condut2	pH2	Condut3	pH3	Pluv96
DQO _{perc}	1,00 0,0001 12																
DBO ₅	0,99 0,0001 11	1,00 0,00 11															
DQO1	-0,26 0,42 12	-0,27 0,42 11	1,00 0,00 12														
DQO2	0,03 0,94 12	0,04 0,91 11	0,24 0,46 12	1,00 0,00 12													
DQO3	0,32 0,31 12	0,39 0,23 11	0,23 0,48 12	0,56 0,06 12	1,00 0,00 12												
Tox _{perc}	0,09 0,78 12	0,11 0,76 11	0,59 0,05 12	0,23 0,48 12	0,41 0,18 12	1,00 0,00 12											
Tox2	-0,34 0,30 11	-0,38 0,28 10	0,39 0,24 11	-0,29 0,39 11	-0,53 0,10 11	0,18 0,59 11	1,00 0,00 11										
Tox3	-0,11 0,75 11	-0,11 0,77 10	0,38 0,25 11	-0,18 0,59 11	-0,33 0,32 11	0,19 0,57 11	0,65 0,0306 11	1,00 0,00 11									
Cond _{perc}	-0,50 0,26 7	-0,79 0,06 6	-0,20 0,66 7	-0,41 0,36 7	-0,61 0,15 7	-0,33 0,47 7	0,56 0,19 7	0,77 0,0418 7	1,00 0,00 7								
pH _{perc}	-0,88 0,0020 9	-0,91 0,0015 8	0,23 0,54 9	-0,29 0,44 9	-0,77 0,0152 9	-0,30 0,43 9	0,48 0,19 9	0,53 0,15 9	0,51 0,25 7	1,00 0,00 9							
Condut1	0,06 0,90 7	0,05 0,92 6	-0,32 0,49 7	0,70 0,08 7	0,04 0,94 7	0,11 0,81 7	-0,05 0,91 7	0,14 0,76 7	-0,03 0,95 7	0,09 0,85 7	1,00 0,00 7						
pH1	0,02 0,96 9	-0,17 0,69 8	0,21 0,59 9	0,05 0,91 9	-0,30 0,43 9	-0,40 0,28 9	0,36 0,35 9	0,51 0,16 9	-0,23 0,62 7	0,22 0,58 9	0,10 0,82 7	1,00 0,00 9					
Condut2	0,27 0,56 7	0,15 0,77 6	-0,17 0,72 7	0,64 0,12 7	0,10 0,83 7	0,01 0,99 7	-0,09 0,86 7	-0,13 0,78 7	-0,54 0,21 7	-0,07 0,88 7	0,78 0,0384 7	0,52 0,23 7	1,00 0,00 7				
pH2	-0,06 0,88 9	-0,27 0,52 8	0,35 0,35 9	-0,19 0,62 9	-0,29 0,45 9	-0,39 0,29 9	0,36 0,35 9	0,28 0,47 9	-0,36 0,42 7	0,22 0,57 9	-0,31 0,51 7	0,89 0,0013 9	0,23 0,62 7	1,00 0,00 9			
Condut3	0,61 0,15 7	0,66 0,15 6	0,00 0,99 7	0,56 0,19 7	0,37 0,41 7	-0,06 0,89 7	-0,41 0,36 7	-0,72 0,07 7	-0,80 0,0317 7	-0,36 0,42 7	0,27 0,56 7	0,21 0,65 7	0,65 0,11 7	0,24 0,60 7	1,00 0,00 7		
pH3	0,00 0,99 9	-0,16 0,70 8	0,24 0,54 9	-0,32 0,40 9	-0,44 0,24 9	-0,62 0,08 9	0,39 0,29 9	0,50 0,17 9	0,04 0,93 7	0,23 0,55 9	-0,45 0,31 7	0,83 0,0055 9	-0,06 0,90 7	0,87 0,0021 9	-0,03 0,94 7	1,00 0,00 9	
Pluv96	0,81 0,0013 12	0,79 0,0040 11	-0,12 0,71 12	-0,04 0,89 12	0,06 0,84 12	0,17 0,59 12	0,23 0,49 11	-0,22 0,52 11	-0,33 0,47 7	-0,54 0,13 9	-0,19 0,69 7	-0,26 0,50 9	0,00 1,00 7	-0,16 0,68 9	0,55 0,20 7	-0,13 0,75 9	1,00 0,00 12

onde: DQO_{perc} = DQO do percolato; DBO₅ = DBO₅ do percolato; Tox_{perc} = toxicidade do percolato; pH_{perc} = pH do percolato; Cond_{perc} = condutividade do percolato; DQO1 = DQO do poço 1; pH1 = pH do poço 1; Tox2 = toxicidade do poço 2; Codut1 = condutividade do poço 1; Pluv96 = dados pluviométricos de 1996.

4.3 RESULTADOS GEOFÍSICOS OBTIDOS E SUA INTERPRETAÇÃO

4.3.1 Resultados obtidos pelo método eletromagnético

As duas séries de medidas eletromagnéticas indutivas (caminhamento eletromagnético), coletadas em novembro de 1998 (série S1) e março de 1998 (série S2), estão no anexo 2. Neste anexo 27 valores de condutividade aparente, de um total de 3200, foram considerados inconsistentes e substituídos pela média de seus vizinhos contíguos. A distribuição espacial dos pontos de medida é mostrada na figura 14, e das linhas na figura 6.

Figura 14 - Pontos de medições da condutividade aparente, pela técnica do caminhamento eletromagnético, coletados em nov/88 e mar/89 pelo EM-31 e EM-34.

Para a confecção dos mapas de contorno dos diversos níveis teóricos de profundidade, tentou-se regularizar a malha dos pontos de medida da condutividade aparente, evitando-se uma grande concentração de pontos numa mesma região e desprezando as interpolações produzidas pelo SURFER em áreas não amostradas (figuras 15 e 16).

Figura 15 - Malha de pontos utilizado para confecção de mapas de contorno de isocondutividade aparente.

Ao interpretar-se este conjunto de dados observa-se que:

1) As medidas fornecidas pelo EM-34 com eixo da bobina na posição vertical são mais coerentes em relação ao eixo horizontal. Pelo próprio princípio do método, a posição vertical do eixo sofre menor interferência das camadas superficiais .

2) Podem ocorrer mudanças significativas nos valores de condutividade aparente, determinados por estes equipamentos, em função das diferenças na umidade no solo. Existem fortes evidências estatísticas que mostram uma diferença altamente significativa entre os valores do início do período chuvoso (série S1) e os do final da estação chuvosa (série S2).

Verificou-se que a variável condutividade aparente não pode ser aproximada por uma distribuição normal, portanto, não se deve usar os testes tradicionais de comparações entre médias, tais como o teste t-student ou as técnicas de análises de variância paramétricas clássicas (teste F-Snedecor). Neste caso, como se trata de comparação entre dois grupos, opta-se pelo teste não paramétrico, conhecido como teste de Wilcoxon (COSTA NETO, 1977).

Seis testes foram conduzidos separadamente para cada uma das seis profundidades disponíveis. Detectou-se diferenças significativas entre as condutividades das série S1 e S2 para as profundidades de 5,5 m ($\alpha = 0,7\%$ ou $\alpha = 0,007$) e 30 m ($\alpha = 0,01\%$ ou $\alpha = 0,0001$). Valores tão pequenos do nível de significância descritivo (α), indicam que tal diferença é altamente significativa. Convém lembrar que o nível de significância descritivo é a probabilidade de ocorrência de um valor da estatística de teste, maior ou igual que o valor observado na amostra, sob a hipótese de igualdade das condutividades nas séries S1 e S2. Ou seja, quanto menor o α , mais improvável que tal hipótese seja verdadeira.

Apesar destas limitações foi possível caracterizar a presença de uma pluma de contaminantes em profundidade, devido aos valores anômalos da condutividade na área do aterro, e a determinação de sua respectiva direção do fluxo, que é concordante com o gradiente topográfico do local, isto é, para sudoeste dentro do aterro e para sul, a partir dos limites do mesmo (figura 16).

Deve-se tornar a malha de pontos o mais regular possível, sem haver perda de dados significativos, e escolher o método de interpolação que forneça resultados coerentes com os conhecimentos prévios da área pois, caso contrário, é possível “fabricar” qualquer resultado com um conjunto de dados mal distribuídos e interpolados incorretamente. A figura 17 ilustra este fato, onde a direção do fluxo aparece em sentido oposto e a área contaminada difere da realidade .

Os resultados do caminhamento eletromagnético executado em 23/10/96, sobre a linha LC1 (figura 6), utilizando-se do equipamento EM-31, são mostrados na tabela 33 e no gráfico 20. Observa-se que há um pico na intensidade da condutividade elétrica

aparente nos contatos entre as camadas de lixo com idades diferentes (estacas 120 e 230), provavelmente devido ao acúmulo de percolado (que é muito condutor) nesta região. Nota-se também a interferência da linha de alta tensão nos valores da condutividade aparente (estaca 260). Finalmente é possível observar um aumento significativo nos valores da condutividade elétrica aparente à 4,5 m, relacionada à camada de brita, que atua como dreno do percolado, nesta profundidade.

Figura 16 - Mapa de isocondutividade aparente (mS/m). EM-34/20m-V-S2 (profundidade teórica de investigação: 30 m)

Figura 17 - Mapa de isocondutividade aparente (mS/m). EM-34/40m-H-S2 (profundidade teórica de investigação: 30 m)

Na mesma data foi realizado um caminhamento eletromagnético com o equipamento EM-34, cujos resultados da condutividade elétrica aparente estão na tabela

34 e no gráfico 21. Nota-se que na profundidade de 30 m a condutividade aparente é bem menor do que a 15 m, indicando que a influência do percolado cessa entre estes dois níveis teóricos de investigação, conforme será também indicado pelos outros métodos geofísicos utilizados (item 4.3.2 e 4.3.3).

Tabela 33 - Resultados do caminhamento eletromagnético, realizado em 23/10/96, com o EM-31 sobre a linha LC1.

Estaqueamento (m)	Dipolo Vert. Elevado Prof. de 3 m mS/m	Dipolo Horiz. Elevado prof. de 2 m mS/m	Dipolo Vert. Solo prof. de 5,5 m mS/m	Dipolo Horiz. Solo prof. de 4,5 m mS/m	Observações
0	120	110	110	180	camada recente de lixo
10	120	120	70	210	
20	160	120	165	210	
30	150	145	110	245	
40	130	150	105	250	
50	125	140	120	220	
60	155	145	140	240	
70	145	150	105	260	
80	145	170	105	290	
90	130	170	85	270	
100	115	150	50	270	camada mais antiga
110	125	170	50	285	
120	175	190	210	300	
130	215	245	150	400	
140	220	205	225	295	
150	145	160	120	260	
160	165	135	155	215	
170	180	160	170	270	
180	190	160	220	250	
190	190	160	190	260	
200	190	150	210	240	camada recente novamente
210	180	160	170	260	
220	190	160	180	265	
230	220	190	240	300	
240	205	185	210	285	
250	170	160	170	250	Linha de alta tensão
260	180	160	200	245	
270	210	185	235	280	
280	180	205	150	320	
290	150	190	150	260	
300	150	195	140	280	
310	175	155	190	250	
320	160	120	160	220	
Background	8	8	8	8	Na estr. mun. junto ao aterro

Gráfico 20 -Conductividade elétrica aparente (mS/m) medido pelo EM-31 na linha LC1 em 23/10/96 e, as profundidades teóricas de investigação.

Tabela 34 - Resultados do caminhamento eletromagnético realizados em 23/10/96 com o EM-34, sobre a linha LC1. Espaçamento entre bobinas: 20 m.

Estaqueamento (m)	Dipolo Horizontal	Dipolo Vertical	Observações
	prof. de 15 m (mS/m)	prof. de 30 m (mS/m)	
0	110	40	
50	130	50	
100	160	36	
150	145	48	
200	150	48	
250	150	10	Transmissora sob torre de alta tensão
300	100	26	Receptora próximo à cerca metálica
Background	14	27	Na estrada municipal junto ao aterro

4.3.2 Resultados obtidos pelo método eletrorresistividade e polarização induzida.

Na figura 18 encontram-se os resultados das sondagens elétricas verticais (SEV) realizadas e interpretadas em 1993. A figura 19 mostra os resultados da resistividade aparente obtidos na mesma campanha com a técnica do caminhamento elétrico, utilizando-se do arranjo dipolo-dipolo, na profundidade teórica de 20 metros. Nota-se que já foi possível ter-se uma boa visão tridimensional do aterro e da pluma na ocasião, ressaltando que a pluma limitava-se à área do aterro. A única ressalva é que o que foi interpretado como sedimentos arenosos compactos, é na verdade sedimentos argilosos da Formação Corumbataí.

Os ensaios de polarização induzida (IP) e resistividade realizados nos anos de 1996/1997 (figura 20), na linha LC1 (sobre o aterro) mostram dois padrões distintos para os valores da resistividade:

- na parte superior ocorrem valores bem baixos, associados à presença dos contaminantes, até a base do aterro;

- a partir da profundidade entre 20 e 25 m nota-se um gradiente elevando bruscamente o valor da resistividade, indicando a presença do material natural, não contaminado (MALAGUTTI et al., 1997).

Ainda na linha LC1, próximo a estaca 250 m, segundo MALAGUTTI et al., (1997), observam-se valores anômalos da resistividade (menores) e cargabilidade, podendo indicar uma zona de fratura que permita o acesso do percolado para profundidades maiores. Os valores de cargabilidade sob o aterro apresentam um padrão de variação bastante complexo, ligado provavelmente à heterogeneidade do material do aterro (lixo e argila compacta).

Na linha LC2, executada fora dos domínios do aterro controlado, ou seja, sobre o material natural do local, observa-se uma variação nos valores da cargabilidade/resistividade, condicionada apenas pelas variáveis litológicas: os valores menores da resistividade e maiores da cargabilidade, da estaca 20 até a 170, relacionam-se, provavelmente, com os sedimentos da Fm. Corumbataí, predominantemente argilosa; e os valores maiores da resistividade e menores da cargabilidade, das estacas 0 a 20 e da 170 a 300, indicam a presença de sedimentos da Fm. Rio Claro, predominantemente arenosa. Observa-se que sob esta linha não existe a influência do percolado do aterro comprovando o fluxo predominante para sudoeste na área do aterro e para sul fora dos limites do mesmo.

4.3.3 Resultados obtidos pela sísmica de refração

Os ensaios de sísmica de refração, definiram com boa precisão, a espessura do aterro (figura 21), tendo sido seus valores coerentes com a profundidade estimada através do caminhamento elétrico, ou seja, variando entre 20-25m na sua parte mais profunda. Isto implica em que uma parte do aterro foi construída abaixo do nível do aquífero freático.

Foi possível também verificar a geometria do substrato do aterro, que é em forma de um vale. Isto explica a não contaminação dos poços de monitoriamento, mesmo estando parte do lixo depositado abaixo do nível hidrostático. Revela também que a maior parte do aterro encontra-se encaixado em argilitos da Formação Corumbataí, que possuem uma permeabilidade muito baixa, dificultando o avanço da pluma de contaminação.

Figura 18 - Sondagens elétricas verticais (SEV) executadas e interpretadas em 1993. Arranjo Schumberger.

Figura 19 - Carta de resistividade aparente - técnica do caminhamento elétrico - arranjo dipolo-dipolo - profundidade teórica de 20 metros - campanha de 1993

Figura 20 - Seções de Resistividade (ohm/m) e Cargabilidade Aparente (Ma) obtidas no Aterro Controlado de Rio Claro pela técnica do caminhamento elétrico - arranjo dipolo-dipolo

LINHA 01

LINHA 02

Fonte: Malagutti *et al* (1997)

Figura 21 - Interpretação dos ensaios de sísmica de refração

4.3.4 Comparações entre os métodos geofísicos utilizados

A tabela 35 compara os métodos geoeletricos aplicados. O ideal é utilizar-se de vários métodos conjuntamente. Como na prática isto é muitas vezes inviável, deve-se priorizar o que fornece a maior e melhor quantidade de informações, dentro do orçamento disponível. Em locais onde há poucas informações geológicas disponíveis ou, onde não seja possível manter as bobinas em posição coplanares, é temerário utilizar-se apenas do caminhamento eletromagnético para tirar conclusões.

A sísmica de refração demonstrou ser eficiente para definir a geometria do aterro e o contato deste com o substrato, restando a dúvida da periculosidade de se utilizar explosivos diretamente sobre o aterro como fonte das ondas sísmicas.

Tabela 35 - Comparações entre os métodos geoeletricos aplicados.

Técnica	Rapidez	nº operadores	custo	Precisão e exatidão
Caminhamento eletromagnético	muita	1 (EM-31) ou 2 (EM-34)	Baixo	baixa
Sondagens elétricas verticais	média	3	médio	média
Caminhamento elétrico + polarização induzida	lento	4	alto	alta

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho são:

- O solo do aterro é formado por um arenito intemperizado cuja fração argilosa (média de 12,38 %) é constituída em sua maior parte por caulinita. Não foram detectados contaminações deste solo por chumbo, zinco, cobre ou cádmio, pois o solo do aterro não é inadequado para descarte de resíduos contendo metais, já que possui mais do que 7% de argila e pH superior a 5,3. Os argilitos da Formação Corumbataí, nos quais o boa parte do aterro está encaixado, tem dificultado a dispersão da pluma de contaminação. Estes resultados ajudaram a prefeitura a decidir-se pela localização do novo aterro controlado do município em área contígua ao estudado;
- No solo, concluiu-se que há uma absorção do ferro pela argila e há retenção de zinco, uma vez que, observou-se uma correlação positiva estatisticamente significativa ($\alpha < 1,5\%$) entre os teores de ferro e argila ($\rho = 0,83$) e entre o zinco e a matéria orgânica ($\rho = 0,66$);
- No percolado, a diminuição do valor do pH aumenta a disponibilidade de metais, uma vez que ocorre uma correlação negativa estatisticamente significativa ($\alpha < 1,91\%$) entre os valores de pH e os teores de metais ($\rho \leq -0,53$). É muito provável que um percolado rico em matéria orgânica possua maior concentração de ácidos voláteis pois, observou-se correlações negativas estatisticamente significantes ($\alpha < 0,01\%$) entre os valores do pH e os do DQO ($\rho = -0,78$) e DBO₅ ($\rho = -0,86$). Quanto maior a abundância de chuvas, maior será a geração de percolado rico em matéria orgânica pois, correlação positiva estatisticamente significativa ($\alpha < 0,4\%$) foram observadas entre o índice pluviométrico e os valores de DQO ($\rho = 0,81$) e DBO₅ ($\rho = 0,79$);

- O percolato possui potencial poluidor muito alto, como foi demonstrado pelos valores médios obtidos de condutividade elétrica (14.621 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C), toxicidade (17,35 U.T.), DQO (9.200 $\text{mg}/\text{O}_2/\text{L}$), DBO₅ (6.776 $\text{mg}/\text{O}_2/\text{L}$) e ainda pela ocorrência aleatória de alto teores de metais tóxicos. Há grande variabilidade, ao longo do tempo, nos parâmetros físico - químicos e bioquímicos do percolato, devido à própria variabilidade do lixo e também, porque a geração do percolato está condicionado ao regime de chuvas;

- A água do aquífero freático possui baixa concentração de íons dissolvidos. Há presença significativa de NH_4 (média de 1,0 ppm) proveniente do percolato nas águas dos poços 1 e 2, entretanto, no solo tem ocorrido a degradação quase total do percolato, pois os poços de monitoriamento apresentam valores médios muito baixos quando comparados ao percolato de condutividade elétrica (129,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C), toxicidade (1,17 U.T.) e DQO (13,68 $\text{mg}/\text{O}_2/\text{L}$). Não tem ocorrido contaminação da água do aquífero freático por chumbo, zinco, cobre ou cádmio, confirmando o poder filtrante deste solo;

- O gás do aterro é composto principalmente por CH_4 , CO_2 e N_2 que juntos somam mais de 99% em volume, revelando um estágio avançado de decomposição da matéria orgânica num curto espaço de tempo (cerca de seis meses);

- Os resultados obtidos pelos métodos geoeletricos utilizados permitiram definir a direção do fluxo da água subterrânea que é concordante com o gradiente topográfico. Permitiram também definir a posição do nível hidrostático, que no centro do aterro está acima do limite inferior deste. A pluma de contaminação pôde ser detectada e mapeada vertical e horizontalmente, sendo possível acompanhar sua evolução desde 1990, bem como, verificar que está circunscrita a área do aterro. Deve-se adotar ressalvas na aplicação da técnica do caminhamento eletromagnético utilizada neste trabalho (EM -31 e EM-34) conforme descritas no item 4.3.1;

- A sísmica de refração permitiu determinar a geometria do aterro, que é em forma de um vale e, a sua espessura que atinge até 25 metros na parte mais profunda deste vale;

- Os diversos dados, documentação e trabalhos examinados permitiram elaborar um histórico do aterro do município de Rio Claro, concluindo-se que a administração do aterro foi melhor conduzida por empresas privadas. Tal fato deve ser levado em consideração na elaboração da política administrativa do município pois, o volume de lixo gerado/coletado pela cidade tem aumentado em velocidade maior do que o crescimento populacional. Finalmente conclui-se, que o aterro controlado do município de Rio Claro tem sido uma solução para a disposição do lixo doméstico com um impacto ambiental pequeno e restrito, podendo servir de parâmetro para outros municípios, com condições geológicas e climáticas semelhantes, que pretendam transformar lixões em aterros controlados, lembrando que no Brasil 76% do lixo é depositado a céu aberto.

6. RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

- Continuar o monitoriamento do percolado e da água do aquífero freático, com análises semestrais dos seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, DQO e toxicidade aguda. Isto permitirá acompanhar a evolução das características do aquífero freático e do percolado após a implantação da recirculação do mesmo e do encerramento da deposição de lixo no aterro;
- Estudar os microorganismos e as concentrações dos compostos de nitrogênio na água do aquífero freático e no percolado;
- Realizar novas seções de caminhamento elétrico com o arranjo dipolo-dipolo e também um eletromagnético no lado SW do aterro contornando-o assim totalmente e, realizar ensaios de sísmica de reflexão de alta resolução em sua parte central, visando testar o alcance desta técnica na definição do substrato, em comparação com a refração;
- Criar padrões rastreáveis, entre laboratórios de pesquisa, para aferição de equipamentos para análises. Adoção, por parte destes laboratórios, de princípios de gestão da qualidade como, por exemplo, as normas da série ISO 9.000;
- Simplificação, desburocratização e descentralização do processo de licenciamento ambiental, no sentido de torná-lo mais ágil e aplicável;
- Estudar a degradação do lixo doméstico em aterros nas condições climáticas brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE, G.A.L. (1995). *Contribuição ao estudo geoquímico do As, Cu, Pb e Zn, originados de pesticidas agrícolas, nas zonas não saturadas e saturadas em área urbana e agrícola do município de Louveira, SP*. São Paulo, 158 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- ALEXANDRE, G. A. L. ; SZIKSZAY, M.; LIGO, M. A. V. (1995a). Behaviour of lead in the unsaturated zone in the tropical climate (Urban and Agricultural Area in the State of São Paulo, Brazil). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF IAH (SOLUTIONS 95), 26., Edmonton, 1995. *Proceedings*. Edmonton, IAH p.1075-1079.
- ALEXANDRE, G. A. L. ; SZIKSZAY, M.; LIGO, M. A. V. (1995b). Behaviour of copper in the unsaturated zone in tropical climate originating from agricultural pesticides (State of São Paulo, Brazil). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER / ROCK INTERACTION, 8., Vladivostok, 1995. Vladivostok.
- ALLOWAY, B. J. (1990). *Heavy metals in soils*. New York, Blackie/Jonh Wiley, 352 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1985). *Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos*, Rio de Janeiro ABNT. (NBR-8849/85).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989a). *Referências bibliográficas*. Rio de Janeiro, ABNT. (NBR-6023/89).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989b). *Degradação do solo, terminologia*. Rio de Janeiro ABNT. (NBR-10703/89).

- ATERRO consegue nota 9,6 na pesquisa estadual. *Jornal Cidade*, Rio Claro, 13 de mar. 1998, p. 16.
- ATWATER, J. W.; JASPER, S.; MAVINIC, D. S.; KOCH, F. A. (1983). Experiments using *Daphnia* to measure landfill leachate toxicity. *Water Research*, v. 17, n. 12, p. 1855-1861.
- BASSOI, L. J.; NIETO, R.; TREMAROLLI, D. (1990). *Implementação de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos*. São Paulo, Cetesb - Procop. 7 p.
- BERRÍOS, M.R. (1986). *O lixo domiciliar: a produção de resíduos sólidos em cidades de porte médio e a organização do espaço, o caso de Rio Claro, SP*. Rio Claro, 175p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo.
- BOIAN, C. (1995). *Aplicação geofísica a estudos ambientais em sedimentos do Grupo Bauru: aterro sanitário de São José do Rio Preto (SP)*. Rio Claro, 173 p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo.
- BRAGA, A. C. O. (1997). *Métodos Geoelétricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica - formações Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro - SP*. Rio Claro, 169 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo.
- CARPENTER, P. J.; KAUFMANN, R. S.; PRICE, B. (1990). The use of resistivity soundings to determine landfill structure. *Ground Water*, v. 28, n. 4, p. 569-575.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (s. d.). *Normas para apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. São Paulo, Cetesb. 14p. (Norma P 4.241).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1978a). *Contagem padrão de colônias de bactérias*. São Paulo, Cetesb. 11p. (Norma L 5.201).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1978 b). *Tratamento preliminar de amostras de água para determinação de metais por espectrofotometria de absorção atômica/emissão de chama*. São Paulo, Cetesb. 9p. (Norma L 5.012).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1979). *Manual de instruções básicas para a execução de aterro sanitário*. São Paulo, Cetesb.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1989 a). *Determinação de cádmio em águas - método de espectrofotometria de absorção atômica*. São Paulo, Cetesb. 11p. (Norma L 5.160).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1989b). *Determinação de chumbo em águas - método de espectrofotometria de absorção atômica*. São Paulo, Cetesb. 11p. (Norma L 5.111).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1989c). *Determinação de zinco em águas - método de espectrofotometria de absorção atômica*. São Paulo, Cetesb. 11p. (Norma L 5.158).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB

(1990). *Demanda química de oxigênio (DQO). Método do refluxo do dicromato*. São Paulo, Cetesb. 13p. (Norma L 5.121).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB

(1991a). *Água - teste de toxicidade aguda com Daphnia Similis Claus, 1872 (Cladoara, Crustacea)*. São Paulo, Cetesb. 11p. (Norma L 5.018).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB

(1991b). *Demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Método da diluição e incubação (20^o C, 5 dias)*. São Paulo, Cetesb. 13p. (Norma L 5.120).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB

(1995). *Legislação estadual: controle de poluição ambiental - Estado de São Paulo (atualizado até setembro de 1995)*. São Paulo, Cetesb. 300 p. (Série Documentos).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB

(1996). *Caracterização e estudo de tratabilidade de líquidos percolados de aterros sanitários*. São Paulo, Cetesb. 66p. (Relatório Técnico Interno).

COSTA NETO, P. L. (1977). *Estatística*. São Paulo, Edgard Blucher, 264 p.

COSTA, A. F. U.; FERLIN, C. A. (1993). Aplicação prática de métodos elétricos na detecção e monitoriamento da contaminação de águas subterrâneas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 3., Rio de Janeiro, 1993. *Resumos Expandidos*. Rio de Janeiro, SBGF. p. 1210-1212.

- COTTAS, L. R. (1983). *Estudos geológicos - geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro, SP*. São Paulo, 172 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- DEHAINI, J. (1995). *Avaliação da aplicabilidade de métodos geofísicos em estudos de casos de contaminação de águas subterrâneas por diferentes fontes*. São Paulo, 70p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- EGREJA FILHO, F.B.; PEREIRA NETO, J.T. (1993). Avaliação de ocorrência e distribuição química de metais pesados na compostagem de lixo domiciliar urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., Natal, 1993, *Anais*, Rio de Janeiro, ABES, v. 2, n. 3, p. 39 - 57.
- ELLERT, N.; GREENHOUSE, J.; MONIER-WILLIMS, M. (1988). A geofísica no estudo da poluição da água subterrânea. *Ambiente: Revista Cetesb de Tecnologia*, v. 2, n. 2, p.94-100, 1988.
- ELLERT, N.; ROSS, S.; MENDES, J.M.B.; MARTIN, E. (1990). Mapeamento geofísico do lixão de São Carlos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 6., Porto Alegre, 1990. *Anais*. Porto Alegre, Associação Brasileira de águas Subterrânea. p. 82-88.
- FERREIRA, G. C. (1995). *Estudos do mercado produtor e consumidor de areia industrial no Estado de São Paulo*. Rio Claro, 142 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (1992). *Sinopse preliminar do censo demográfico de 1991, São Paulo*. Rio de Janeiro, n 19.

- GHERARDI - GOLDSTEIN, E.; BERTOLETTI, E.; ZAGATTO, P. A.; ARAÚJO, R. P. A.; RAMOS, M. L. L. C. (1990). *Procedimentos para utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos*. São Paulo, Cetesb - Procop. 17p.
- GOMES, L.P. (1989). *Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários*. São Carlos, 159p. (Dissertação - Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- HAMILTON, M. A.; RUSSO, R. C.; THURSTON, R. U. (1977). Trimmed Spearman - Karber method for estimation median lethal concentrations in toxicity biossays. *Environmental Science and Technology*, v. 11, n 7, p. 714 - 719.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA - IBGE (1993). *Normas de apresentação tabular*. Rio de Janeiro, Centro de Documentação e Disseminação de Informações, 62 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT (1981a). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo - escala 1:1.000.000*. São Paulo, IPT/DMGA. 2v. (Monografias IPT, 6).
- INSTITUTO DE PESQUISAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT (1981b). *Mapa geológico do Estado de São Paulo - escala 1:500.000*. São Paulo, IPT/DMGA. 2v. (Monografias IPT, 6)
- JARDIM, N. S.; WELLS C. (1995). *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas/CEMPRE, 278 p.

- JOSÉ, C. (1994). Métodos geofísicos aplicados à estudos de contaminação de solos e de águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ANÁLISE AMBIENTAL, 1994. *Anais*. Rio Claro, p. 5 - 6.
- JOSÉ, C.; ELLERT, N. (1989). Abordagem geofísica para mapeamento e monitoriamento da pluma de contaminação na área de influência de um aterro sanitário urbano. In: *Revista Brasileira de Geofísica*, v.7 n. 1, p. 92 / Apresentado no CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 1, Rio de Janeiro, 1989. *Resumo*. Rio de Janeiro, SBGF.
- MALAGUTTI, W. (1991). *Utilização de técnicas geofísicas na caracterização de solos e rochas com aplicações na geologia de planejamento urbano*. Rio Claro, 188 p. 2v. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- MALAGUTTI, W.; JOSÉ, C.; BRAGA, A. O. C.; ELIS, V. R.; TANDEL, R. Y. (1997). Aplicação integrada de técnicas geofísicas no aterro sanitário de Rio Claro - SP - Resultados Preliminares. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 5., São Paulo, 1997, *Anais*, São Paulo, SBGF,
- MELO, M. S. (1995). *A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neoceno-zóica na depressão periférica paulista*. São Paulo, 144 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MENDES, J.M.B. (1987). *Técnicas geofísicas aplicadas no mapeamento e monitoramento de poluição e contaminação de águas subterrâneas*. São Paulo, 196 p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- MERBACH JUNIOR, P. DA S. (1989). *Estudos de avaliação de metais pesados em percolado de aterro sanitário em função do tempo de disposição*. São Carlos, 83p. (Tese - Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MORAES, V. A.; ROCHA, M. J. M.; OGURA, S. K.; QUARESMA, M. Y. V.; CARVALHO, R. M. (1996). *Caracterização e estudo de tratabilidade de líquidos percolados de aterros sanitários*. São Paulo, Cetesb. 66p. (Relatório Técnico Interno).
- OLIVA, M. F. A. (1989). *O lixo urbano de Rio Claro*. Rio Claro, 52p. (Trabalho de Formatura) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- PACHECO, A.; ESPÍNDOLA, R. S.; BATELLO, E. R.; MENDES, J. M. B.; DEHAINI, J. (1994). A problemática do lixo urbano na região metropolitana de São Paulo - o lixo do Alvarenga e as águas subterrâneas. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA, 8., Santiago, 1994. *Textos de Los Trabajos*. Santiago, Alhsud. v.2, p. 127-140.
- PACHECO, A.; ESPÍNDOLA, R. S.; BATELLO, E. R.; MENDES, J. M. B.; DEHAINI, J. (1996). A disposição de lixo em áreas urbanas. São Paulo, *Revista Limpeza Pública*, n. 43, p. 23-27.
- POHLAND, F. G.; GOULD, J. P. (1984). *Fate of heavy metals during landfill stabilization of solid wastes material with leachate recycle*. Draft Final Report - USA EPA Project R-806468. Georgia Technical Project. (E-20-666).

- POHLAND, F. G.; HARPER, S.R. (1985). *Critical review on summary of leachate and gas production from landfills*. USA EPA Cooperative Agreement CR 80997, Georgia Tech. Project. (F-20-G01/SCGT-81-104).
- PREZOTTO, M. E. M. (1994). *Comportamento do cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH*. Piracicaba, 197p. (Tese - Livre - Docência) - Escola Superior de Agronomia Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, P. S. (1975). *Tecnologia de argilas aplicadas às argilas brasileiras*. São Paulo, Edgard Blücher, 802 p.
- SAS Institute (1991). *SAS Language and Procedures*, Usage 2, Version 6, Cary NC, SAS Institute. 781 p.
- SEADE: FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (1993a). *Perfil municipal - região administrativa de Campinas*. São Paulo, SEADE. 145 p.
- SEADE: FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (1993b). *Anuário estatístico do Estado de São Paulo*. São Paulo, SEADE. 390 p.
- SEADE: FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (1994). *Anuário estatístico do Estado de São Paulo*. São Paulo, SEADE. 452 p.
- SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO (1986). *Formações geológicas de superfície. folha geológica de Rio Claro. Escala 1:50.000*. São Paulo, Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais/Instituto Geológico.
- SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO (1979). *Folha Bairro de Assistência, Escala 1: 10.000*. São Paulo, Coordenadoria de Ação Social/Divisão de Geografia. (Articulação da folha 066/090).

- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (1991). *Crterios de exigncia de EIA/RIMA e roteiros para sua elaborao em relao a usinas de reciclagem e/ou compostagem, aterros para resduos slidos domiciliares e industriais e incineradores: manual de orientao*. So Paulo, SP, SMA/CETESB. 35p. (Srie Manuais).
- SIVIERO, A. R. (1995). *Influncia da aplicao no solo do resduo lquido da indstria ctrica sobre fungos e bactrias e avaliao da sua toxicidade sobre Daphnia similis*. Rio Claro, 112p. (Dissertao - Mestrado) - Instituto Biocincias - Universidade Estadual Paulista.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER (1992). 18 ed. New York, APHA, AWWA, WPCF. 391 p.
- SUGUIO, K. (1973). Determinao das propriedades das rochas sedimentares em laboratrio. In: *Introduo sedimentologia*. So Paulo, Edgar Blucher. p. 26 - 174.
- SZIKSZAY, M. (1993). *Geoqumica das guas*. Boletim IG-USP. Srie Didtica, n. 5, p. 1 - 166.
- SZIKSZAY, M. (1995). Hydrogeochemical processes in the unsaturated zone under tropical climate (State of So Paulo, Brazil). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF IAH (Solutions 95), 26., Edmonton, 1995. *Proceedings*. Edmonton, IAH. p. 1084-1088.
- TANDEL, R. Y. (1993). *Caracterizao do arenito Pirambia da Fazenda So Joo em Analndia, SP, e sua utilizao industrial*. So Paulo, 77 p. (Dissertao - Mestrado) - Instituto de Geocincias, Universidade de So Paulo.

- TAVARES, A. C., PROCHNOW, C. A. C.; GROMONI, R. C. (1994): *Informes climáticos de Rio Claro - SP*. Rio Claro, UNESP/IGCE. 35p.
- TAVARES, A. C., PROCHNOW, C. A. C.; GROMONI, R. C. (1995): *Informes climáticos de Rio Claro - SP*. Rio Claro, UNESP/IGCE. 35p.
- TAVARES, A. C., PROCHNOW, C. A. C.; LAZARINI, J. A.; TOMBOLATO, J. O.; PENATTI, A. P. R. (1996). *Atlas climáticos de Rio Claro - SP*. Rio Claro, UNESP/IGCE. 50p.
- TAVARES, A. C., PROCHNOW, C. A. C.; AVERSON, D.; MAIA, D. C.; PEREZ, I. P. (1997). *Atlas climáticos de Rio Claro - SP*. Rio Claro, UNESP/IGCE. 50p.
- TOLEDO, M. C. M. ; SZIKSZAY, M. ; ALEXANDRE, G. A. L. ; HYPOLITO, R. AND CARVALHO, E. R. (1995). Experimental study of retention of Zn, Co, Cu and Pb in the unsaturated zone in the tropical climate.). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF IAH (Solutions 95), 26., Edmonton, 1995. *Proceedings*. Edmonton, IAH. p. 1081-1083.
- TROPPEMAIR, H. (1978). Aspectos geográficos. In: *Rio Claro Sesquicentenária*. Rio Claro, Museu Histórico e Pedagógico "Amador Bueno da Veiga", SCCT. p.75 - 87.
- ZAGATTO, P. A. (1988). Sensibilidade da *Daphnia similis*: controle de qualidade de culturas. *Ambiente: Revista Cetesb de Tecnologia*, v. 2, n. 2, p.79-83.
- ZAINE, J. E. (1994). *Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)*. Rio Claro, 90p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

ANEXOS

Anexo 1 - Análises físico-químicas do percolato, realizadas pela SPA - Sistemas de Proteção Ambiental Ltda..								
	18/abr./96	21/mai./96	23/jul./96	23/ago./96	27/set./96	25out./96	26/nov./96	23/dez./96
pH	8,02	7,70	8,07	7,67	7,55	8,15	6,81	7,53
Condutividade a 25 °C (µS/cm)	25976	53480	nd	22187	20108	15784	13248	nd
Alcalinidade de Hidróxidos (mg CaCO ₃ /l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Alcalinidade de Carbonatos (mg CaCO ₃ /l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg CaCO ₃ /l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Totais (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Totais Fixos (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Totais Voláteis (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Suspensos Totais (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Suspensos Fixos (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sólidos Sedimentáveis (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
D.Q.O. (mg O ₂ /l)	5880,0	4200,0	2579,7	2239,8	1959,8	2799,7	14000,0	2399,9
D.B.O. (mg O ₂ /l)	4000,0	nd	547,4	90,0	277,8	550,0	9333,3	875,5
Nitrogênio Total (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitrogênio Amoniacal (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Fósforo Total (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Alumínio (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Prata (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Arsênio (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Bário (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cádmio (mg/l)	0,015	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cromo (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cobre (mg/l)	0,028	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ferro (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	5,6	nd	38,0
Magnésio (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Manganês (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Níquel (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Chumbo (mg/l)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,150	< 0,05
Estanho (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Zinco (mg/l)	0,32	0,18	0,11	0,10	0,16	0,060	1,86	0,30
Mercurio (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Selênio (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
boro (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Anexo I - Análises físico-químicas do percolado, realizadas pela SPA - Sistemas de Proteção Ambiental Ltda..								
	02/abr./92	06/mai./92	07/mai./92	02/jun./92	07/jul./92	15/jan./96	16/fev./96	20/mar./96
pH	7,51	7,96	7,74	5,27	6,30	nd	nd	5,64
Condutividade a 25 °C (µS/cm)	3320,0	1330,0	nd	33180,0	21000,0	nd	nd	6112
Alcalinidade de Hidróxidos (mg CaCO ₃ /l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	nd	nd
Alcalinidade de Carbonatos (mg CaCO ₃ /l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	nd	nd	nd
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg CaCO ₃ /l)	2070,6	783,0	4350,0	9834,0	12766,2	nd	nd	nd
Sólidos Totais (mg/l)	5054,8	5653,6	9204,8	3736,0	22843,1	nd	nd	nd
Sólidos Totais Fixos (mg/l)	3506,4	1834,0	3671,0	2271,3	10806,7	nd	nd	nd
Sólidos Totais Voláteis (mg/l)	1548,4	3819,6	5533,8	1464,7	12036,4	nd	nd	nd
Sólidos Suspensos Totais (mg/l)	786,4	4536,7	80,7	1643,6	7528,5	nd	nd	nd
Sólidos Suspensos Fixos (mg/l)	51,8	1317,4	46,2	1157,3	1649,4	nd	nd	nd
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/l)	734,6	3219,3	34,5	486,3	5879,1	nd	nd	nd
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	4268,4	1116,9	9124,1	2092,4	15314,6	nd	nd	nd
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/l)	3454,6	516,6	3624,8	1114,0	9157,3	nd	nd	nd
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/l)	813,8	600,3	5499,3	978,4	6157,3	nd	nd	nd
Sólidos Sedimentáveis (mg/l)	0,7	2,0	0,7	0,6	0,1	nd	nd	nd
D.Q.O. (mg O ₂ /l)	322,0	176,0	6502,0	56000,0	23200,0	32208,0	20000,0	16570,0
D.B.O. (mg O ₂ /l)	190,0	12,0	5208,0	38300,0	12900,0	26900,0	18077,0	15833,0
Nitrogênio Total (mg/l)	4,2	101,0	252,0	1770,0	1120,0	nd	nd	nd
Nitrogênio Amoniacal (mg/l)	312,0	65,0	175,0	648,6	840,0	nd	nd	nd
Fósforo Total (mg/l)	20,0	0,8	2,6	174,0	32,5	20,0	nd	nd
Alumínio (mg/l)	0,563	3,310	3,660	1,190	6,960	nd	nd	nd
Prata (mg/l)	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	nd	nd	nd
Arsênio (mg/l)	< 0,015	< 0,015	0,043	0,023	0,045	nd	nd	nd
Bário (mg/l)	0,001	< 0,001	< 0,001	0,606	0,302	nd	nd	nd
Cádmio (mg/l)	0,023	< 0,002	0,037	0,057	0,083	0,025	0,026	0,030
Cromo (mg/l)	0,007	< 0,003	0,059	0,041	0,414	nd	nd	nd
Cobre (mg/l)	< 0,047	< 0,047	< 0,047	< 0,047	< 0,047	0,074	0,140	0,079
Ferro (mg/l)	0,812	3,362	64,702	2,672	197,502	459,7	nd	nd
Magnésio (mg/l)	8,250	5,090	42,100	3,080	84,300	660,0	nd	nd
Manganês (mg/l)	0,079	0,332	5,410	0,853	9,930	30,4	nd	nd
Níquel (mg/l)	< 0,058	< 0,058	< 0,058	< 0,058	< 0,058	nd	nd	nd
Chumbo (mg/l)	nd	nd	nd	< 0,050	1,998	0,040	0,458	0,432
Estanho (mg/l)	< 0,129	< 0,129	< 0,129	0,482	1,442	nd	nd	nd
Zinco (mg/l)	< 0,082	< 0,082	< 0,082	< 0,082	0,090	11,80	11,00	8,40
Mercurio (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Selênio (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
boro (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	3,0	nd	nd

Anexo 1 - Análises físico-químicas do percolado, realizadas pela SPA - Sistemas de Proteção Ambiental Ltda..							
	21/out./91	26/nov./91	04/dez./91	03/jan./92	04/fev./92	05/fev./92	13/mar./92
pH	7,13	6,90	7,68	7,70	7,99	7,20	7,60
Condutividade a 25 °C (µS/cm)	9605,0	8110,0	nd	4000,0	6350,0	420,0	3320,0
Alcalinidade de Hidróxidos (mg CaCO ₃ /l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidade de Carbonatos (mg CaCO ₃ /l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg CaCO ₃ /l)	2761,0	2622,0	3165,0	2017,0	2493,0	185,0	2888,4
Sólidos Totais (mg/l)	3412,7	8392,0	3493,4	2595,8	2577,1	650,8	2809,6
Sólidos Totais Fixos (mg/l)	2660,8	6207,7	2645,0	1316,0	1874,4	278,6	1629,3
Sólidos Totais Voláteis (mg/l)	751,9	2184,7	848,4	1279,8	702,7	372,2	1108,3
Sólidos Suspensos Totais (mg/l)	207,9	782,1	246,7	209,1	256,8	108,2	26,0
Sólidos Suspensos Fixos (mg/l)	160,1	676,7	168,9	53,3	187,6	23,2	21,9
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/l)	47,8	105,4	77,8	15,6	69,2	85,0	4,1
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	3204,8	7610,3	3246,7	2386,7	2320,3	542,6	2783,6
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/l)	2500,7	5531,0	2476,1	1262,7	1686,8	255,4	1607,4
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/l)	704,1	2079,3	770,6	1124,0	633,5	287,2	1176,2
Sólidos Sedimentáveis (mg/l)	0,8	0,0	0,0	0,6	0,1	0,0	5,0
D.Q.O. (mg O ₂ /l)	720,0	666,0	208,0	450,0	520,0	76,0	397,1
D.B.O. (mg O ₂ /l)	56,0	36,0	nd	41,0	50,0	5,0	27,0
Nitrogênio Total (mg/l)	727,2	686,0	nd	548,0	1540,0	13,7	328,0
Nitrogênio Amoniacal (mg/l)	480,2	475,4	nd	412,0	1473,0	3,4	205,0
Fósforo Total (mg/l)	5,3	6,6	nd	1,2	5,0	0,2	2,3
Alumínio (mg/l)	0,250	< 0,018	< 0,018	0,087	0,659	0,341	0,500
Prata (mg/l)	< 0,008	< 0,018	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Arsênio (mg/l)	< 0,015	0,013	< 0,018	< 0,015	0,037	< 0,015	0,033
Bário (mg/l)	< 0,001	0,029	0,006	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cádmio (mg/l)	< 0,002	0,039	0,014	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Cromo (mg/l)	< 0,003	0,023	0,032	< 0,003	0,023	0,063	< 0,003
Cobre (mg/l)	< 0,047	< 0,047	< 0,047	< 0,047	< 0,047	< 0,047	< 0,047
Ferro (mg/l)	0,222	1,180	1,490	0,774	0,952	< 0,025	2,122
Magnésio (mg/l)	14,400	25,200	26,800	17,480	11,000	2,420	9,380
Manganês (mg/l)	0,075	0,099	0,065	0,101	0,092	0,156	< 0,001
Níquel (mg/l)	< 0,058	0,063	0,064	< 0,058	< 0,058	< 0,058	< 0,058
Chumbo (mg/l)	nd	nd	nd	nd	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Estanho (mg/l)	< 0,129	< 0,129	< 0,129	nd	< 0,129	< 0,129	< 0,129
Zinco (mg/l)	< 0,082	< 0,082	< 0,082	< 0,129	< 0,082	< 0,082	< 0,082
Mercurio (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Selênio (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
nd = não detectado							

nd = não detectado

	22/out./90	19/nov./90	18/dez./90	09/abr./91	13/mai./91	06/jun./91 *	23/ago./91
pH	7,38	6,02	7,23	5,65	7,05	8,21	8,02
Condutividade a 25 °C (µS/cm)	4600,0	8295,5	nd	29200,0	8220,0	26840,0	11587,0
Alcalinidade de Hidróxidos (mg CaCO ₃ /l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidade de Carbonatos (mg CaCO ₃ /l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg CaCO ₃ /l)	1661,0	1919,0	2832,0	8672,1	3439,1	11337,1	4082,0
Sólidos Totais (mg/l)	4100,0	7590,0	9235,0	34411,3	13835,6	13409,8	4278,6
Sólidos Totais Fixos (mg/l)	2458,0	3605,0	4378,1	14271,1	3870,0	9513,7	3391,1
Sólidos Totais Voláteis (mg/l)	1642,0	3985,0	4857,8	20137,2	9965,6	3896,1	887,5
Sólidos Suspensos Totais (mg/l)	1830,0	290,0	479,8	545,4	6411,3	953,8	69,3
Sólidos Suspensos Fixos (mg/l)	633,0	73,0	439,1	243,8	199,0	699,9	44,7
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/l)	1197,0	217,0	40,7	301,6	6212,3	253,9	24,6
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	2270,0	7300,0	8756,1	33865,9	7424,3	12456,0	4209,3
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/l)	1825,0	3532,0	3939,0	14030,3	3671,0	8813,8	3346,4
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/l)	445,0	3768,0	4817,1	19835,6	3753,3	3642,2	862,9
Sólidos Sedimentáveis (mg/l)	nd	nd	0,5	1,1	0,4	0,2	1,2
D.Q.O. (mg O ₂ /l)	5423,0	8928,0	1250,0	54984,0	6150,0	4300,0	895,0
D.B.O. (mg O ₂ /l)	nd	nd	nd	29506,0	5028,0	1530,0	36,0
Nitrogênio Total (mg/l)	273,0	350,0	nd	1754,0	454,0	2389,0	878,0
Nitrogênio Amoniacal (mg/l)	232,0	161,7	nd	946,0	227,0	2162,0	675,7
Fósforo Total (mg/l)	6,5	13,2	nd	21,5	5,9	13,0	17,0
Alumínio (mg/l)	0,134	1,130	nd	5,500	4,380	1,670	1,750
Prata (mg/l)	< 0,008	< 0,008	nd	0,112	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Arsênio (mg/l)	< 0,015	0,033	nd	0,064	0,021	< 0,015	< 0,015
Bário (mg/l)	0,010	0,523	nd	0,026	< 0,001	0,656	0,035
Cádmio (mg/l)	0,011	0,045	nd	0,168	0,044	0,022	0,014
Cromo (mg/l)	0,012	0,130	nd	0,165	0,086	0,016	0,025
Cobre (mg/l)	< 0,047	< 0,047	nd	< 0,047	< 0,047	< 0,047	< 0,047
Ferro (mg/l)	6,052	102,892	nd	462,502	103,502	10,002	8,732
Magnésio (mg/l)	nd	nd	nd	180,000	53,600	54,700	16,100
Manganês (mg/l)	0,195	4,620	nd	17,000	3,790	0,322	1,080
Níquel (mg/l)	0,092	0,274	nd	< 0,058	< 0,058	< 0,058	< 0,058
Chumbo (mg/l)	< 0,058	0,366	nd	3,218	0,192	0,116	nd
Estanho (mg/l)	6,020	23,800	nd	1,322	4,802	0,142	< 0,129
Zinco (mg/l)	< 0,082	0,359	nd	6,070	< 0,082	< 0,082	< 0,082
Mercurio (mg/l)	0,021	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Selênio (mg/l)	0,032	nd	nd	nd	nd	nd	nd

* Em 22/julho/91 não havia chorume suficiente nd = não detectado

* Em 22/julho/91 não havia chorume suficiente nd = não detectado

Anexo 2 - Resultados dos caminhamentos eletromagnéticos indutivos (mS/m) realizados em nov/88 (S1) e mar/89 (S2) no aterro do município de Rio Claro - SP, pelo prof. Dr. Clóvis José (IGCE - UNESP).

Linha	num. do pontc	X	Y	Alt.	EM-J1 ELEV S1	EM-J1 ELEV S2	EM-J1 SOLO S1	EM-J1 SOLO S2	EM-J4 10H S1	EM-J4 10H S2	EM-J4 10V S1	EM-J4 10V S2	EM-J4 20H S1	EM-J4 20H S2	EM-J4 20V S1	EM-J4 20V S2	EM-J4 40H S1	EM-J4 40H S2	EM-J4 40V S1	EM-J4 40V S2
					4,5 m	4,5 m	5,5 m	5,5 m	7,5 m	7,5 m	15 m	15 m	15 m	15 m	30 m	30 m	30 m	30 m	60 m	60 m
0	1	125	95,2	584	10	9	10	8,5	18	18	10,5	11	34	30	22	22	40	34	30	32
0	2	125	105	583,5	12	12	5	14	18,5	19	10,5	11	33	35	22	23	35	35	32	32
0	3	125	115	583	10	9	6	6,5	18	17	10,5	12	32	37	21	23	34	34	31	32
0	4	125	125	583	10	10,5	11	34	20	16	11	12	33	36	21	23	37	36	31	30
0	5	125	135	583,5	12	12	13	13,5	19,5	18,5	11,5	11	34	38	21,5	23	32	38	31	31
0	6	125	145	584	12	13	11	16	18	18	12	13	32	35	22	22	30	30	32	31
0	7	125	152,3	584	10	11,5	11	12,5	20	27	13	14	33	35	23,5	22	33	30	33	39
2	8	135	95	583	8,5	8	8,5	12,5	18	16	13	10	34	32	20,5	22	37	35	31	32
2	9	135	105	583	11	11,5	11	13	20	17	10	11	33	34	21,5	22	36	32	31	34
2	10	135	115	583	11	10	14	11,5	22	17	11	16	33	38	26	23	44	32	32	36
2	11	135	125	583	10	5,6	11	11	20,5	18	12	11	32	33	20,5	22	39	29	31	31
2	12	135	135	583	10,5	10,5	9,5	11	20	18	10,5	11	33	40	21	23	33	30	31	30
2	13	135	145	583	11	10,5	9	11,5	17	17,5	12	13	32	30	22	22	30	33	32	31
2	14	135	152,3	583	10,5	13	10	12	21	24	16	19,5	32	37	23	22	28	34	32	31
3	15	145	95,2	582	7,5	7,5	7,5	7,5	19,5	17	12	9	35	33	21,5	20	39	34	30	30
3	16	145	105	583	10	9,5	9,5	10,5	17,5	15	10,5	10	32	33	21,5	21	33	34	31	31
3	17	145	115	582	8,5	9,5	9,5	10	18	16	11	11	32	31	20,5	21	30	33	29	31
3	18	145	125	582	8	10,5	10,5	12	18	17,5	10	10	34	32	21,5	22	33	36	30	31
3	19	145	135	582	9	9	9	9	18,5	18	11	9,5	35	37	21,5	23	32	28	31	30
3	20	145	145	582	10	9,5	9,5	8,5	17	18	14	10,5	31	33	22,5	22	35	35	30	30
3	21	145	152,3	582	10	13,5	13,5	19,5	19	22	12,5	21	32	32	23,5	22	32	34	31	36
4	22	155	95	582	8	8	9	8	18	15	9,5	8,5	32	31	19	20	34	35	32	30
4	23	155	105	582	9	9,5	10,5	9	17,5	15	10,5	9,5	29	31	19,5	20	34	31	32	30
4	24	155	115	582	8	9,5	9	11	16,5	11	10	9,5	27,5	31	18,5	20	42	38	32	29
4	25	155	125	582	10	10,5	10	11	22,5	17	10	9	31	31	19,5	21	37	34	32	30
4	26	155	135	582	9	9,5	9	10,5	19,5	18	11,5	9	32	37	20,5	21	30	35	32	30
4	27	155	145	582	9	10	10	10,5	19	19	11	10	33	35	20	21	32	35	33	30
4	28	155	155	582	10	12	11	20	19	23	14	15	30	35	21	21	33	32	33	30
5	29	165	95	581	8	7,5	8,5	8,5	15,5	14	7,8	7	28,5	28	18	20	34	30	32	30
5	30	165	105	581	8	8	7,5	10,5	15,5	16	9,4	8	30	27	19,5	19,5	34	30	32	30
5	31	165	115	581	8,5	10	8,5	13	13	14	7,8	8,5	24,5	29	18	20	42	34	32	29
5	32	165	125	581	6,5	6	5,5	4,5	18	19	8	9	25,5	32	18,5	20	37	28	32	29
5	33	165	135	581	9	9	9,5	9,5	17	17,5	10	9,5	33	35	20,5	21	30	28	32	30
5	34	165	145	581	9	8,5	10	9,5	17	17,5	9,5	9	32	34	20,5	20	32	30	33	29
5	35	165	155	581	10	11	11	13	18	21	10,5	11	32	37	21	22	33	37	33	29
6	36	180	91	581	8	8	8,5	8	14	15	7,4	7	28,5	29	18	19	39	33	31	29
6	37	180	101	581	8	8,5	8,5	8,5	14,5	15,5	8,4	8,5	30	31	19,5	19	36	33	31	29
6	38	180	111	581	8	8,5	8,5	9	13	14	9	8,5	24,5	34	18	19	32	35	32	29
6	39	180	121	581	8	8,5	8	8,5	13	12,5	7,8	11	25,5	31	18,5	19	33	34	31	29
6	40	180	131	581	9,5	9	10	9,5	17,5	17,5	8,8	10	33	33	20,5	21	29	34	32	29
6	41	180	141	581	9	9	10	10	17	17	8,6	10,5	32	31	20,5	20	36	34	32	28
6	42	180	151	581	9	9	8,5	9,5	18	19	10,5	10,5	32	32	21	21	36	35	32	28
6	43	180	156	581	11	11	11,5	12,5	17,5	19	17,5	10,5	32	32	21	21	33	36	32	29
7	44	195	90	581	8	7	8	7	12	13,5	7	7	24	25	15,5	17	35	30	28	28
7	45	195	100	581	9	7,5	9	10,5	13,5	13,5	7,8	8,5	25,5	30	17	18	33	36	30	28
7	46	195	110	581	9,5	8	10,5	8,5	13	14	8,6	8,5	29,9	30	17,5	18	27	36	29	28
7	47	195	120	581	8,5	8	9	7	13	12	8	9,5	33	31	18	19	33	36	29	28
7	48	195	130	581	10	9,5	10	10	13	16	8,6	9	33	32	19,5	21	33	32	31	29
7	49	195	140	581	9,5	8	10	9	14	18	8,8	10	35	32	20	21	30	35	32	29
7	50	195	150	581	11	9	11,5	9,5	15,5	17	9,5	10	34	31	20	21	33	32	31	30
7	51	195	155	581	10	10	11	11	15,5	19,5	9,5	10	34	34	21,5	21	27	26	32	28
8	52	215	86	580	8	8	8,5	8,5	11	11,5	6	6	25,5	24	16	17	30	26	28	28
8	53	215	96	580	10	10	10	11	13,5	15	9,5	5,5	26	25	16	17	34	34	28	28
8	54	215	106	580	9,5	9	11	9	16	13	9,5	9	27	29	17	18	34	30	30	28
8	55	215	116	580	9	9	10,5	9	13	13	8	9	27,5	30	17	19	33	29	29	27
8	56	215	126	580	9,5	8,5	10	9,5	14	13,5	9	9,5	26,5	28	17	19	34	28	30	28
8	57	215	136	580	9	9,5	10	10	14	17	9	9	32	31	17,5	18	27	30	29	28

Anexo 2 - Resultados dos caminhamentos eletromagnético indutivos (mS/m) realizados em nov/88 (S1) e mar/89 (S2) no aterro do município de Rio Claro - SP, pelo prof. Dr. Clóvis José (IGCE - UNESP).

Linha	num. do ponto	X	Y	Alt.	EM-31 ELEV S1	EM-31 ELEV S2	EM-31 SOLO S1	EM-31 SOLO S2	EM-34 10HS1	EM-34 10HS2	EM-34 10VS1	EM-34 10VS2	EM-34 20HS1	EM-34 20HS2	EM-34 20VS1	EM-34 20VS2	EM-34 40HS1	EM-34 40HS2	EM-34 60VS1	EM-34 60VS2
					4,5 m	4,5 m	5,5 m	5,5 m	7,5 m	7,5 m	15 m	15 m	15 m	15 m	30 m	30 m	30 m	30 m	60 m	60 m
9	60	235	82	580	9	8,5	8,5	9,5	13	12,5	7	8,5	22,5	24	14	17	38	24	27	27
9	61	235	92	580	10,5	10,5	17	11	13	12,5	8	8,5	22,5	26	15,5	17	30	32	27	27
9	62	235	102	580	9	9,5	10	10,5	13	13	8	9	29,5	25	16,5	18	36	28	29	27
9	63	235	112	580	9	8,5	9,5	9	12,5	16	8	8,5	29	28	17,5	18	29	35	28	27
9	64	235	122	580	9	8,5	10	9,5	15	14	7,5	8	28	28	17	18	30	30	28	27
9	65	235	132	580	9	8	9,5	9	16	14	8,5	8	28	28	17,5	18	31	33	30	28
9	66	235	142	580	8,5	9	8,5	8,5	13	16	9	9	28,5	28	17	18	32	39	29	27
9	67	235	152	580	9	9	9	10,5	14	16	9	9	28,5	28	17	18	32	30	30	27
9	68	235	157	580	9	8,5	9	9	14	16	9	9	28,5	28	17	18	32	30	30	27
10	69	255	80	580	9	5	9	4	15	10	7	8,2	26,5	25	15	18	30	30	27	27
10	70	255	90	580	9	10	9	11	14	14	8	9,5	28	29	12	18	33	32	27	27
10	71	255	100	580	9	9	10,5	9,5	14	15	8	8	27,5	32	16	17	26	31	27	27
10	72	255	110	580	8	10	9	10,5	13,5	14	9,5	8,5	31	32	14	18	25	29	20	27
10	73	255	120	580	8,5	9	6	9,5	13,5	14,5	7	8,5	29	30	17	20	27	32	28	27
10	74	255	130	580	9,5	8,5	10,5	8,5	15	16,5	8,5	9,5	32	28	17,5	18	26	32	28	28
10	75	255	140	580	9,5	9,5	10,5	9,5	14,5	15	8,5	10	31	28	17,5	20	35	31	29	28
10	76	255	150	580	9	9,5	9	9,5	15	15	8,5	9,5	27	27	17,5	19	26	31	30	25
10	77	255	155	580	9	10	9,5	9,5	15	15	8,5	9,5	27	27	17,5	19	26	31	30	25
11	78	300	75	578	7,5	8,5	7,5	8,5	12,5	12	6	8	26	26	16	17	33	27	28	28
11	79	300	85	578	8	8,5	9	8,5	12,5	13,5	8	7,5	27,5	30	16,5	17	35	32	28	28
11	80	300	95	578	8	8,5	8,5	9	14,5	14	8,5	7	28,5	32	17	18	30	34	27	26
11	81	300	105	578	7	9	9	10,5	12,5	15,5	8	9	27	32	17	19	29	30	30	26
11	82	300	115	578	8,5	8,5	9	8,5	15	18	9,5	10,5	26,5	29	18	20	29	34	29	28
11	83	300	125	578	9	10,5	9,5	11,5	16,5	21	11	13,5	27,5	30	18	19	30	32	28	28
11	84	300	135	578	9	11	9,5	11,5	16	21	11	14	27,5	29	19	20	30	28	27	28
11	85	300	145	578	10	11	10	13	16,5	21	11	15	28	29	18	22	29	20	26	28
11	86	300	155	578	10	11	10,5	13	16	21	11,5	15	27	29	18	22	27	20	26	28
12	87	375	62,5	575	9	9,5	9,5	9,5	13,5	16	8	9	31	29	19	20	29	34	28	30
12	88	375	72,5	575	10	9,5	10	9,5	16,5	17,5	10,5	9,5	31	33	19,5	19	23,5	34	28	28
12	89	375	82,5	575	10	9,5	10	9,5	16	17,5	11	10,5	28	35	19,5	19	29,5	30	28	30
12	90	375	92,5	575	10	10	10,5	10,5	17,5	17	10	10,5	31	30	18	20	29	34	27	28
12	91	375	102,5	575	10	9,5	10,5	10	15	16	9	10	30	30	17	20	26,5	26	25,5	22
12	92	375	112,5	575	9	9,5	10	11,5	16	19	8,5	10,5	26,5	30	16,5	18	24	22	23	22
12	93	375	122,5	575	9	12,5	9,5	13	13,5	22	9	10	23	30	14	19	23,5	35	22	30
12	94	375	132,5	575	10	12	12	12,5	13	10,5	6,5	11	27	29	15,5	18	21,5	24	22	30
12	95	375	142,5	575	9,5	10	11	10	16	17	8	9	20,5	23	14	16	21,5	24	20,5	25
12	96	375	152,5	575	8	9	9	10	15,5	17	7,5	8,5	18	23	12,5	16	23	21	16	20
12	97	375	157,5	575	8	9	8,5	10	14	15	6	8,5	18	19	12,5	15	28,5	18	20	22
LL03	98	45	200	588	6	5	6,5	5	6	7,2	3,2	3,8	15	15	7,6	8,5	20	20	14,5	15
LL03	99	55	200	587	6	5	6	5,5	6	7,2	3,8	3,9	15,5	15,5	8	8,5	20	19	14,5	15
LL03	100	65	200	587	6	5	6	5	6,8	7,4	6,2	4,2	16	16	8	9	20	21	14,5	16
LL03	101	75	200	586	6	5,2	6	6,4	7	8	3,6	4,4	15,5	16	8	8	20	19,5	14,5	16
LL03	102	85	200	586	6	5,4	6	5,4	6,6	8,2	3,8	4,8	16	16	8,5	8,5	22	20	14,5	16
LL03	103	95	200	586	6,2	5	6,2	5,8	7,6	8,8	3,8	5,4	15,5	15,5	9	8	20,5	20	14,5	16
LL03	104	105	200	585	6,2	5,2	6,3	5,8	10,5	9	4,4	4,6	16	16	9	9	20	20	14,5	16,5
LL03	105	115	200	585	6,5	5,6	6,6	6,2	8,2	9	4,4	5	16	17	9,5	9,5	20	20	15,5	16
LL03	106	125	200	585	6,5	5,8	6,7	5,8	8,6	10	4,8	5	17	17	9,4	9,5	19	20	16	16
LL03	107	135	200	584	6,6	6	6,7	6,2	9,4	10	4,6	5,4	17	18	9,8	10,5	20	20,5	16,5	16,5
LL03	108	145	200	584	6,8	6	7	5,6	11,5	10,5	4,6	5,5	17	18	10	10,5	19,5	19,5	16,5	16,5
LL03	109	155	200	584	7	6	7,2	7,6	9,5	11	5,2	5,4	17,5	18	10,5	10,5	19,5	20	17,5	17,5
LL03	110	165	200	583	7,2	6,4	7,4	6,8	10	11	5,4	5,8	18	17,5	10,5	10	20	20	17,5	17,50781
LL03	111	175	200	583	7,3	6,8	7,5	7,6	10,5	11	5,6	5,4	17	19	11,5	11,5	19,5	19,5	17	17,5
LL03	112	185	200	583	7,4	7,2	7	7,4	11	11	5,8	5,6	17,5	18,5	11,5	11	19	19,5	17	17,5
LL03	113	195	200	582	7	7,4	7	8,8	10	11	5,4	6,2	18,5	18	10,5	11	19	19,5	17	17,5
LL03	114	205	200	582	7,7	7,6	8	7,6	13	10,5	6,8	5,6	16,5	19,5	10,5	13	18	19,5	17	17,5
LL03	115	215	200	582	7,8	6,6	8,3	10,5	11,5	11	4,8	5,5	17	18,5	11	11	18,5	19,5	17	17,5
LL03	116	225	200	581	7,7	6,8	8,2	7	11	10,5	6,2	4,4	16,5	18	10	11	18	17,5	17	17,5

Anexo 2 - Resultados dos caminhamentos eletromagnético indutivos (mS/m) realizados em nov/88 (S1) e mar/89 (S2) no aterro do município de Rio Claro - SP, pelo prof. Dr. Clóvis José (IGCE - UNESP).

Linha num. do ponto X Y Alt. EM-31 ELEV S1 EM-31 ELEV S2 EM-31 SOLO S1 EM-31 SOLO S2 EM-31 10H S1 EM-31 10H S2 EM-31 10V S1 EM-31 10V S2 EM-31 20H S1 EM-31 20V S1 EM-31 40H S1 EM-31 40H S2 EM-31 40V S1 EM-31 40V S2																				
					4,5 m	4,5 m	5,5 m	5,5 m	7,5 m	7,5 m	15 m	15 m	15 m	15 m	30 m	30 m	30 m	30 m	60 m	60 m
LL03	119	255	200	580	7,3	6,2	7,5	7,8	10,5	8,8	5	4,6	15	16	9	10	17,5	16,5	16,5	17
LL03	120	265	200	579	7,3	6,2	6	6,6	10	8,6	4,8	4,2	14	17	7,5	10,5	16,5	18	16,5	16,5
LL03	121	275	200	579	7,1	6	7,4	7	9,2	7,6	4,8	4,2	13,5	16	8	10	18	16,5	15,5	16,5
LL03	122	285	200	579	7	6	7,3	6,2	9	7,7	4,2	4,2	14	15	8	9	16	17,5	13,5	15
LL03	123	295	200	578	6,9	5,8	7	6,6	8,6	7,6	4,6	4	14	15	7	9	16	15,5	13,5	14,5
LL03	124	305	200	578	6,7	5,8	7	6	8,8	7,5	4,2	4	12	14	7	8	15,5	16	12	14,5
LL03	125	315	200	577	6,5	5,4	6,6	8	8,2	7,7	4	3,8	11	14	6,6	7,4	14,5	15	12	13
LL03	126	325	200	576	6,4	5,2	6,5	6,6	7,6	7,8	3,8	4	10	12	6	7,4	15	15,5	12	12,5
LL03	127	335	200,5	576	6,2	5,2	6,4	8	8,6	7,4	4	3,8	8,8	12	5,4	7,4	15	14,5	11,5	11
LL03	128	345	201,5	575	6,1	5,2	6,2	5,6	6,8	6,8	3,4	4	8,2	10,5	4,8	6,2	13	13,5	11	11
LL03	129	355	202,5	575	6	4,6	6	6,6	6,2	6,2	4,2	3,6	7,8	10	4,4	6,2	13	12,5	10,5	10
LL03	130	365	204	574	5,8	4,8	5,8	5	6,2	5,8	5,8	3,4	7	9,6	4,2	5,8	12,5	12,5	9,2	9
LL03	131	375	205	573	5,6	4,6	5,6	9	5,4	5,2	2,4	3	6,4	9	3,8	5	12,5	13	8,6	8
LL03	132	385	206,5	573	5,4	4,6	5,5	4,4	4,8	4,8	2,6	2,8	6,4	8,3	3,4	5,2	12,5	12	8	8
LL03	133	395	208,5	572	5,4	4,6	5,5	9,6	4,4	4,4	2	2,8	6,2	7,6	3	4,6	12	12,5	7,6	7
LL03	134	405	209,5	572	5,4	4,8	5,5	4,8	4,2	4,2	2	2,8	6,6	7,3	2,8	4,6	11,5	12	7	7
LL03	135	415	212	571	5,6	4,8	5,6	8,2	3,8	4,4	2	2,5	6,6	7,3	2,8	4,2	11,5	11	6,5	6
LL03	136	425	215,5	570	5,6	5	5,8	5	4,4	4,5	2,2	2,6	6,6	7,3	3,2	3,2	12	12	5,8	6
LL03	137	435	217,5	570	5,7	5,2	6	6,2	4,6	4,6	2,6	2,8	6,8	7,8	3,2	3	12	12	5,8	6
LL03	138	445	220,5	569	5,9	6	6,1	6	5	5	3	2,8	7	7,3	4	3,8	12,5	12	6	6
LL03	139	455	223,5	569	6,1	6,5	6,4	10	5,4	5,6	2,8	3	8	7,3	4,6	3,6	12,5	12	6	6
LL03	140	465	227,5	568	6,6	7	6,9	7,6	5,8	5,6	2,8	3,6	8,6	7,5	5,6	4	13	12	6,6	6
LL03	141	475	232	567	7	6,6	7,4	9,5	6,4	7	3,4	4,5	10,5	8,4	7,4	7	12,5	12	7,4	8
LL03	142	485	236	566	7,4	8	7,7	8	7,6	6	4,2	4,5	13	10,5	10,5	6	13	12	8,8	8,5
LL03	143	495	241	565	7,9	8	8,7	22	9	9	5,4	5,5	17	12	15	9	14	13	10	11
LL03	144	505	247,5	565	5,8	9	9,4	10	10,5	10	6	7	24	14	19	13	14,5	13	13,5	13
LL03	145	515	253,5	565	9,2	9,5	9,8	16	14	13	7	7	35	18,5	25,5	15	14	13,5	17	17,5
LL03	146	525	259,5	564	9,5	9	10	10	16,5	14,5	10	9	43	25	34	21	12,5	12,5	22	23
LL03	147	535	266,5	564	9,5	10	10,5	19	16	14	9	9,5	51	32	40	27	11,5	17,5	30	30
LL03	148	545	273,5	563	9,8	10,5	10	11	14,5	14	11,5	10	58	46	43	32	10	10	38	40
LL03	149	555	281	562	9,6	11	10,3	18,5	14	13,5	10	11	60	57	45	38	15	9,5	48	45
LL03	150	565	288,5	561	10	11,5	11	14	16	16	11	12	62	59	47	42	9,3	10	56	55
LL03	151	575	296	560	11,5	12	12,5	14	18	19	12,5	14	64	52	48	41	22	8	63	65
LL04	152	15	35	590	10	9,5	10,5	10,5	-	15	-	9,4	-	32	9,5	20	-	36	-	30
LL04	153	25	35	590	9,5	9	10,5	15	-	14,5	-	8,5	-	33	11	20	-	35	-	30
LL04	154	35	35	590	9	8	9,5	9	-	14	-	7	-	33	8	20	-	36	-	30
LL04	155	45	35	590	8,5	8	11	24	-	13,5	-	7	-	32	6	20	-	36	-	30
LL04	156	55	35	590	8,5	7,6	8	7,2	-	11,5	-	7,5	-	28	8	20	-	35	-	30
LL04	157	65	35	590	8	7,2	6	32	-	12,5	-	7	-	30	11	20	-	40	-	30
LL04	158	75	35	590	8	7	8	6,8	-	11,5	-	7,2	-	30	7,5	18	-	40	-	25
LL04	159	85	35	590	7,5	6,8	11	34	-	14,5	-	7	-	28	8,5	18	-	40	-	25
LL04	160	95	35	590	7,5	7,2	7,5	7,2	-	11,5	-	6,5	-	28	8	17	-	40	-	30
LL04	161	105	35	590	7,5	6,6	8,5	22	-	15,5	-	7	-	28	8	16	-	36	-	28
LL04	162	115	35	590	7,5	7,4	8	6,8	-	11	-	6	-	28	8,5	18	-	40	-	26
LL04	163	125	35	590	7,5	6,8	8	31	-	8	-	6,5	-	27	8	17	-	45	-	28
LL04	164	135	35	590	7,5	7,2	8,5	9,4	-	11,5	-	6,5	-	28	8	18	-	40	-	30
LL04	165	145	35	590	8	7	8	7,8	-	12,5	-	5,5	-	28	9	18	-	35	-	30
LL04	166	155	35	590	8	7	8	6,8	-	11,5	-	6	-	27	8,5	18	-	35	-	26
LL04	167	165	35	590	8,5	7,6	9	28	-	11	-	6,5	-	28	8,5	17	-	34	-	40
LL04	168	175	35	590	8,5	7,5	8,5	8	-	12	-	6,5	-	27	8	16	-	30	-	28
LL04	169	185	35	590	8	7,4	8,5	9,4	-	12	-	6,5	-	27	8,5	16	-	35	-	28
LL04	170	195	35	590	8,5	7,8	8	7,8	-	11	-	6,5	-	27	9,5	17	-	35	-	30
LL04	171	205	35	590	8	7,4	8,5	31	-	12,5	-	7	-	26	8,5	17	-	32	-	28
LL04	172	215	35	590	8,5	7,6	9,5	8,6	-	11	-	6,5	-	28	7,5	16	-	35	-	28
LL04	173	225	35	590	8	7,2	8,5	60	-	11	-	7	-	27	10,5	16	-	35	-	28
LL04	174	235	35	590	8	7,4	7,5	9,6	-	8,4	-	8	-	27	8	16	-	30	-	28
LL04	175	245	35	590	9	7,8	10,5	24	-	8,8	-	6,4	-	26	7,5	16	-	32	-	28

Anexo 2 - Resultados dos caminhamentos eletromagnético indutivos (mS/m) realizados em nov/88 (S1) e mar/89 (S2) no aterro do município de Rio Claro - SP, pelo prof. Dr. Clóvis José (IGCE - UNESP).

Linha	num. do ponto	X	Y	Alt.	EM-31 ELEV S 1	EM-31 ELEV S 2	EM-31 SOLO S 1	EM-31 SOLO S 2	EM-34 10H S 1	EM-34 10H S 2	EM-34 10 V S 1	EM-34 10V S 2	EM-34 20H S 1	EM-34 20H S 2	EM-34 20V S 1	EM-34 20V S 2	EM-34 40H S 1	EM-34 40H S 2	EM-34 40V S 1	EM-34 40V S 2
					4,5 m	4,5 m	5,5 m	5,5 m	7,5 m	7,5 m	15 m	15 m	15 m	15 m	30 m	30 m	30 m	30 m	60 m	60 m
LL04	178	275	35	590	7,5	7,2	7,5	7	-	11	-	4,5	-	25	6,7	15	-	35	-	28
LL04	179	285	33	590	7,5	6	7,5	24	-	9	-	5	-	25	7	14	-	35	-	28
LL04	180	295	31,5	590	6,7	6	6,7	6	-	8,5	-	5,6	-	26	7	15	-	39	-	28
LL04	181	305	29	590	6,6	5,8	7	12	-	7,5	-	4,4	-	26	6,6	15	-	39	-	30
LL04	182	315	27	590	6,8	6	7	6	-	8,5	-	4,6	-	25	6,6	16	-	40	-	30
LL04	183	325	25	590	6,5	5,8	6,6	7,2	-	7,8	-	4,8	-	23	7,2	16	-	40	-	30
LL04	184	335	23	590	6,6	5,5	6,6	5,8	-	12,5	-	7,2	-	22	6,8	16	-	42	-	32
LL04	185	345	22	590	6,5	5,4	7,2	8,8	-	7,3	-	5	-	21	6,6	16	-	42	-	34
LL04	186	355	19,5	590	6,5	5,2	6,8	5,2	-	8,5	-	5,6	-	22	6	16	-	44	-	34
LL04	187	365	17,5	590	6,3	5,2	6,6	7	-	7	-	4,5	-	21	5,8	16	-	43	-	34
LL04	188	375	15,5	590	6,2	5	6	5	-	8,6	-	5,8	-	22	6,2	13	-	43	-	34
LL04	189	385	13	590	5,9	4,8	5,8	6	-	6,2	-	4	-	20	6,2	15	-	44	-	34
LL04	190	395	11,5	590	6	4,8	6,2	4,4	-	5,7	-	4,2	-	18	5	16	-	40	-	34
LL04	191	405	9,5	590	5,8	4,6	6,2	7	-	5,5	-	4,4	-	19	6	17	-	38	-	30
LL04	192	415	7,5	590	5,5	4,5	5	4,5	-	5	-	4,4	-	19	7	16	-	37	-	32
LL04	193	425	5,5	590	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LL04	194	435	3,5	590	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LL04	195	445	1,5	590	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LL04	196	455	-0,5	590	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LL04	197	465	-2,5	590	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LL04	198	475	-4,5	590	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LT01	199	5	155	590	5	7	5	8,5	8,8	11,5	5	4,6	20,5	25,5	12	9,5	30	34	23	16
LT01	200	5	145	590	6	8	6	10	9,4	15	4,8	6,2	21,5	28	11	10	30	36	23	18
LT01	201	5	135	590	7	9,5	7	10	10,5	16	4,8	6	20,5	27	11	11,5	32	37	20	19
LT01	202	5	125	590	8	9,5	8,5	13	10,5	16	4,4	5,4	21,5	26	10,5	12	32	37	20	20
LT01	203	5	115	590	8,5	7,5	9	8	11	12	4,4	5,2	20,5	22	10	11,5	30	33	19,5	20
LT01	204	5	105	590	8	6,5	7	7,5	9,6	11	4	5,1	20	22,5	9,5	12	28	30	18	22
LT01	205	5	95	590	6	6	6	6	8,6	10	4	5,2	18,5	21	9,5	12	27	34	18	23
LT01	206	5	85	590	5	6	5	6	8,6	9,5	4	6	18,5	23,5	9,5	13,5	27	30	18	22

LOCALIZAÇÃO DO IMÓVEL - S/ESCALA

ÁREA DO IMÓVEL = 44.242,16 m²
1,83 ALQUEIRE

LEGENDA

- Drenos de gás
 - Poço montante
 - ⊗ Poço jusante
 - Caixa de passagem (CP1)
 - ⊠ Poço de coleta
 - Drenos de líquido percolado
 - Drenos de água pluviais
 - Caminhamento eletromagnético
 - Caminhamento elétrico (LC1 - LC2)
 - Sísmica Refração (LS1 - LS2)
 - Sondagens (SP = Tipo SPT e ST = A Trado)
- 0 10 20 25 30 40 50 m
ESCALA
1:500

FIGURA 6 - MAPA GERAL DO ATERRO

Contribuição ao estudo da poluição provocada no aquífero freático e no solo pelo aterro controlado da cidade de Rio Claro - SP

Tese de Doutorado - IG - USP - 1998

Autor - Roque Yuri Tandel - Fone : 019 534 4042
Orientadora : Prof. Dra. Mária Szikszay