UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

O IMPACTO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
GERADO PELA DISPOSIÇÃO INADEQUADA DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE TATUÍ-SP

MANOEL GOMES DOS SANTOS FILHO

Orientador: Dr. Ricardo César Aoki Hirata

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

Examinadores: Dr^a Mara Akie Iritani

Prof. Dr. Osmar Sinelli

SÃO PAULO
2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**O IMPACTO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS GERADO PELA DISPOSIÇÃO
INADEQUADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
NO MUNICÍPIO DE TATUÍ-SP**

Manoel Gomes dos Santos Filho

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900007272

SÃO PAULO
2001

À minha família...

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata pela orientação nos momentos finais deste trabalho, além da compreensão e do incentivo nos momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. José Milton Benetti Mendes (*in memorium*) pelo incentivo e orientação no desenvolvimento inicial deste projeto.

Ao Geólogo Edilberto Bannwart, à SOLVAY INDUPA DO BRASIL S.A., e aos amigos que me ajudaram nas atividades de campo, análises químicas, interpretações dos resultados, elaboração dos desenhos, debates, críticas, e sugestões sempre muito valiosos;

Ao curso de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo por toda a infraestrutura colocada à disposição;

À Prefeitura Municipal de Tatuí (SP) por disponibilizar a área para estudo e as informações técnicas necessárias.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo de mestrado que recebi durante o início do programa de pós -graduação

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser realizado.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ANEXO	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações gerais	1
1.2 Objetivos	2
2 Classificação, características, disposição e decomposição dos resíduos sólidos	3
2.1 Classificação	3
2.2 Características	4
2.3 Disposição final do lixo	6
2.4 Decomposição dos resíduos	7
3 O aterro como fonte de contaminação	9
3.1 Produção do lixiviado	9
3.2 Contaminação da água subterrânea pelo lixiviado produzido	11
4 Revisão bibliográfica de estudos nacionais	14
5 Metodologia	17
5.1 Investigações Indiretas	17
5.1.1 Eletrorresistividade	17
5.1.1.1 Princípio do método	17
5.1.1.2 Resistivímetro	19
5.1.1.3 Técnicas de investigação	20
5.1.1.4 Interpretação	20
5.1.2 Eletromagnético indutivo	21
5.1.2.1 Princípio do método	21
5.1.2.2 Condutivímetros	23

	vi
5.1.2.3 Técnicas de investigação	24
5.1.2.4 Interpretação	24
5.2 Investigações Diretas	24
5.2.1 Sondagens e poços de monitoramento	24
5.2.1.1 Perfuração	25
5.2.1.2 Instalação	25
5.2.1.3 Desenvolvimento	26
5.2.1.4 Ensaios hidráulicos	27
5.2.2 Coletas e amostragens de água subterrânea para análises físico-químicas	28
5.2.2.1 Planejamento	28
5.2.2.2 Procedimentos de coleta e amostragem	28
5.2.2.3 Análises químicas	29
6 O vazadouro municipal de Tatuí	31
6.1 Descrição da Área	31
6.1.1 Localização	31
6.1.2 Histórico	32
6.1.3 A Atividade de disposição de resíduos na área	34
6.1.3.1 Problemas operacionais	34
6.1.3.2 Problemas sanitários	37
6.1.3.3 Problemas ambientais	37
6.1.4 Aspectos Físicos	40
6.1.4.1 Geomorfologia	40
6.1.4.2 Hidrografia	40
6.1.4.3 Clima	41
6.1.4.4 Vegetação	41
6.1.5 Geologia	41
6.1.6 Hidrogeologia	45
7 Resultados obtidos	46
7.1 Investigações geofísicas	46
7.1.1 Sondagens elétricas verticais – SEVs	46
7.1.2 Caminhamentos eletromagnéticos – CEMs	49
7.2 Hidrogeologia	53
7.2.1 O reconhecimento preliminar da área	53
7.2.2 A hidrogeologia local	55

	vii
7.2.3 As variações dos níveis d'água no tempo	61
7.3 Qualidade das águas subterrâneas	67
7.3.1 As variações das condutividades elétricas ao longo do tempo	67
7.3.2 Caracterização da composição química da água	72
7.3.3 Distribuição dos principais constituintes e da pluma de contaminação	77
8 Conclusão	80
Referências bibliográficas	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Seção esquemática do zoneamento Redox	13
Figura 5.1 - Resistivímetro	18
Figura 5.2 - Tipos de arranjos	18
Figura 5.3 - Condutivímetro	21
Figura 5.4 - Seção esquemática construtiva dos poços de monitoramento	26
Figura 6.1 - Localização do lixão de Tatuí	31
Figura 6.2 - Mapa geológico regional	44
Figura 7.1 - Localização das SEVs	46
Figura 7.2 - Localização dos caminhamentos eletromagnéticos	50
Figura 7.3 - Curvas de isocondutividades aparentes– EM 31	51
Figura 7.4 - Curvas de isocondutividades aparentes – EM 34	52
Figura 7.5 - Mapa cadastral	54
Figura 7.6 - Mapa de contorno da superfície do aquífero	56
Figura 7.7 - Mapa potenciométrico (06/agosto/2000)	58
Figura 7.8 - Mapa potenciométrico (03/dezembro/2000)	59
Figura 7.9 - Variações dos níveis d'água dos poços de monitoramento	63
Figura 7.10 - Variações dos níveis d'água dos poços de monitoramento: PMs 01, 02 e 04	64
Figura 7.11 - Variações dos níveis d'água dos poços de monitoramento: PMs-06, 08, 09, 10, 11	64
Figura 7.12 - Mapa de variações dos níveis d'água (06/agosto/2000 e 03/dezembro/2000)	65
Figura 7.13 - Seção esquemática do nível d'água abaixo do aterro	66
Figura 7.14 - Mapa de isocondutividade elétrica (06/agosto/2000)	68
Figura 7.15 - Mapa de isocondutividade elétrica (03/dezembro/2000)	69
Figura 7.16 - Variações das condutividades elétricas ao longo do tempo dos poços com valores acima de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$	70
Figura 7.17 - Diagrama de Piper	74
Figura 7.18 - Mapa de isoconcentrações de cloreto (06/agosto/2000)	75
Figura 7.19 - Mapa de isoconcentrações de sódio (06/agosto/2000)	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Disposição final do lixo no Brasil	3
Quadro 2.2 - Classificação dos resíduos pela sua origem	5
Quadro 2.3 - Variação na composição dos resíduos sólidos em São Paulo	6
Quadro 3.1 - Variações das quantidades representativas dos constituintes inorgânicos no lixiviado de aterros	9
Quadro 5.1 - Profundidades de investigação para o EM31 e EM34 (Geonics) em função do espaçamento e orientação das bobinas	23
Quadro 6.1 - Precipitações totais e médias mensais no período de 1996 a 2000	41
Quadro 7.1 - Precipitações diárias dos meses de julho 2000 a janeiro 2001	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Parâmetros analisados em cada campanha programada	28
Tabela 7.1 - Modelo geoeletrico final	48
Tabela 7.2 - Medições dos níveis d'água dos poços de monitoramento	60
Tabela 7.3 - Distribuição dos constituintes analisados na área de estudo	77

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS (SEVs)	89
ANEXO 2 - SEÇÕES LITOLÓGICAS E CONSTRUTIVAS	93
ANEXO 3 - ANÁLISES QUÍMICAS DAS ÁGUAS	106
ANEXO 4 - CORRELAÇÕES DE PEARSON	112

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi o de caracterizar o impacto na qualidade das águas subterrâneas gerado pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos no Vazadouro Municipal de Tatuí (SP). O empreendimento ocupa uma área de 14,87 ha, e iniciou o seu funcionamento em 1991, recebendo todo o lixo proveniente da cidade de Tatuí.

O uso dos métodos geofísicos eletrorresistivo e eletromagnético permitiram orientar a locação dos poços de monitoramento, bem como caracterizar o traçado das plumas contaminantes, confirmadas por 12 poços perfurados a trado de quatro polegadas de diâmetro e até vinte metros de profundidade. A água subterrânea foi amostrada e analisada em campanhas mensais durante o período de julho de 2000/a início de janeiro de 2001.

As sondagens elétricas verticais identificaram em toda a área a ocorrência de uma camada resistiva interpretada como um aquítarde, cuja superfície caracteriza o nível de base e de descarga das águas subterrâneas. Os caminhamentos eletromagnéticos, com o EM31, investigando profundidades até seis metros detectaram anomalias de condutividade elétrica relacionadas ao lixo enterrado e às plumas contaminantes. Já os resultados do EM34 não mostraram bons resultados, devido a influência da camada resistiva, interpretada como aquítarde, nas condutividades elétricas aparentes anômalas obtidas.

A potenciometria do aquífero está condicionada a pluviometria da região e às características fisiográficas do lixão, que o transformam numa grande superfície de infiltração das águas percoladas. Esta infiltração causa uma elevação dos níveis dentro e abaixo do lixão, e o impacto na qualidade das águas subterrâneas.

Hidroquimicamente é nítida a influência do lixo na qualidade das águas do aquífero. As águas em áreas não contaminadas são bicarbonatadas mistas, enquanto que aquelas afetadas pelo lixo, cloretadas sódicas. A condutividade elétrica, cloreto e o sódio são bons indicadores de contaminação do aquífero. O monitoramento das águas mostrou também que o lixiviado produzido durante os meses chuvosos eram mais salinos que aqueles dos mais secos.

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the impact caused by improper disposal of urban solid waste on the groundwater quality at the Tatuí Vazadouro Municipal, São Paulo State. The plant, which occupies about 150,000 square meters (14,87 ha), started working in 1991 and receives all the waste from the Tatuí Town.

Two geophysical methods - electrorresistivity and electromagnetic - provided information for the correct location of monitoring wells and allowed to outline the contaminant plumes, whose presence was confirmed by 12 wells drilling with a diameter of four inches and 20 meters deep. The groundwater was sampled and analysed between July 2000 and January 2001.

The vertical electrical drillings demonstrated the existence of a resistive layer spread through all the area and related to an aquitard, whose surfaces represents the base level and the discharge level of groundwater.

Electromagnetical pathways, performed with the EM31 at maximum depths of 6 meters, allowed to detect electrical conductivity anomalies related to the waste in subsurface, and also contributed for the identification of contaminant plumes that flow from the contamination sources to the discharge zones, according the groundwater flow direction. Nevertheless, the EM34 did not yield good results owing to the influence of the aquitard.

The potenciometry of the studied area is conditioned by the pluviometry of the region and the topographic surface of the landfill, which acts as a large area of infiltration for the rain water. This infiltration results in an elevation of the water table inside and below the disposed waste area, and also causes contamination of groundwater through percolation of the leachate.

The disposed waste influence on the groundwater quality is clearly visible. The non-contaminated water is bicarbonated mista, whereas the affected ones are sodic-chlorinated. Therefore, the main indicators of this contamination are electrical conductivity, chloride and sodium. Water monitoring also showed that the leachate produced during the rainy months was more saline than the one originated during the dry season.

1 Introdução

1.1 Considerações gerais

No Brasil, estima-se que entre 30 a 40% do abastecimento público e privado é feito por captações subterrâneas, através de milhares de poços tubulares e outras centenas de milhares de poços cacimbas escavados. No Estado de São Paulo, 74% dos núcleos urbanos utilizam-se de aquíferos no fornecimento total ou parcial de água potável para uso público, atingindo em algumas bacias na região oeste, cifras superiores a 90%.

A contaminação das águas subterrâneas por atividades antrópicas tem causado o abandono de muitos poços ou perdas de áreas importantes dos aquíferos. A situação é mais comum quando se lhe associa aquíferos pouco profundos e freáticos, devido a sua vulnerabilidade.

Estes aquíferos, rasos e freáticos, são extremamente explorados através de milhares de poços cacimbas escavados, e utilizados pelas populações rurais e urbanas que muitas vezes são desprovidas de saneamento básico.

Os lixões em áreas urbanas e rurais são uma das maiores fontes conhecidas de contaminação de águas subterrâneas. O lixo disposto está sujeito a lixiviação pela percolação das águas de chuvas e daquelas contidas no próprio resíduo, originando um líquido conhecido como lixiviado, percolado ou popularmente de chorume, que contém um grande número de espécies contaminantes inorgânicas e orgânicas. Soma-se a isso, a disposição de resíduos industriais e de serviços de saúde e de hospitais, que aumentam ainda mais a periculosidade e toxicidade devido à presença de metais pesados, solventes orgânicos e microorganismos patogênicos.

Esse lixiviado infiltra-se no solo atingindo a água subterrânea, alterando a sua qualidade físico-química e bacteriológica. O infiltrado sofre várias reações químicas, que são influenciadas pelos minerais que compõe o meio poroso; pelo grau de mistura que ocorre entre a solução contaminante e o ambiente da água subterrânea; pelas mudanças de temperatura e pressão, e em muitos casos; pela atividade microbiológica.

A disposição de resíduos sólidos de origem doméstica ou industrial tem sido causadora de inúmeros incidentes de contaminação das águas subterrâneas em nosso País, cujos mais sérios riscos ocorrem quando o empreendimento é praticado sem controle e onde a disposição de resíduos sólidos, envolvendo principalmente líquidos perigosos, é feita em locais não apropriados, em áreas hidrogeologicamente vulneráveis. Adicionalmente, nota-se também que em épocas passadas, devido ao

restrito conhecimento de muitos técnicos, vários resíduos foram enterrados para se evitar a contaminação de águas superficiais e a exposição ao ar livre. Hoje, muitas destas localidades estão causando a poluição de aquíferos.

Existem condições naturais que atuam para atenuação da contaminação, tais como diluição, dispersão, filtração mecânica, volatilização, atividade biológica, troca iônica e adsorção no solo. A limpeza de aquíferos é um procedimento caro, demorado e ainda com muitas restrições técnicas. A forte degradação das águas de um aquífero, principalmente por contaminantes persistentes e móveis, é encarada, ainda, como um fato irreversível, sobretudo em economias do Terceiro-Mundo, devido aos custos que ultrapassam a milhares de dólares.

E ainda, o aumento da população mundial implica no aumento do uso das reservas do planeta, da produção de bens e também da geração de lixo. Atrelado a isto, vem o aumento da poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas, e do ar, levando a um contínuo e acelerado processo de deterioração de nosso ambiente, com uma série de implicações na qualidade de vida de seus habitantes e nos seus bens naturais. Uma parcela significativa desta deterioração resulta do trato inadequado do lixo gerado.

1.2 Objetivos

O presente estudo teve como objetivo geral:

- a caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas gerado pela atividade de disposição de resíduos sólidos urbanos, numa área de 14,87 ha no Bairro de Americana, Município de Tatuí – SP.

Mais detalhadamente, este trabalho objetivou:

- caracterizar a geologia e hidrogeologia local, permitindo uma orientação para a determinação das camadas não saturadas e saturadas do solo e, da rocha impermeável;
- localizar as massas de lixo dispostas na área e delinear possíveis plumas de contaminação; e
- aplicar e testar técnicas geofísicas elétricas na caracterização de estudos dessa natureza.

2 Classificação, características, disposição e decomposição dos resíduos sólidos

O crescimento populacional e o aumento do grau de urbanização não foram acompanhados por medidas necessárias para dar ao lixo gerado um destino adequado (IBGE, 1992). São 241.614 toneladas de lixo produzidas diariamente no País, incluindo as várias origens de lixo, como do domiciliar, cuja geração é estimada da área em 90.000 t/dia. Do total 76% são lançados a céu aberto em lixões e apenas 24% recebem tratamento adequado (Quadro 2.1).

Quadro.2.1 –Disposição final do lixo no Brasil (IBGE ,1992)

DESTINO DO LIXO	QUANTIDADE (%)
Céu aberto	76
Aterro controlado	13
Aterro sanitário	10
Usina de compostagem	0,9
Usina de incineração	0,1

2.1 Classificação

Lixo é o resto das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente, apresentam-se sob estado sólido, semi-sólido ou semilíquido, com conteúdo líquido insuficiente para que este possa fluir livremente (ABNT,1987).

Assim, diante desta definição e, segundo IPT (1995), são várias as suas formas possíveis de classificação, como por exemplo:

- natureza física: seco e molhado;
- composição química: matéria orgânica e matéria inorgânica;
- riscos potenciais ao meio ambiente: perigosos, não inertes e inertes.

Esta classificação pelo risco ao meio ambiente é dada segundo a norma NBR-10004 (ABNT, 1987):

- resíduo classe I – perigosos: aqueles que apresentam periculosidade, conforme definição contida na norma citada, ou apresentem uma das seguintes característica: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;

- resíduo classe II – não inertes: aqueles que não se enquadram nas especificações da Classe I - perigosos, ou Classe III – inertes, ou seja, aqueles que podem apresentar propriedades como, combustibilidade, biodegradabilidade ou insolubilidade em água;

- resíduo classe III – inertes: sua definição se baseia nos resultados dos procedimentos estabelecidos pelas NBR-10005 (ABNT, 1987), NBR-10006 (ABNT, 1987), e NBR-10007 (ABNT, 1987); como exemplo podem ser citados os seguintes materiais: rochas, tijolos, vidros, certos plásticos e borrachas não-decompostos prontamente.

Neste trabalho será adotada uma classificação pela origem, como apresentado no Quadro 2.2, para que se tenha uma noção melhor do que se constituem os resíduos envolvidos neste estudo.

2.2 Características

Quanto às características do lixo, deve-se levar em conta as enormes diferenças regionais e populacionais dos municípios, como poder aquisitivo, condições climáticas, hábitos e costumes da população, e nível educacional. Estas características são representadas pela quantidade de lixo gerada, pela composição qualitativa e por seus aspectos físico-químicos e biológicos.

Segundo IPT (1995), o Brasil possui 4.974 municípios, incluindo o Distrito Federal. A maior parte destes 3.611 municípios possuem provavelmente até 20.000 habitantes num total de 18.569.041 habitantes, enquanto que os 21 maiores municípios possuem 34.082.226 milhões de habitantes.

Estima-se que os pequenos municípios com menos de 5.000 habitantes geram 2,5 t/dia de lixo com uma média de 500 g de lixo/pessoa/dia; enquanto municípios como São Paulo com 10.000 milhões de habitantes e 8.500 t/dia de lixo produzem uma média de 850 g de lixo/pessoa/dia.

Os resíduos sólidos urbanos em geral são considerados como estando na fase "sólida molhada". É heterogêneo, composto de uma grande variedade de materiais, cada um com suas características físicas e químicas próprias e que não estão na sua forma *in natura*, mas sim misturados com outros materiais.

Quadro 2.2— Classificação dos resíduos pela sua origem (IPT, 1995)

Domiciliar	Originado da vida diária das residências, constituído por restos de alimentos (tais como, cascas de frutas, verduras, etc.), produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens. Contém, ainda, alguns resíduos que podem ser tóxicos, tais como, pilhas, lâmpadas fluorescentes e frascos de aerossóis, e que estão presentes no lixo municipal em quantidades significativamente maiores com relação a outros resíduos potencialmente perigosos, principalmente, em cidades grandes.
Comercial	Aquele originado dos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como, supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes, etc. Este tipo de lixo tem um forte componente de papel, plásticos, embalagens diversas e resíduos de asseio dos funcionários, tais como, papéis toalha, papel higiênico, etc..
Público	São originados dos serviços de limpeza pública urbana, incluindo todos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, de galerias, de córregos e de terrenos e restos de poda de árvores, etc, e também, dos serviços de limpeza de áreas de feiras livres, constituídos por restos vegetais diversos, embalagens, etc.
Serviços de saúde e hospitalar	Constituem os resíduos sépticos, ou seja, que contém ou potencialmente podem conter germes patogênicos. São produzidos em serviços de saúde, tais como: hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde, etc.. São agulhas, seringas, gases, bandagens, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com prazos de validade vencidos, instrumentos de resina sintética, filmes fotográficos de raios X, etc.. Resíduos assépticos destes locais, constituídos por papéis, restos de preparação de alimentos, resíduos de limpezas gerais (pós, cinzas, etc.), e outros materiais que não entram em contato direto com pacientes ou com resíduos sépticos anteriormente descritos, são considerados como domiciliares.
Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários	Constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contém ou potencialmente podem conter germes patogênicos, trazidos aos portos, terminais rodoviários e aeroportos. Basicamente, originam-se de material de higiene, asseio pessoal e restos de alimentação que podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países. Também neste caso, os resíduos assépticos destes locais são considerados como domiciliares.
Industrial	Originado nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como, metalúrgica, química, petroquímica, papelaria, alimentícia, etc. O resíduo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros e cerâmicas, etc.. Nesta categoria, inclui-se a grande maioria do lixo considerado tóxico.
Agrícola	São resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, etc. Em várias regiões do mundo, estes resíduos já se constituem numa preocupação crescente, destacando-se as enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária intensiva. Também as embalagens de agroquímicos diversos, em geral altamente tóxicos, têm sido alvo de legislação específica, definindo os cuidados na sua destinação final e, por vezes, co-responsabilizando a própria indústria fabricante destes produtos.
Entulho	Resíduos de construção civil: demolições e restos de obras, solos de escavações etc. O entulho é geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento.

Esses resíduos são formados em sua grande maioria por lixos de origem domiciliar, possuindo também em sua composição lixos comerciais, público, serviços de saúde e hospitalar, portos, aeroportos e terminais rodo-ferroviários, e entulhos (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 – Variação na composição dos resíduos sólidos em São Paulo (IPT 1995)

TIPOS DE MATERIAL	QUANTIDADE (%)
Papel, papelão	14,4
Trapo, couro	4,50
Plástico	12,0
Vidro	1,10
Metais, latas	3,20
Matéria orgânica	64,4

Os aspectos físicos são expressos por características como: teor de umidade, densidade e poder calorífico. Enquanto os químicos são expressos pela sua carga orgânica, como também pelos teores dos elementos carbono, enxofre, nitrogênio, potássio e fósforo presentes no lixo.

2.3 Disposição final do lixo

Várias são as formas de disposição final do lixo, tais como lançamento a céu aberto, descartado em lixões (quando lançados em terrenos públicos, baldios ou encostas ou cursos d'água) em aterros controlados e em aterros sanitários.

A disposição final do lixo poderá ainda sofrer melhorias através de tratamentos que visam reduzir a quantidade e periculosidade do material. As vantagens destes tratamentos são de ordem ambiental e econômica. A necessidade do tratamento do lixo surge devido a escassez de áreas para a destinação final do lixo; disputa pelo uso das áreas remanescentes com as populações da periferia; valorização dos componentes do lixo como forma de promover a conservação de recursos; e a inertização de resíduos sépticos.

O tratamento do lixo pode ser feito pela segregação dos diversos componentes visando a sua reciclagem e compostagem com consequente redução no volume enterrado; e também pode ser incinerado visando sua redução e inertização, se possível com recuperação de energia.

A forma de disposição em lixões consiste na disposição final inadequada de resíduos sólidos, que se caracterizam pela simples descarga sobre o solo a céu aberto, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública (ABNT, 1989).

Os resíduos dispostos dessa forma provocam danos à saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, e etc.), geração de maus odores, e principalmente, a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas através do chorume ou percolado.

Soma-se a isto a disposição de resíduos industriais e de serviços de saúde e hospitalares, aumentando ainda mais a periculosidade e toxicidade, através de metais pesados, solventes orgânicos e agentes patogênicos. A disposição clandestina de substâncias tóxicas é comum em muitas regiões, dificultando uma avaliação precisa dos perigos, associada a incerteza na qualidade do chorume produzido.

Um aterro controlado possui técnicas que visam não causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Esta forma de disposição utiliza-se de princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada inerte na conclusão de cada jornada de trabalho (ABNT, 1985). Esta forma de disposição produz uma poluição localizada; contudo, geralmente não possui uma camada impermeável inferior, o que compromete a qualidade das águas subterrâneas, e nem sistemas de tratamento de chorume ou de dispersão de gases gerados.

O método é classificado como aterro sanitário quando a disposição dos resíduos é feita atendendo a critérios de engenharia e normas técnicas específicas, tais como as CETESB (1979), NBR-8419 (ABNT, 1985), e NBR-8849 (ABNT, 1985).

2.4 Decomposição dos resíduos

Os resíduos sólidos depositados degradam-se quimicamente e biologicamente, produzindo produtos sólidos, líquidos e gasosos.

A produção e a composição dos líquidos percolados e dos gases produzidos no sistema de aterro dependem de vários fatores inerentes à hidrogeologia da área, da idade do aterro, da qualidade e da quantidade de lixo disposto e do clima.

A decomposição do material orgânico disposto nos aterros sanitários basicamente ocorre através de três classes de estabilização, ou seja, aeróbia, anaeróbia acidogênica e anaeróbia metanogênica (CETESB, 1993).

Na fase aeróbia, o oxigênio presente no ar, que está contido nos interstícios da massa de resíduos aterrados, é totalmente consumido. Nesta fase, a temperatura da massa disposta aumenta e como produtos de reações intermediárias são formados dióxido de carbono (CO_2), água, nitratos e nitritos.

Na fase anaeróbia acidogênica, o oxigênio contido na massa disposta esgota-se, os organismos facultativos e anaeróbios começam a predominar, dando continuidade ao processo de decomposição da matéria orgânica, porém de forma mais lenta do que na primeira fase. Na ausência de oxigênio, as bactérias transformam os compostos orgânicos complexos (carboidratos, gorduras, e proteínas) em substâncias orgânicas mais simples (ácido acético, fórmico, butírico, etc), ocorrendo também a formação de CO_2 e de gás hidrogênio (H_2).

A terceira fase é caracterizada pela presença de bactérias metanogênicas, que transformam o substrato da fase anterior, numa velocidade de reprodução bastante inferior à das bactérias acidogênicas. Além disso, tem-se uma redução gradativa da quantidade de gás carbônico e paralisação na produção de hidrogênio.

3 O aterro como fonte de contaminação

3.1 Produção do lixiviado

O lixo disposto em lixões ou aterros está sujeito a lixiviação pela percolação das águas derivadas das chuvas e contidas no próprio resíduo. O líquido derivado deste processo é conhecido como lixiviado, e o Quadro 3.1 indica que este contém um grande número de espécies contaminantes inorgânicos.

Quadro 3.1- Variações das quantidades representativas dos constituintes inorgânicos no lixiviado de aterros (FREEZE & CHERRY, 1979)

PARÂMETROS	Quantidades representativas (mg / L)
K ⁺	200 – 1000
Na ⁺	200 – 1200
Ca ²⁺	100 – 3000
Mg ⁺	100 – 1500
Cl ⁻	300 – 3000
SO ₄ ²⁻	10 – 1000
Alcalinidade	500 – 10000
Fe ³⁺	1 – 1000
Mn ²⁺	0,01 – 100
Cu ²⁺	< 10
Ni	0,01 – 1
Zn ²⁺	0,1 – 100
Pb ²⁺	< 5
Hg	< 0,2
NO ₃ ⁻	0,1 – 10
NH ₄ ⁺	10 – 1000
P como PO ₄ ³⁻	1 – 100
Nitrogênio orgânico	10 – 1000
Carbono orgânico total dissolvido	200 – 30000
Demanda química de oxigênio	1000 – 90000
Sólidos totais dissolvidos	5000 – 40000
PH	4 – 8

Os constituintes orgânicos também podem estar presentes, muitos deles originados de substâncias tóxicas de resíduos líquidos e sólidos industriais lançados no aterro, ou produzidos pela lixiviação destes e outros itens manufaturados.

As características físico-químicas do lixiviado são influenciados de acordo com sua zona de ocorrência, são elas:

- o aterro, incluindo o resíduo e o material geológico de cobertura;

- os depósitos geológicos da base do resíduo, onde suas interações com o percolado podem alterar significativamente sua composição;
- os depósitos geológicos ao longo do caminho do fluxo das águas subterrâneas contaminadas, onde os processos físicos e bioquímicos podem alterar as características do lixiviado como movê-lo através do aquífero.

Numa investigação do lixiviado do aterro de Borden, Ontário, Canadá; FARQUHAN (1979 *apud* NICHOLSON *et al.* 1983) utilizou piezômetros multiníveis instalados em diferentes localizações, com filtros localizados na base do resíduo, e num mesmo furo foi instalado outro piezômetro com seu filtro a aproximadamente 1,6 metros abaixo desta base, já no depósito geológico. Neste sistema multinível verificou-se que a concentração de muitos dos constituintes do lixiviado do piezômetro abaixo da base do resíduo foram encontradas muito abaixo das concentrações observadas no outro piezômetro, mesmo que separados por 1,6 metro de profundidade.

E em outra investigação no mesmo aterro, WIDEMAN (1980 *apud* NICHOLSON *et al.* 1983), também, utilizando instrumentação de amostragens em poços multiníveis instalados no depósito geológico abaixo do resíduo, verificou que as concentrações dos constituintes químicos do lixiviado foram diferentes entre amostras de mesma profundidade, porém, distantes por apenas dois metros. Portanto, concluiu, que o lixiviado não é homogêneo, e que esta não-homogeneidade poderia causar apreciáveis variações na composição química das águas subterrâneas no aquífero diretamente abaixo do resíduo.

Dentro do aterro os microorganismos são abundantes e ativos devido à presença de matéria orgânica e, com exceção de um breve período imediatamente após o lançamento dos resíduos, que ainda favorece condições aeróbicas; a decomposição microbiológica no aterro tende a ser anaeróbica, pois a difusão do oxigênio nas porções profundas do aterro não pode manter-se ao passo da demanda de oxigênio. A decomposição microbiológica da matéria orgânica no sistema livre de oxigênio resulta no abaixamento eletroquímico ou potencial redox, que é um importante parâmetro no desenvolvimento da composição do lixiviado (CHERRY, 1994).

Os lixiviados possuem altas concentrações da maioria dos sais de cloreto e sulfato e das espécies reduzidas, NH_4^- , Mn^{2+} , Fe^{2+} , S^{2-} , e CH_4 . Todos estes constituintes são observados em concentrações elevadas, logo abaixo do resíduo, e são produtos de processos químicos como a lixiviação direta e alta solubilidade dos íons de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , e Mg^{2+} , e reduções químicas dentro do resíduo.

As altas concentrações destes constituintes facilmente solúveis decrescem facilmente com o tempo após o encerramento das operações do aterro, como também podem aumentar consideravelmente se houver um maior contato com águas de infiltração e/ou com aumento da disposição do resíduo.

NICHOLSON *et al.* (1983) cita que as concentrações de sulfato, além de se originarem da dissolução dos diversos materiais depositados na forma de entulhos de construção civil, são provenientes da queima de resíduos que é muito comum nas áreas de aterros, com isto o enxofre do material orgânico como dos restos de comida, madeira e papel, são oxidados para sulfatos durante esta queima.

O nitrogênio orgânico no resíduo, principalmente dos restos de comida, é a provável fonte de NH_4^+ no lixiviado, sendo a amônia a mais comum das espécies nitrogenadas inorgânicas dissolvidas nos lixiviados.

Manganês e ferro são originados dos resíduos metálicos, mas as camadas geológicas oxidadas da cobertura podem ser uma importante fonte destes constituintes.

A geração de sulfeto provém da redução das altas concentrações de sulfato dos resíduos do aterro. Esta redução do sulfato a sulfeto é atribuída principalmente à atividade microbiológica, com subsequente precipitação de metais.

Já o metano, também é um produto comum e é importante devido a explosões perigosas em construções sobre antigos aterros, ou próximas a estes. A formação de metano, entretanto, usualmente ocorre durante o segundo estágio de decomposição orgânica no aterro.

3.2 Contaminação da água subterrânea pelo lixiviado produzido

O lixiviado ao atingir a água subterrânea tenderá a estabelecer um estado de equilíbrio neste sistema através de várias reações químicas. Este equilíbrio será alcançado como resultado de vários processos químicos, tais como: precipitação, dissolução, oxi-redução, hidrólise, complexação, troca iônica, etc.

As reações são influenciadas pelos minerais que compõe o meio poroso; pelo grau de mistura que ocorre entre a solução contaminante e o ambiente da água subterrânea; pelas mudanças de temperatura e pressão, e em alguns casos, pela atividade microbiológica.

As composições químicas das águas naturais são representadas primeiramente pelos íons maiores, também denominados constituintes maiores: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , e HCO_3^- , e pelos menores: K^+ , Fe^{2+} , H_2S , e NO_3^- , e também, pelos constituintes traços. Qualquer alteração da composição química destas águas caracteriza um impacto na sua qualidade, que são normalmente estabelecidas pelas regulamentações e guias de qualidade das águas subterrâneas dos vários órgãos competentes.

As reações que envolvem esses constituintes normalmente determinam a força iônica, pH e o *status* redox da água subterrânea. Estes parâmetros possuem uma influência importante nos processos químicos de muitos dos contaminantes inorgânicos tóxicos.

Um importante controle sobre a distribuição das espécies, ou seja, desde a produção do lixiviado até a sua mobilidade na água subterrânea, é dado pelos processos de oxiredução que são reações envolvendo a transferência de elétrons entre os constituintes sólidos, líquidos e gasosos dissolvidos. Como resultado desta transferência de elétrons há mudanças nos estados de oxidação dos reagentes e dos produtos, não havendo elétrons livres, assim toda oxidação é acompanhada por uma redução e vice-versa, de tal forma que o balanço elétrico é sempre mantido.

Para se ter uma idéia da importância desse controle redox, tem-se que dos 18 constituintes inorgânicos que possuem concentrações limites máximas permitidas ou recomendadas pelos órgãos competentes, 9 destes possuem mais que um possível estado de oxidação na água subterrânea. São eles: As, Cr, Fe, Hg, S. Dois elementos, o N e S também incluídos nos guias de qualidade de águas potáveis, ocorrem em várias formas moleculares e iônicas. Dos elementos restantes listados nesses guias, os elementos Ag, Cu, Cd, e Zn são fortemente influenciados pelos processos redox mesmo possuindo apenas um estado de valência em sistemas aquosos. E os únicos elementos listados que são relativamente insensíveis às condições redox são Cl, F, Ba, e Ra, embora em alguns sistemas, mesmo o Ba e o Ra são influenciados indiretamente por estas condições (CHERRY, 1984).

Os efeitos dos processos físicos nos contaminantes também se fazem presentes, o lixiviado ao atingir o sistema de água subterrânea estará sujeito aos processos físicos, tanto como aos processos químicos enquanto são transportados ao longo do fluxo subterrâneo. Os principais processos físicos atuantes são a advecção e a dispersão hidrodinâmica. A advecção é um processo hidráulico pelo qual o soluto é carregado pelo fluxo das águas de subsuperfície, sob o efeito apenas deste processo, a

circulação de contaminantes se igualaria à velocidade linear média das águas subterrâneas. Já a dispersão hidrodinâmica é um fenômeno em que o contaminante durante seu movimento em subsuperfície, mistura-se com as águas não contaminadas, causando a diminuição na concentração original, e que pode ser decomposta em longitudinal quando acompanha as linhas de fluxo, e transversal quando perpendicular, causando o espalhamento da pluma.

Diante dos principais processos pode-se estabelecer uma seção esquemática do zoneamento redox desenvolvida a partir da infiltração dos lixiviados de aterros (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Seção esquemática do zoneamento Redox (BAEDECKER & BACK, 1979a apud APPELO & POSTMA, 1993).

A decomposição do material rico em matéria orgânica de resíduos domésticos, detritos e descartes químicos, entram em contato com o aquífero oxigenado, removendo inicialmente o oxigênio dissolvido e o nitrato da mistura com a água subterrânea. Grandes quantidades de CO_2 são produzidas, que frequentemente provocam o aumento da dissolução do carbonato e aumento da alcalinidade. Subseqüentemente, os óxidos de manganês e ferro nos sedimentos são reduzidos, liberando quantidades de íon ferroso. E a seqüência continua através da zona de redução do sulfato e termina na zona em condições de produzir metano (APPELO & POSTMA, 1993).

4 Revisão bibliográfica de estudos nacionais

Conforme observado por HASSUDA (1997) até o início da década de setenta, um cidadão preocupava-se com o lixo até o momento em que o caminhão de coleta o removia de sua residência. Em vários países esta visão tem-se modificado e muitas pessoas tem questionado o destino e os efeitos que o lixo pode causar ao ambiente.

A partir deste questionamento, já durante a década de oitenta, muitas entidades de pesquisa e controle ambiental produziram relatórios e publicações científicas sobre os efeitos a curto e longo prazo, causados pela prática de disposição de resíduos no solo. Dentre os trabalhos produzidos tem-se alguns de interesse relevante para este estudo, como:

PARISOT *et al* (1985) executaram um monitoramento das águas subterrâneas a jusante do aterro sanitário de Taubaté com a instalação de 36 poços de observação. No ambiente hidrogeológico estudado, a condutividade, o sódio, o cloreto e o nitrogênio amoniacal constituíram indicadores da poluição pelo lixo.

ELLERT *et al* (1986) indicam a aplicabilidade de métodos geofísicos, tais como a eletrorresistividade, principalmente em seu procedimento de caminhamento elétrico e eletromagnético indutivo, como procedimentos indiretos, para fins de locação da extensão de aterros sanitários e deposição de vinhoto.

MENDES (1987) descreveu a aplicação dos métodos geofísicos de eletrorresistividade e eletroindutivo, ambos através de sondagens (elétricas e eletromagnéticas) e de caminhamentos (elétricos e eletromagnéticos), para mapear e monitorar a poluição e contaminação de águas subterrâneas, especialmente nos casos de aterros sanitários localizados nos municípios de Taubaté, São José dos Campos e Novo Horizonte. Ainda em seu trabalho, apresentou um estudo comparativo entre os métodos concluindo que estes são adequados ao estudo da poluição subterrânea.

GUIGUER (1987) que aplicou uma metodologia de integração entre modelagem matemática e trabalhos de campo para avaliar o impacto de aterros sanitários sobre a qualidade das águas subterrâneas.

GREENHOUSE *et al* (1987) retrataram o progresso da evolução dos equipamentos geofísicos para medir condutividade dos terrenos e, exemplificam com os levantamentos geofísicos efetuados no aterro municipal de Taubaté e aterro municipal de Novo Horizonte, concluindo que essa evolução é extremamente benéfica para a exploração da água subterrânea.

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 vários métodos geofísicos de prospecção na região de São Carlos - SP, com a finalidade de se determinar a presença e extensão de qualquer nuvem poluente advinda da deposição de lixo urbano em uma antiga voçoroca. Concluíram esses autores, que os métodos geofísicos se revelaram de grande aplicabilidade no caso específico de São Carlos, para atingir a finalidade do trabalho.

GONÇALVES *et al* (1992) fizeram a determinação da direção de fluxo da água do lençol freático que percola o aterro sanitário de São Carlos, através da construção de piezômetros e medidas diretas dos níveis d'água em cada um deles, com a obtenção da superfície potenciométrica.

SCUDINO *et al* (1992) com o intuito de avaliar a possibilidade de poluição dos aquíferos em áreas do embasamento cristalino com espesso manto de intemperismo, tendo em vista a implantação de um aterro sanitário para disposição de resíduos sólidos, estudou o fluxo e a qualidade das águas de infiltração. Esses estudos objetivaram a elaboração de um plano de monitoramento da qualidade dessas águas, no eventual risco de poluição.

COSTA & FERLIN (1993) aplicaram os métodos de eletrorresistividade (SEV) e eletromagnético EM34, na detecção e monitoramento de dois depósitos de lixo no estado do Rio Grande do Sul. Realçaram a rapidez com que se obtém informações para monitoramento da pluma em relação aos métodos convencionais (coleta e análise das águas de poços de monitoramento).

COSTA & SANTOS (1995) realizaram um estudo hidrogeológico preliminar a fim de detectar possíveis níveis de poluição das águas subterrâneas no entorno da área do lixão de Muribeca, situado na Região Metropolitana de Recife, revelando uma contaminação restrita na área aluvionar porosa situada nas proximidades do lixão.

DEHAINI (1995) utilizou o método de eletrorresistividade e o eletromagnético indutivo para detectar a poluição no aquífero provocado pelo lixão do município de Diadema-SP. 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.

TANDEL (1998) estudou a poluição provocada no aquífero freático e no solo pelo lixão de Rio Claro (SP) posteriormente transformado em aterro controlado. Para isto aplicou vários métodos geofísicos para determinação do fluxo d'água, da pluma de contaminação e geometria do aterro; além, de análises químicas de amostras d'água subterrânea, percolado (chorume), e solo incluindo caracterização granulométrica e mineralógica em vários horizontes para mensurar a contaminação pelo percolado. Assim, concluiu que apesar do grande potencial poluidor, o aquífero freático não está sendo contaminado de maneira significativa e, que no solo tem ocorrido a degradação quase que total do percolado, além da pluma de contaminação estar circunscrita à área do aterro; desta forma indicando um impacto ambiental pequeno e restrito.

5 Metodologia

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o problema da disposição inadequada de resíduos sólidos, incluindo a classificação, características, formas de disposição, e como essa prática reagiria com os depósitos geológicos ao longo do fluxo d'água subterrânea e afetariam a qualidade águas.

Concomitantemente a esta etapa, foram realizadas atividades de campo, que objetivaram o levantamento geológico de superfície, inspeção das áreas do empreendimento e circunvizinhanças, levantamento do histórico de uso e ocupação do aterro, e de feições hidrogeológicas locais. Especial atenção foi dada aos relatórios disponíveis no Departamento de Obras e Viação da Prefeitura de Tatuí (DOV/PMT).

E ainda, a descrição da atividade de disposição de resíduos sólidos na área, quanto aos seus problemas operacionais, sanitários e ambientais, foi integrada a todas as informações obtidas anteriormente.

5.1 Investigações indiretas

As investigações indiretas compreenderam a aplicação de métodos geofísicos, que é uma metodologia que estuda o comportamento dos materiais do subsolo a partir de medidas indiretas de suas propriedades físicas. Neste estudo foram aplicados os métodos da eletrorresistividade e eletromagnético indutivo

5.1.1 Eletrorresistividade

5.1.1.1 Princípio do método

A eletrorresistividade é um método geofísico que utiliza a propriedade física da resistividade elétrica para identificação dos materiais do subsolo. Ela expressa a maior ou menor facilidade com que a corrente flui pelo material e depende da natureza e estado físico do corpo considerando. Com base neste princípio, o método consiste em enviar através do solo uma corrente elétrica e medir a diferença de potencial provocada por esta corrente entre dois pontos da superfície.

Para isto utiliza-se um quadripolo AMNB que constitui-se de um arranjo com quatro eletrodos cravados no solo. Dois destes eletrodos, denominados de AB ou eletrodos de corrente, têm a função de introduzir corrente elétrica no subsolo, enquanto

através dos outros dois denominados de MN ou eletrodos de potencial, mede-se a diferença de potencial devido à corrente elétrica gerada (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Método eletrorresistivo (BRAGA, 2000)

O que se obtém é a resistividade aparente, que é uma espécie de medida das resistividades verdadeiras dos diferentes terrenos do subsolo percorridos pela corrente elétrica no instante da medida. A resistividade aparente também depende do arranjo do quadripolo e do comprimento da linha AB no momento da leitura. Os tipos de arranjo mais utilizados são o *Wenner* e *Schlumberger*, esquematizados na Figura 5.2.

Figura 5.2 - Tipos de arranjos mais utilizados

O arranjo *Schlumberger* foi o utilizado neste estudo, e a resistividade aparente é dada pela fórmula:

$$\rho_a = \pi \frac{AM \times AN}{MN} \frac{\Delta V}{i}$$

onde:

ρ_a : resistividade aparente ($\Omega.m$);

ΔV : diferença de potencial entre M e N (V);

i : intensidade de corrente elétrica (A);

AB: distância entre os eletrodos de corrente (m);

MN: distância entre os eletrodos de potencial (m);

que pode ser escrita:

$$\rho_a = K \times \frac{\Delta V}{i}$$

sendo k o fator geométrico que é previamente calculado para os mais diferentes valores de AB e MN.

5.1.1.2 Resistivímetro

É o dispositivo de medida que comporta uma linha AB de envio de corrente e outra MN de medida de diferença de potencial (Figura 5.1).

A linha AB compõe-se de:

- um gerador de corrente (pilhas, acumuladores ou qualquer outra força-motriz de corrente contínua);
- dois eletrodos de emissão cravados no solo e designados pela letra A e B. Eles são ligados respectivamente aos pólos (+) e (-) do gerador por um fio isolado e respectivamente chamados de eletrodo "fonte" e eletrodo "receptor";
- um amperímetro ligado em série ao circuito AB, permitindo medir a intensidade da corrente que circula, constituído pelo gerador, pelo fio, pelos eletrodos e pelo solo.

E a linha de medida compreende:

- dois eletrodos M e N de medida ligados ao potenciômetro por um fio isolado que medirá a diferença de potencial entre M e N.

O equipamento utilizado foi um resistivímetro TDC-1000/12 e acessórios da TECTROL.

5.1.1.3 Técnicas de investigação

O método da resistividade apresenta dois procedimentos principais, nesta investigação foi utilizado o procedimento da sondagem elétrica (SEV) que é uma exploração vertical que consiste em aumentar, a cada leitura, o comprimento do quadripolo simetricamente em relação a um ponto fixo O (centro do dispositivo).

O outro procedimento é o caminhamento elétrico (CE), que é uma exploração horizontal que consiste em deslocar sobre o terreno o quadripolo, realizando as leituras sempre com os mesmos comprimentos do arranjo AMNB.

5.1.1.4 Interpretação

Resumindo, executar uma SEV 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 de 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 SEV denominada curva de resistividade aparente ou curva de campo, a partir daí pode-se então, definir as seguintes etapas na interpretação de uma SEV:

- obtenção das curvas de campo e suavização dos dados;
- análise de morfologia das curvas de campo, procurando identificar as camadas geoeletricas existentes, definindo um modelo de tipos de curvas. Esta etapa é efetuada analisando-se todas as SEVs em conjunto;
- tratamento das curvas em função do modelo de tipo de curva obtido, comparando-as com curvas teóricas pré-existentes e programas computacionais. O programa utilizado foi o IPES3 desenvolvido por BASOKUR (1990), obtendo-se as resistividades e espessuras reais das camadas geoeletricas;

- correlação dos modelos obtidos entre as SEVs e a geologia, estabelecendo um modelo geoeletrico inicial. Se necessário, voltar de novo ao tratamento das curvas, procurando o melhor ajuste do modelo inicial com a geologia; e, finalmente,
- estabelecimento do modelo geoeletrico final.

5.1.2 Eletromagnético indutivo

5.1.2.1 Princípio do método

O método é fundamentado nos princípios de indução eletromagnética, onde é possível estabelecer medidas de campos magnéticos associados a correntes alternadas geradas em condutores na subsuperfície. As correntes são induzidas por um campo magnético primário. Baseia-se, também, fundamentalmente na transmissão de ondas eletromagnéticas e sua recepção após interagir com o meio geológico, e tem por finalidade a medida de condutividade elétrica do meio (BOIAN, 1995).

Para isto, tem-se um sistema formado por duas bobinas, uma transmissora (T_x) e outra receptora (R_x), separadas por uma distância fixa (S) e apoiadas sobre a superfície de um terreno, de tal modo que ambas estejam contidas num mesmo plano (Figura 5.3).

Figura 5.3 – Método eletromagnético indutivo (BRAGA, 2000)

Uma corrente alternada de baixa frequência, na faixa de 100 Hz a 1000 Hz, é aplicada na bobina transmissora (T_x). Esta gera um campo magnético primário que, na presença de um condutor, induz no meio correntes em formas de espiras que dão origem a um campo magnético secundário, sendo a resultante dos campos magnéticos captada pela bobina receptora, que assim comporta-se como uma antena. Esse fenômeno gera uma perturbação eletromagnética, a qual consiste de campo elétrico e magnético variáveis no tempo e apresentam comportamento ondulatório como uma onda eletromagnética.

A condutividade elétrica pode ser obtida através da parte real e imaginária obtida do campo secundário induzido a partir da relação entre campo magnético primário (H_p / H_s) conforme a expressão abaixo (MCNEILL, 1980b *apud* DEHAINI, 1995).

$$\frac{H_s}{H_p} = \frac{i \times \omega \times \mu_0 \times S^2 \times \alpha}{4}$$

onde:

H_p : campo magnético primário da bobina transmissora (T_x);

H_s : campo magnético secundário da bobina receptora (R_x);

i : $(-1)^{1/2}$;

ω : $2\pi f$ (rad.s^{-1});

f : frequência (Hz);

μ_0 : constante de permeabilidade no vácuo ($\text{Wb} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$);

S : distância entre as bobinas (m);

α_a : condutividade elétrica do terreno ($\text{mho} \cdot \text{m}^{-1}$).

A condutividade elétrica é aparente, pois é o resultado da interação da condutividade em cada parcela do solo, desde a superfície até a profundidade de investigação do equipamento. Portanto, no eletroindutivo magnético obtém-se apenas uma interpretação qualitativa, 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.

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.

5.1.2.2 Condutivímetros

Os equipamentos utilizados neste estudo foram o EM31 e EM34 fabricados pela *GEONICS Limited*.

O EM31 possui as bobinas transmissoras e receptoras dispostas no mesmo instrumento, que após montado forma uma peça única com espaçamento entre as bobinas de 3,66 metros, contendo o medidor de condutividade. O instrumento é portátil, podendo ser manuseado por apenas uma pessoa operando com os dipolos vertical e horizontal, tanto na forma de leitura "estação por estação" quanto na forma de leitura contínua utilizando um módulo eletrônico portátil de registro de dados.

O EM34 possui bobinas que são conectadas entre si por meio de cabos de referência de 10, 20 ou 40 metros de modo a variar diretamente a profundidade efetiva de exploração. O conjunto é operado no mínimo por duas pessoas. O operador do transmissor se posiciona sobre a estação de medida e o operador do receptor move a bobina para trás ou para frente até que seu medidor indique o correto espaçamento entre as bobinas e, em um segundo medidor, é lida a condutividade do terreno.

Com estes equipamentos é possível investigar até as profundidades de 0,75 vezes a distância existente entre as bobinas na posição horizontal, e 1,5 vezes a distância entre as bobinas na posição vertical. As duas situações diferem fisicamente entre si pelo fato de que na vertical praticamente todo o campo magnético está penetrando no solo, enquanto que na horizontal somente a metade. Sendo assim, as profundidades de investigações atingidas são apresentadas no Quadro 5.1.

Quadro 5.1- Profundidades de investigação com o EM31 e EM34 (*GEONICS*) em função do espaçamento e orientação das bobinas

EQUIPAMENTOS	FREQUÊNCIA (Hz)	ESPAÇAMENTO (S)	PROFUNDIDADE DE INVESTIGAÇÃO (M)	
			Bobinas na Horizontal	Bobinas na Vertical
EM31	9,80	3,66	3,00	6,00
EM34	6,40	10,00	7,50	15,00
	1,60	20,00	15,00	30,00
	0,40	40,00	30,00	60,00

5.1.2.3 Técnicas de investigação

O procedimento de investigação utilizado e que apresenta resultados mais satisfatórios segundo MENDES (1987) é a técnica do caminhamento eletromagnético (CEM), que consiste em medições em sucessivas estações pré-estabelecidas ao longo da área a ser investigada.

Medidas de condutividade elétrica aparente nas imediações das áreas de estudo, porém, em locais isentos de contaminação servem como referência de agentes contaminantes depositados em superfície. Esses valores caracterizam o que se chama de condutividade aparente de *background*.

5.1.2.4 Interpretação

Os dados do CEM são interpretados qualitativamente, através de mapas de isocondutividades aparentes para as respectivas profundidades investigadas. Para elaborar estes mapa foi utilizado o *software SURFER*.

5.2 Investigações diretas

5.2.1 Sondagens e poços de monitoramento

A instalação de poços de monitoramento compreende uma técnica de investigação direta, fornecendo desde o início de sua instalação através da perfuração, informações sobre a geologia e a hidrogeologia local.

Após a instalação dos poços de monitoramento, obtém-se não só informações sobre a hidráulica subterrânea, mas também, das características hidroquímicas através de amostragens para análises dos diversos parâmetros físico-químicos e biológicos envolvidos no estudo em questão.

Assim, através desta técnica, obtém-se uma caracterização do aquífero local, e um acompanhamento de sua dinâmica e qualidade de suas águas ao longo do tempo, levando-se em conta o ciclo hidrogeológico e a evolução da disposição e distribuição dos resíduos na área investigada.

Os poços de monitoramento foram distribuídos e instalados segundo as informações obtidas no modelo conceitual das águas subterrâneas para a área e circunvizinhanças, e anomalias obtidas nas investigações geofísicas.

5.2.1.1 Perfuração

Devido às características litológicas foi utilizado como equipamento de perfuração um trado manual de 4 polegadas de diâmetro, pois é de fácil manuseio, baixo custo e sem a necessidade do uso de fluido de perfuração, que poderia interferir na qualidade das águas subterrâneas posteriormente amostradas.

Durante a perfuração foi realizada descrição tátil-visual do material perfurado. O fim da perfuração foi feito após avançar por dois metros a zona saturada e/ou tornar-se impenetrável ao trado.

5.2.1.2 Instalação

Após o encerramento de cada sondagem foi instalado o revestimento, constituído de PVC, com diâmetro nominal 75 mm (DN 75 mm), sendo o filtro ranhurado envolto em tela de nylon e instalado para garantir a operacionalidade sobre os efeitos das variações sazonais do nível d'água e de possíveis contaminantes menos densos que a água.

Como pré-filtro foi utilizado areia grossa lavada de granulometria superior as ranhuras do filtro e preenchido até 0,25 metro acima do filtro. Após este preenchimento foi lançada bentônica, constituindo-se num selo de espessura de 0,25 metro, e o restante preenchido com solo natural argiloso até o topo do espaço anular.

A instalação foi concluída com a construção de uma proteção de cimento e um tampão ao redor da boca do poço. O tampão faz-se necessário para evitar que o poço de monitoramento seja violado e/ou depredado, e a cimentação, juntamente com o selo de bentônica terão a função sanitária de evitar que a água superficial contamine o poço, através da infiltração pelo espaço anelar, comprometendo os resultados das análises químicas (Figura 5.4).

Figura 5.4 – Seção esquemática construtiva dos poços de monitoramento

5.2.1.3 Desenvolvimento

Em geral, todo método de perfuração cria uma maior ou menor compactação ou obstrução nas paredes do furo e nos materiais naturais da formação (sedimentos inconsolidados ou rocha) imediatamente adjacentes às paredes do furo, resultando em reduções localizadas das condutividades hidráulicas da formação. Adicionalmente, durante a instalação do pré-filtro, os finos das adjacências da formação natural podem misturar-se ao material do pré-filtro.

Diante disto, após a instalação de cada poço de monitoramento, estes foram limpos ou desenvolvidos para a remoção dos materiais finos, tais como, argilas, siltes e areias finas, contidos nos pré-filtros e na formação natural, nas proximidades dos filtros

dos poços de monitoramento. Adicionalmente, o desenvolvimento resulta no assentamento e estabilização do material adjacente ao filtro do poço.

O desenvolvimento dos poços de monitoramento foi realizado tão logo estes foram instalados e os materiais do selo anular consolidados. Idealmente, esta atividade resulta numa máxima eficiência dos poços de monitoramento através da comunicação entre o poço e a formação natural adjacente, maximizando os valores dos dados dos futuros ensaios hidráulicos e a representatividade das amostras das águas subterrâneas coletadas. Além disto, a remoção dos finos durante o desenvolvimento minimiza o potencial de entupimento (obstrução) e danificação de equipamentos durante os ensaios de bombeamento e/ou purgeamento anteriores às amostragens.

Para o desenvolvimento foram utilizadas garrafas descartáveis. Este método é particularmente utilizado para poços com baixo rendimento e evita-se a contaminação cruzada de um poço para outro.

5.2.1.4 Ensaios hidráulicos

Com o objetivo de se estimar a velocidade de percolação das águas subterrâneas foram realizados ensaios hidráulicos para determinação da condutividade hidráulica, através de ensaios *in situ*, denominado de *bail test* que consiste em provocar um rebaixamento do nível d'água do poço através da extração de um volume d'água, a partir do qual acompanha-se a sua recuperação até sua estabilização. Estes ensaios foram realizados segundo as orientações da ABGE (1996), com o auxílio de medidor elétrico com precisão de 0,5 cm.

Para a interpretação foi utilizado o método de Hvorslev (1951 *apud* FREEZE & CHERRY, 1979) que assume inicialmente que o meio é homogêneo, isotrópico e infinito, e o solo e a água são incompressíveis; cuja expressão é dada por:

$$K = \frac{r^2 \times \ln \frac{L}{R}}{2LT_0}$$

onde:

K: condutividade hidráulica (m/s);

r: raio da boca do poço de monitoramento (m);

L: comprimento do filtro do poço de monitoramento (m);
 R: raio do poço de monitoramento no trecho ensaiado (m);
 T_0 : tempo de recuperação de 67% do nível d'água (s).

5.2.2 Coletas e amostragens de água subterrânea para análises físico-químicas

5.2.2.1 Planejamento

Foram planejadas seis campanhas de coletas e amostragens das águas subterrâneas dos poços, sendo duas campanhas mais completas e representativas de uma época mais seca e outra chuvosa. A Tabela 5.1 apresenta os parâmetros analisados para cada campanha.

Tabela 5.1 – Parâmetros analisados em cada campanha programada

CAMPANHAS	PARÂMETROS	PERÍODOS
1ª Campanha 02-julho-2000	Cl, NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , e SO ₄	SECO
2ª Campanha 06-agosto-2000	Cl, NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , e SO ₄ , N (amoniaco) e N (Kjedahl), alcalinidade, Ca, Na, K, Fe, Fe (total), Mn, Al, Mg, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Sr, Ti, V, Sn, Zn, Zr	
3ª Campanha 08-setembro-2000	Cl, NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , e SO ₄	
4ª Campanha 28-outubro-2000	Cl, NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , e SO ₄	
5ª Campanha 03-dezembro-2001	Cl, NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , e SO ₄ , N (amoniaco) e N (Kjedahl), alcalinidade, Na, K, Ca, Mg	CHUVOSO
6ª Campanha 06-janeiro-2001	Cl, NH ₄ , NO ₃ , NO ₂ , e SO ₄	

5.2.2.2 Procedimentos de coleta e amostragem

Medições de nível d'água

As atividades iniciaram com a medida do nível d'água em cada poço antes da operação de esgotamento ou purgeamento. Os níveis d'água são importantes para a determinação dos fluxos d'água subterrânea, através da elaboração dos mapas potenciométricos, e foram medidos com o auxílio de equipamento eletrônico, tendo como referência para a medida, a base do poço junto ao solo.

Esgotamento ou purgeamento do poço

O purgeamento se faz necessário pois, a água:

- do poço acima do filtro não está livre para interagir com a água da formação;
- está em contato direto com a atmosfera, estando sujeito a diferentes equilíbrios químicos;
- estagnada frequentemente possui temperatura, pH, Eh e diferentes características químicas, comparativamente à água de formação.

O objetivo do purgeamento é criar uma situação que irá permitir que o poço forneça uma amostra que seja representativa da água da formação enquanto cria um mínimo de distúrbio no regime do fluxo subterrâneo.

Os poços foram purgeados utilizando-se garrafas de polietileno e luvas descartáveis para cada poço evitando-se a contaminação cruzada e retirando o equivalente a três volumes do poço, assegurando que toda a água estagnada foi substituída por água da formação.

Coleta, amostragem e preservação

Para garantia de que a amostra de água seja representativa da formação, deve-se reduzir ao mínimo as alterações químicas e físicas durante o processo de retirada das amostras, assim utiliza-se a filtração e preservação como formas predominantes de pré-tratamento das amostras feitas no campo no momento da amostragem.

As amostras foram coletadas também com o uso de garrafas de polietileno e luvas descartáveis para cada poço, e a seguir acondicionadas em frascos de polietileno com tampas de polipropileno. Como as amostras não podem ser analisadas imediatamente após a coleta, estas são preservadas.

A preservação tem o objetivo de retardar o máximo possível os processos químicos e biológicos que ocorrem na amostra. As técnicas utilizadas são limitadas pelo controle de pH, adição química, controle de temperatura e proteção contra a luz, e foram realizadas segundo as orientações da norma ABNT (1997).

5.2.2.3 Análises químicas

Primeiramente, em cada coleta foram realizadas as análises *in situ*, onde analisou-se pH, condutividade elétrica (CE) e temperatura (T). E a seguir, após as amostragens, estas foram encaminhadas ao laboratório da CONCEITO TECNOLOGIA QUÍMICA S.A. para a realização das análises químicas, que seguiram as técnicas apresentadas no *Standart Methods of the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999).

Os resultados das análises químicas das duas campanhas, mais completas e representativas de uma época mais seca e outra chuvosa, foram submetidos a um balanço iônico, para se avaliar a representatividade (confiabilidade/qualidade) destes resultados, segundo a expressão:

$$ERRO = \frac{\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions}}{\sum \text{cátions} + \sum \text{ânions}} \times 100$$

O erro foi determinado a partir dos valores em miliequivalentes dos ânions e cátions. Esta expressão (CUSTÓDIO & LHAMAS, 1981) indica que se o erro obtido for menor que 10%, haverá menores chances de erros analíticos;

Também foram realizadas correlações de Pearson, cruzando-se parâmetro por parâmetro, para se verificar a correlação linear entre os elementos analisados e suas significâncias, ou seja, a representatividade das correlações feitas entre os elementos, que é uma função do coeficiente de correlação amostral (*r*) (GREEN & MARGERISON, 1978).

6 O vazadouro municipal de Tatuí

6.1 Descrição da área

6.1.1 Localização

A área deste estudo localiza-se no Bairro de Americana pertencente ao Município de Tatuí, situado na região centro - sul do Estado de São Paulo (Figura 6.1).

A distância da capital é de aproximadamente 160 km, e o acesso se faz através da rodovia Castelo Branco (SP270) até o km 154 de onde se segue pela rodovia SP127 em direção a Tatuí. No km 7 toma-se o trevo de acesso à estrada municipal em direção à Boituva, de onde a 300 metros encontra-se a estrada vicinal de acesso ao lixão.

Figura 6.1 – Localização do lixão de Tatuí

6.1.2 Histórico

O Município de Tatuí conta com uma população estimada de 100.000 habitantes que geram cerca de 40 t/dia de resíduos sólidos urbanos, que necessitam de uma destinação final. A coleta é realizada diariamente pela prefeitura, inclusive aos feriados, enquanto os resíduos industriais são transportados pelos próprios geradores às áreas de descarte.

De 1982 a 1991, todos os resíduos gerados no município eram lançados no lixão do Bairro do Isolamento ou Donato Flores, desativado por figurar-se incompatível com o empreendimento do Conjunto Habitacional Tatuí I, ali implantado.

Após a desativação foi escolhida uma nova área situada no bairro de Americana para implantação de um aterro sanitário. Este terreno foi cedido à prefeitura em regime de comodato e já havia sido degradada pela atividade de extração mineral de argila para abastecer as cerâmicas locais.

Em 1990, foi elaborado para a área um projeto de aterro sanitário, que basicamente consistia no espalhamento do lixo sobre o solo em camadas sucessivas, compactando-o com trator no menor volume prático possível, e recobrindo-o com uma camada de terra de espessura conveniente ao final de cada jornada de trabalho (PMT, 1990).

A PMT (1990) ainda cita que com essa técnica procurava-se evitar a poluição e/ou contaminação ambiental, especificamente das águas superficiais e subterrâneas, impedir os surgimentos de focos de fogos, fumaça e odores, e não permitir a atividade social marginal da catação. Neste projeto o aterro iniciaria sua operação em outubro de 1990 e teria sua implantação com a assessoria de técnicos da prefeitura.

Para a caracterização da área destinada à implantação, foram realizados um levantamento topográfico planialtimétrico em escala 1:1000; 12 sondagens para reconhecimento dos solos; e uma projeção populacional e da quantidade de lixo doméstico gerado, para a estimativa da vida útil do aterro sanitário.

O projeto foi concebido para receber basicamente lixo de origem doméstica em cinco etapas de operações, que constituiriam-se de camadas de lixo compactadas com 2,5 metros de espessura cada uma e taludes finais de 1 (V) : 2 (H) preenchidas em sequência até determinadas cotas estabelecidas em projeto. Estas camadas deveriam apresentar um caimento de cerca de 1% para facilitar o escoamento das águas

superficiais, conduzindo-as para drenos, diminuindo dessa forma, a sua infiltração e consequentemente o volume de percolado.

Contudo, o projeto não apresentou uma concepção básica para alguns componentes, tais como: sistemas de tratamento de base (impermeabilização de fundação); drenagens de fundação de líquidos percolados e gases; tratamento destes gases; monitoramento das águas subterrâneas; e análise da estabilidade dos maciços de terra e dos resíduos dispostos.

E assim, sem a aprovação do projeto e diante da necessidade de dispor o lixo gerado, iniciou-se a partir de janeiro de 1991 a operação da área.

A partir de 1992, os trabalhos que se seguiram foram procedimentos de medidas básicas e emergenciais, tais como:

- abrir valas para lançamento dos resíduos sólidos;
- executar cobertura diária das valas para evitar a proliferação de vetores (insetos nocivos à saúde, ratos, vermes, etc.);
- cercar a área para evitar a ação de catadores de lixo;
- construir diques e valetas para evitar que as águas pluviais entrem ou saiam do local contaminando corpos d'água.

Em 1994, a prefeitura apresentou um EIA/RIMA referente a uma usina de reciclagem de lixo doméstico e de um incinerador de resíduos sólidos. Estes empreendimentos pretendiam atingir os seguintes objetivos (PMT, 1994):

- dotar a cidade e a região de um sistema de disposição final de lixo doméstico que fosse planejado, projetado e operado dentro das melhores técnicas disponíveis;
- provocar alterações mínimas nas condições ecológicas das áreas próximas à usina;
- dar uma destinação segura aos resíduos hospitalares, que poderiam provocar a disseminação de microorganismos patogênicos no meio ambiente, bem como aos resíduos sólidos industriais, causadores frequentes da poluição do solo, a partir da construção e operação de um incinerador.

As atividades desenvolvidas na usina compreenderiam: a coleta de lixo, recebimento e pesagem do lixo, alimentação e dosagem, triagem manual e magnética com separação dos recicláveis, trituração, peneiramento, compostagem e embalagem e expedição. E, quanto ao incinerador as atividades seriam a coleta de lixo, e incineração primária e secundária.

Entretanto, estes empreendimentos também foram reprovados, pois possuíam uma série de indefinições, inclusive quanto à proteção do solo e às águas superficiais e subterrâneas.

Diante disto, a empresa de consultoria PROMINER PROJETOS Ltda. realizou para a prefeitura municipal um plano de trabalho e de diagnóstico preliminar cujo objetivo seria um adequado dimensionamento, projeto e operação do atual vazadouro municipal, transformando-o no mínimo em um aterro controlado, e estabelecer opções e projeto de aterro sanitário para o futuro, quando do encerramento da vida útil do local. Este trabalho foi apresentado e atualmente a prefeitura vem realizando novos trabalhos para o cumprimento deste plano.

6.1.3 A Atividade de disposição de resíduos na área

A atividade de disposição de resíduos é descrita quanto aos seus aspectos ou problemas operacionais, sanitários e ambientais. Os problemas operacionais são aqueles considerados como atividades inadequadas de operação na disposição do lixo, que podem afetar os aspectos sanitários e ambientais ao longo do tempo, e que, por sua vez, são aqueles que, respectivamente, afetam diretamente e indiretamente a saúde pública.

6.1.3.1 Problemas operacionais

Vias de acesso

O acesso externo se faz por estrada municipal de terra que margeia o lixão por 1000 metros em seu sentido longitudinal maior até sua entrada, a partir daí o acesso interno às áreas de disposição se faz por uma via que segue próxima e paralelamente ao acesso externo de terra. Este acesso interno torna-se, por vezes, intransitável em períodos de chuvas intensas (janeiro a março), quando então nestas ocasiões os caminhões são auxiliados pelo trator D4 na disposição e retorno ao acesso externo.

A geometria atual do lixão foi dada pela conformação final da área após seu encerramento como fornecedora de matéria-prima para as olarias locais. A extração da argila se fez através de um grande corte alongado no sentido N-S numa porção elevada de uma colina suave, e próximo aos divisores de águas superficiais e subterrâneas, e também, limitada a jusante pela drenagem do córrego e canaviais.

Tratava-se de um "barreiro" que após sua exaustão resultou num formato semelhante a um paralelogramo alongado; e durante a disposição do lixo não houve maior regularização mecânica do pavimento, que aproveitou a superfície razoavelmente aplainada pela atividade extrativa anterior.

Controle da área

Atualmente o lixão encontra-se totalmente cercado, incluindo uma portaria e um zelador. Contudo, ainda verifica-se a presença de catadores no local.

Controle de resíduos

O lixão recebe todos os resíduos sólidos do Município de Tatuí, não havendo controle ou informações precisas sobre suas composições quantitativas e qualitativas, e aspectos físico-químicos.

Segundo informações da prefeitura, o lixão recebe 10 viagens de caminhões compactadores de 8 m³ cada. Adotando um valor de compactação destes caminhões de 0,5 t/m³, tem-se 40 t/dia de lixo produzido e disposto no local, valor este condizente com as estimativas populacionais atuais, e respectiva projeção da quantidade de lixo gerada (PMT, 1990).

Durante os trabalhos de campo verificou-se o grande predomínio de resíduos de origem domiciliar, ocorrendo também, resíduos de origem comercial e público verificados pela presença de papéis, plásticos, embalagens diversas e resíduos de varrição de vias públicas.

Os resíduos dos serviços de saúde e hospitalar estão presentes, contudo as quantidades dispostas são desconhecidas. Estima-se por informações dos operadores locais, que estas quantidades situam-se entre 400 e 800 kg/dia.

A prefeitura não possui um cadastro ou controle das indústrias locais e suas atividades, muito menos dos resíduos gerados por elas. Porém, ocorre a disposição de resíduos industriais na área do lixão, pois observa-se peças plásticas e metálicas, aparas diversas, borras, amontoados, empilhados ou contidos em latões. PROMINER (1996) destaca a disposição dos resíduos de restos de organismos animais processados pela empresa LOPESCO, cuja geração é de 1.000 t/mês com 70% de água em peso e DBO₅ de 5.000 mg/L.

Crterios para disposio

A prefeitura opera a frota de caminhes que dispe os diversos tipos de resduos. Porm, os resduos industriais, alguns comerciais e entulhos so colocados diretamente pelos geradores.

Os caminhes chegam ao lixo e no passam por nenhum controle de recebimento, tal como, a pesagem na entrada, verificao da placa e sua procedncia.

Inicialmente, a disposio foi feita na poro sul do lixo prximo estrada velha Tatui-Boituva. Atualmente as atividades j foram encerradas nesta rea, encontrando-se totalmente coberta por solo e vegetao. Hoje o lixo totalmente disposto na poro norte.

A disposio feita com o descarregamento dos caminhes compactadores da prefeitura ou de outros geradores em locais indicados pelos operadores das mquinas. Verifica-se que no h uma compactao adequada e cobertura regular de solo aps o descarregamento, permanecendo por muito tempo descoberto provocando:

- o arraste de materiais pela ao dos ventos;
- a catao do lixo em condies imprprias;
- a proliferao de roedores, moscas, e outros vetores de doenas;
- o aspecto antiesttico do lixo exposto;
- a dificuldade de movimento das mquinas e dos veculos sobre vazadouro;
- a percolao e infiltrao das guas precipitadas sobre o aterro.

E ainda, o lixo no prev o funcionamento segundo algumas recomendaes bsicas relacionadas ao volume de lixo recebido, zoneamento dos locais de disposio, tratamento dos resduos e dos efluentes gerados.

6.1.3.2 Problemas sanitários

Fogo e fumaça

Por vezes, observa-se no lixão pequenos focos de fogo provocados principalmente por combustão espontânea, pois, tem-se o acúmulo de gases (combustível), oxigênio (comburente) e calor (agente iniciador da queima). Estes focos podem originar incêndios maiores no próprio lixão e nas adjacências, com perdas de culturas, pastagens, matas ciliares e mortandade de animais domésticos e silvestres.

A fumaça originada pode prejudicar a visibilidade no local e circunvizinhanças, provocando acidentes com envolvimento de catadores, funcionários e máquinas. Além de irritabilidade nos olhos e problemas respiratórios.

Odor

O mau cheiro presente é o resultados da emanção dos produtos gasosos gerados pela decomposição do lixo, que podem provocar problemas respiratórios, irritabilidades diversas, etc.

Vetores de doenças

O lixo encerra uma grande comunidade de espécies, pois, segundo LIMA (1991), contém alto teor energético e oferece disponibilidade simultânea de água, alimento e abrigo. Tais espécies são classificadas como macrovetores (ratos, baratas, moscas, cães e o próprio homem) e microvetores (fungos, bactérias e vírus).

6.1.3.3 Problemas ambientais

Poluição do ar

Todos os aterros sanitários, aterros controlados e vazadouros situados em território brasileiro geram emissões de gás bioquímico no ambiente, em intensidades variáveis e dispersões, também variáveis, de material particulado e, nos casos em que não há controle, ocorre, também, dispersão dos componentes mais leves do lixo, tais como papéis e plásticos (PROMINER, 1996).

No lixão não existem drenos para exaustão dos gases gerados. Estes gases percolam pelos interstícios do lixo/cobertura de maneira desordenada até sua fuga para o ambiente resultando no mau cheiro característico dos lixões.

Quanto à dispersão de material particulado e componentes mais leves do lixo, verifica-se que não há uma contínua cobertura do lixo com solo, e contínua umidificação das vias de acesso e áreas de solo expostas, ou tão pouco barreiras vegetais.

Poluição das águas

A poluição das águas superficiais e subterrâneas é devida à variação das características físico-químicas e ou pela presença de microorganismos.

As águas pluviais que precipitam na área escoam superficialmente e infiltram-se no lixo e solo, percolando-os com destino ao córrego à jusante do lixão, que por sua vez é afluente do rio Tatuí.

As drenagens existentes para captação destas águas superficiais e percolados são ineficientes e constituem-se de valetas abertas no solo por retro-escavadeiras sem impermeabilização e possuem a função de drenar estas águas para diques e bacias de captação existentes.

Uma destas valetas situa-se na porção central do lixão e localiza-se perpendicularmente ao sentido longitudinal maior do lixão, que drena em direção a uma pequena bacia de captação no limite jusante central. As outras valetas drenam a porção norte do lixão em direção ao dique de captação situado no limite jusante nordeste do lixão.

Estas valetas drenam não somente as águas superficiais, mas também as águas que percolam o lixo. Portanto, não existe separação das águas percoladas pelo lixão das águas superficiais (pluviais). Estas águas captadas não possuem outro destino, tais como, recirculação, tratamento em lagoas de estabilização, tratamento por ataques químicos, tratamento por filtros biológicos, etc.

Assim, diante da proposta apresentada por PROMINER (1996), foi construída uma nova bacia para captação das águas percoladas. Estas águas seriam conduzidas em tubulação apropriada e por gravidade até a E.T.E. da SABESP de Tatuí.

Contudo, o projeto foi abandonado, assim como a bacia de captação e a valeta para instalação da tubulação. Estas encontram-se abandonadas, e as águas captadas

pela bacia são drenadas pela valeta aberta e que acompanha todo o limite jusante norte-sul do lixão, aumentando a superfície de infiltração e dispersando ainda mais a contaminação.

Como não existe uma impermeabilização da base das áreas de disposição e sistemas de drenagem de líquidos que percolam as massas de lixo, estes infiltram-se no solo natural atingindo o aquífero freático local. Estas águas subterrâneas contaminadas, alimentam as surgências a jusante do lixão que formam as drenagens locais.

Este processo de infiltração depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da origem do lixo e sua compactação, da natureza do solo e do estado de sua superfície, e das quantidades de água e ar inicialmente presentes no interior dos mesmos.

A preocupação pela poluição das águas subterrâneas relaciona-se, principalmente com aquíferos não confinados ou freáticos, sobretudo em lugares onde a zona não saturada é delgada e o lençol freático pouco profundo.

Poluição do solo

A contaminação do solo, dentro e fora do lixão, é feita pelo escoamento e infiltração das águas que percolam as massas de lixo, uma vez que não existe impermeabilização de base e sistemas de drenagem de líquidos como já citado anteriormente.

Estética / paisagismo

O impacto visual causado pelo vazadouro é pouco perceptível, devido ao isolamento proporcionado pela distância do principal núcleo urbano de Tatuí, pelas poucas propriedades rurais no entorno e pelo desnível natural do terreno, no sentido E-W, e do lado oposto da colina, quando visado a partir deste núcleo urbano.

As poucas propriedades rurais existentes dedicam-se predominantemente às culturas de cana-de-açúcar, assim, o lixão torna-se mais perceptível nas épocas de colheita e após esta, quando prepara-se o solo para o próximo plantio.

Internamente, o impacto estético/paisagístico observado é o característico dos lixões encontrados por todo o território, onde observam-se resíduos das mais diversas naturezas disposto sem qualquer critério, chorume escoando sobre o solo, valetas e

bacias de captação construídas, também, sem nenhum critério técnico, muita vegetação daninha e diversos animais domésticos e catadores circulando pela área.

6.1.4 Aspectos físicos

6.1.4.1 Geomorfologia

A região está compreendida na Zona Geomorfológica do Médio Tietê pertencente à Província da Depressão Periférica Paulista que possui a forma de um corredor de topografia colinosa de aproximadamente 60 km de largura. Este se correlaciona à faixa de ocorrência das sequências sedimentares infrabasálticas paleozóicas e mesozóicas do Estado de São Paulo, incluindo áreas descontínuas de corpos intrusivos, sob a forma de diques e *sills* de diabásio, e ainda, pequenas áreas de rochas pré-cambrianas (IPT, 1981a).

Predominam nesta zona relevos de colinas amplas e médias e, secundariamente, relevos de morrotes alongados e espigões. Este relevo colinoso caracteriza a área de estudo, com colinas médias onde predominam baixas declividades de até 15% e amplitudes inferiores a 100 metros com topos aplainados e vertentes com perfis convexos e retilíneos.

6.1.4.2 Hidrografia

A área situa-se na bacia do rio Sorocaba, pertencente à Primeira Zona Hidrográfica do Estado de São Paulo. Esta bacia possui uma área de drenagem de 5.010 km² e tem como constituintes principais o rio Sorocaba percorrendo 80 km até atingir a margem esquerda do rio Tietê, e os rios do Varjão, Ipanema, Tatuí, Guaxupé, e da Onça (CETESB, 1997).

A área de drenagem possui média a baixa densidade, com um padrão sub-retangular, onde nota-se algum controle estrutural a partir de diáclases e da presença de corpos litológicos mais resistentes, especialmente de diabásios. Os vales são abertos a fechados, com planícies interiores restritas e presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

Localmente, a área de interesse encontra-se inserida numa microbacia situada à margem esquerda do rio Tatuí com uma área drenante de aproximadamente 157,37

ha, e possui como constituinte principal um córrego perene que percorre 1.650 metros até atingir a margem esquerda do rio Tatuí.

6.1.4.3 Clima

A região em estudo pode ser caracterizada pela classificação de Köppen como sendo do tipo Cfa, ou seja, mesotérmico úmido sem estação seca com verão quente. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, enquanto os mais frios são junho e julho. A temperatura média anual é de 21,6°C.

O regime das chuvas na região caracteriza-se pela existência de uma época chuvosa de outubro a março e outra seca de abril a setembro. O Quadro 6.1 apresenta as precipitações totais e médias mensais no período de 1996 a 2000, onde observa-se uma pluviosidade média anual de aproximadamente 1.270 mm.

Quadro 6.1 –Precipitações totais e médias mensais no período de 1996 a 2000

ANO	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	TOTAL
1996	202,0	221,1	236,1	27,5	4,7	43,9	7,5	19,0	117,6	102,5	36,1	163,9	1181,9
1997	402,9	116,5	37,2	45,4	91,6	99,8	17,0	24,6	58,9	92,2	283,3	109,2	1978,6
1998	96,6	230,02	184,0	85,4	108,2	19,6	9,0	31,1	121,6	170,2	48,4	290,4	1394,7
1999	286,4	253,2	166,4	35,8	4,8	53,6	38,1	0,0	75,4	40,0	38,1	133,4	1125,2
2000	129,4	197,9	54,7	2,4	11,3	3,2	54,4	64,6	108,3	65,4	197,8	263,8	1153,2
MÉDIAS	223,46	203,78	135,68	39,30	44,12	44,02	25,20	18,68	93,38	101,23	101,48	174,23	1270,10

Fonte– Instituto Agronômico de Campinas (IAC)

6.1.4.4 Vegetação

A vegetação original possui ainda 25% de sua mata natural, podendo ser considerada como relativamente escassa, visto que grandes áreas são há muito tempo intensamente cultivadas, principalmente por amplos canaviais e pastagens.

A vegetação hoje predominante consiste em cerrado associado à vegetação arbustiva e rasteira, localmente apresentam matas ciliares e galerias nas baixadas de rios e córregos da região.

6.1.5 Geologia

A região de Tatuí, na porção centro-sul do Estado de São Paulo, situa-se sobre rochas sedimentares da Bacia Sedimentar do Paraná e, segundo PETRI & FÚLFARO (1983), compreende rochas paleozóicas que afloram em faixas relativamente estreitas

nas bordas leste e oeste e rochas mesozóicas, que recobrem a maior parte da bacia, e que transgridem sobre os sedimentos paleozóicos entrando em contato direto com o embasamento pré-cambriano na margem noroeste.

A sedimentação na Bacia do Paraná, segundo NORTHFLEET *et al.* (1969), ocorreu num ambiente pouco perturbado por fenômenos tectônicos e, em consequência, as unidades litoestratigráficas são geralmente subparalelas e apresentam grande continuidade lateral, com pequenas variações faciológicas. Tal fato, no entanto, não se verifica com as formações depositadas sob influência glacial ou com as áreas marginais, em que a subsidência foi muito lenta em relação ao centro.

Quanto à estratigrafia, regionalmente afloram rochas paleozóicas do carbonífero pertencentes ao Grupo Tubarão, que na área estão representadas pelo Subgrupo Itararé e Formação Tatuí (Figura 6.2), cujo contato entre elas se faz por discordância erosiva.

O Subgrupo Itararé em São Paulo apresenta-se como complexa associação de variadas litofácies, quase todas detríticas, que se sucedem vertical e horizontalmente, possuindo como litotipos predominantes arenitos de granulação heterogênea. Suas características e associações litológicas indicam ser devidos às várias origens: fluviais, marinhos, lacustres, praianos, deltáicos, *eskers*, eólicos, etc.

Porém, são os diamictitos constituídos por corpos de formas e dimensões variadas, desde espessuras métricas até dezenas de metros, e os sedimentos rítmicos denominados de varvitos em que se alternam estratificações plano-paralelas arenitos finos, siltitos cinza claro e folhelhos cinza mais escuro, os termos mais característicos do subgrupo, estando direta ou indiretamente ligados aos processos glaciais.

Siltitos, argilitos e folhelhos de cores variando de cinza-claro a escuro ocorrem frequente em diversas alturas da formação, podendo apresentar muitas dezenas de metros e apreciável continuidade lateral, sobretudo nas camadas marinhas.

A Formação Tatuí é predominantemente constituída de siltitos; subordinadamente ocorrem camadas de arenitos, calcários, folhelhos e sílex. No conjunto representa uma sedimentação muito uniforme e sua maior espessura na área aflorante é da ordem de 130 metros, no sul do Estado, valor que diminui para nordeste e norte, em direção à borda da bacia sedimentar.

Na região entre Itapetininga e Tatuí a base da Formação Tatuí é representada por siltitos de cor cinza a verde claro com estruturas lenticulares preenchidas por areia fina de coloração esbranquiçada. São frequentes as intercalações de arenito fino,

maciço, assim como conglomerados com eixos angulosos e arredondados de quartzo e sílex com até 5 centímetros de diâmetro. O topo das seções é caracterizado por folhelhos avermelhados, dispostos de forma plano-paralela, ocorrendo intercalações de calcário, semelhantes às da região sul do Estado (GIMENEZ, 1996).

Atribui-se à Formação Tatuí um ambiente de sedimentação em bacia aquosa de baixa energia, possivelmente marinha. Estes sedimentos representam um episódio de transgressão marinha pós-glacial ocorrido na bacia.

No Estado de São Paulo, o desenvolvimento estrutural da bacia foi grandemente influenciado, por duas direções predominantes: NNE-NE e NW. Elas determinaram a orientação das estruturas de maior ordem e aparentemente, refletem feições muito antigas do embasamento, nem sempre manifestadas em superfície. A maior parte dessas estruturas locais da bacia em São Paulo desenvolveu-se durante o Cretáceo, mais especificamente por ocasião do vulcanismo basáltico (IPT, 1981b).

Figura 6.2 – Mapa geológico regional

6.1.6 Hidrogeologia

Regionalmente a área em questão pertence ao Sistema Aquífero Tubarão, permeável por porosidade granular, e que ocupa a maior parte do território paulista com 60% de sua área, estendendo-se principalmente nas bacias das regiões central e oeste.

O Sistema Aquífero Tubarão possui suas águas classificadas como bicarbonatadas sódicas, cálcias ou mistas, que ocorrem em várias unidades geológicas que estendem-se numa faixa, em forma de arco, de nordeste para centro oeste. Possui assim, extensão regional com área aflorante de 20.700 Km² e espessura média de 1.000 m, podendo apresentar-se livre ou confinado. O sistema é bastante heterogêneo dado pelos sedimentos variados de origem glacial e lacustre com retrabalhamentos fluviais, com constantes interdigitações entre as camadas mais arenosas e camadas de lamitos, ritimitos e siltitos, que dificultam o escoamento da água subterrânea caracterizando uma situação de elevada heterogeneidade. (DAEE, 1981).

Quanto aos parâmetros hidrodinâmicos, o Sistema Aquífero Tubarão apresenta uma vazão média de 3 a 30 m³/h, capacidade específica com valores entre 0,005 a 8,5 m³/h/m, e a transmissividade entre 0,3 a 200 m²/dia. A permeabilidade aparente apresenta distribuições entre 0,002 a 0,70 m/dia e um coeficiente de armazenamento de 0,001 a 0,05 (IG, 1997).

7 Resultados obtidos

7.1 Investigações geofísicas

7.1.1 Sondagens elétricas verticais – SEVs

As sondagens elétricas verticais (SEVs) foram realizadas em 6 e 13 de agosto de 1998, com espaçamento AB de 120 metros, num total de 9 sondagens distribuídas nas vertentes e topos das colinas próximas aos limites a montante e jusante e fora das áreas de disposição (Figura 7.1).

Figura 7.1 – Localização das sondagens elétricas verticais (SEVs)

As interpretações das curvas de campo obtidas das sondagens estão apresentadas no ANEXO 1. Inicialmente, ao analisar as morfologias das curvas, verifica-se que estas são bastante semelhantes entre si, e a seguir, juntamente com as resistividades e espessuras interpretadas, foi possível estabelecer um modelo geoeletrico da Tabela 7.1.

Diante dos resultados das SEVs foi possível estabelecer grosseiramente as espessuras das camadas saturada e não saturadas, bem como a ocorrência de uma camada geoeletrica resistiva, que contrasta com as demais camadas. Esta, assim

como as demais camadas geoeletricas, possui ampla distribuicao espacial e continuidade lateral, dada pela interpretacao e semelhanca das curvas de campo distribuıdas pela area.

Apesar da semelhanca morfologica entre as curvas, estas apresentam resistividades diferentes quando comparadas entre si. Essa diferenca e atribuıda ao tipo de solo ou rocha saturada, cuja resistividade e largamente dependente da densidade e porosidade do material, e salinidade do fluido de saturacao (FREEZE & CHERRY, 1979). Na area de estudo, os valores sao respostas as diferentes espessuras das camadas saturadas ou naõ, da presenca de rocha de embasamento impermeavel, da maior ou menor quantidade de agua no meio poroso e tambem da concentracao de ıons presentes nestas aguas subterraneas, atribuıdos principalmente, a lixiviacao direta destes ıons no resıduo.

Tabela 7.1 – Modelo geoeletrico final

CAMADAS GEOELÉTRICAS		SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS									INTERPRETAÇÃO
		SEV - 01	SEV - 02	SEV - 03	SEV - 04	SEV - 05	SEV - 06	SEV - 07	SEV - 08	SEV - 09	
1a CAMADA	Profundidade (m)	0,00 - 0,16	0,00 - 0,85	0,00 - 0,76	0,00 - 0,90	0,00 - 1,00	0,00 - 0,20	0,00 - 0,10	0,00 - 1,50	0,00 - 0,20	zona não saturada
	Espessura (m)	0,16	0,85	0,76	0,90	1,00	0,20	0,10	1,50	0,20	
	Resistividade (ρ)	127,48	525,00	390,00	165,00	110,00	230,00	610,00	940,00	280,00	
2a CAMADA	Profundidade (m)	0,16 - 3,62	0,85 - 3,85	0,76 - 5,86	0,90 - 2,40	1,00 - 3,50	0,20 - 4,20	0,10 - 2,80	1,50 - 3,10	0,20 - 10,20	
	Espessura (m)	3,36	3,00	5,10	1,50	2,50	4,00	2,70	3,10	10,00	
	Resistividade (ρ)	1046,39	1200,00	1500,00	2560,00	620,00	350,00	540,00	4800,00	1700,00	
3a CAMADA	Profundidade (m)	3,52 - 8,19	3,85 - 9,00	5,86 - 21,36	2,40 - 8,10	3,50 - 7,70	4,20 - 21,50	2,80 - 16,80	3,10 - 9,10	10,20 - 30,20	zona saturada
	Espessura (m)	4,67	5,15	15,50	5,70	4,20	17,30	14,00	9,10	20,00	
	Resistividade (ρ)	21,96	31,50	49,00	30,00	3,00	32,00	115,00	17,90	80,60	
4a CAMADA	Profundidade (m)	>> 8,19	>> 9,00	>> 21,36	>> 8,10	>> 7,70	>> 21,50	>> 16,80	>> 9,10	>> 30,20	aquítarde
	Espessura (m)	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	
	Resistividade (ρ)	1282,23	> 10.000	> 5.000	> 10.000	250,00	> 10.000	> 10.000	300,00	> 10.000	

7.1.2 Caminhamentos eletromagnéticos – CEMs

Os caminhamentos eletromagnéticos (CEMs) com o EM31 foram realizados em 19 de setembro de 1998, num total de 396 estações de leituras ou pontos de medidas, com medições para as duas posições de bobinas: horizontal e vertical, investigando assim, profundidades de até 3 e 6 metros, respectivamente. Estas estações foram distribuídas em caminhamentos de forma a contornar os limites do lixão, e em 31 seções transversais perpendiculares ao eixo longitudinal do empreendimento, com espaçamento de aproximadamente 30 metros entre si e leituras a cada 10 metros (Figura 7.2).

Quanto aos CEMs com o EM34, estes foram realizados em 3 e 4 de outubro de 1998, num total de 286 estações, também com medições para as duas posições de bobinas e utilizando um cabo de referência de 10 metros, investigando desta forma profundidades de até 7,5 metros na posição horizontal e 15 metros na vertical. Estas estações, também foram distribuídas em 286 caminhamentos transversais através do lixão e além dos seus limites, com espaçamento de aproximadamente 50 metros e leituras a cada 10 metros (Figura 7.2).

Para caracterizar os valores de condutividades aparentes de *background*, foram realizados caminhamentos com os dois equipamentos na estrada a montante oeste, que segue paralelamente ao limite e talude do lixão. Os caminhamentos foram iniciados em uma posição topográfica baixa, coincidente com o nível da base do aterro, e terminando coincidente com o nível correspondente ao da massa de lixo disposta na área, e sob pouca ou nenhuma influência dos níveis d'água nas medidas das condutividades aparentes (Figura 7.2).

As Figuras 7.3 e 7.4 apresentam os mapas de contorno das isocondutividades aparentes para cada uma das profundidades investigadas considerando como condutividades elétricas de *background* os valores até 10 mho/m para o EM31, e 30 mho/m para o EM34. Acima destes valores as condutividades foram consideradas como anômalas para a área.

As anomalias detectadas na porção sudeste da área com o EM34, são atribuídas à interferências devido a presença das cercas das propriedades vizinhas e postes com quadros de força energizados.

Caminhamentos eletromagnéticos - EM31

Caminhamentos eletromagnéticos - EM34

LEGENDA

- + - Estações de leituras para determinação das condutividades elétricas aparentes de background
- + - Estações de leituras para determinação das condutividades elétricas aparentes
- - Drenagem
- - Curvas topográficas

Figura 7.2 - Localização dos caminhamentos eletromagnéticos (CEMs)

T3382

MÉTODO ELETROMAGNÉTICO

EM - 31 : Caminhamento Eletromagnético - CEM

Bobinas na posição vertical

Bobinas na posição horizontal

Figura 7.3 - Curvas de isocondutividades aparentes - EM31

MÉTODO ELETROMAGNÉTICO

EM - 34 : Caminhamento Eletromagnético - CEM

Bobinas na posição vertical

Bobinas na posição horizontal

Figura 7.4 - Curvas de isocondutividades aparentes - EM34

7.2 Hidrogeologia

7.2.1 O reconhecimento preliminar da área

A Figura 7.5 apresenta um mapa cadastral elaborado a partir do reconhecimento do empreendimento e circunvizinhanças, do levantamento topográfico, da geologia de superfície e de feições hidrogeológicas, através do cadastro de pontos d'água, tais como, poços cacimbas e tubulares com respectivas medidas de níveis d'água, além do cadastramento de surgências, córregos, drenos, diques e bacias de captação.

Após este reconhecimento preliminar da área e das investigações indiretas (SEVs e CEMs) foram iniciadas as investigações diretas: sondagens e instalação dos poços de monitoramento, ensaios de permeabilidade e as coletas para as análises químicas.

Identificação	LOCAL	Nível d' Água (m)	pH	Conduct. Elétrica (μ S/cm)
PC01	Sítio São João do Benfica	7,45	5,0	020
PC02	Chácara Bela Vista	9,96	5,8	110
PC03	Chácara Bela Vista	0,40	5,4	020
PC04	Chácara Paineira	12,80	5,5	020
PC05	Sítio São Francisco	0,57	5,4	020
PC06	Recanto Primavera	10,21	6,0	030
PC07	Rancho Fundo	9,45	5,3	010
PC08	Rancho Fundo	7,97	6,4	090
PC09	Chácara dos Ferreira	11,05	5,2	010
PC10	Sítio de J.C. Brelli	7,98	5,4	020
PC11	Chácara do Nicanor	2,62	6,2	070
PT01	Indústria de Pisos Tatui	27,0	--	--

LEGENDA

- "Lixão"
- Poço Cachimba e nível d'água (m)
- Poço Tubular e nível d'água (m)
- Surgência
- Estrada
- Curva de nível
- Estrada de Ferro
- Drenagem
- Dreno de Chorume
- Divisor de Águas Superficiais e Subterrâneas

Figura 7.5 - Mapa cadastral

7.2.2 A hidrogeologia local

As sondagens e instalação dos poços de monitoramento foram realizados no período de 28 de agosto a 3 de setembro de 1999, compreendendo um total de 12, cujas descrições tácteis-visuais e construtivas são apresentadas no ANEXO 2.

Localmente, a Formação Tatuí na área de estudo constitui-se, a partir do topo até a profundidade investigada de 20 metros, por um solo superficial argiloso siltoso vermelho, sobre sedimentos constituídos predominantemente por siltes arenosos muito finos, cinza esverdeados a verdes, intercalados por camadas mais finas, compreendendo siltes argilosos a argilas siltosas, marrons avermelhados com ou sem porções arenosas muito finas esbranquiçadas, que se sobrepõem a um sedimento argiloso siltoso verde, compacto e impenetrável ao equipamento manual de perfuração.

Dada a característica de baixa permeabilidade conferida aos sedimentos argilosos a siltosos associada a distribuição lateral e profundidades da camada geoeletrica resistiva interpretada das SEVs, tem-se que esta camada argilosa siltosa compacta correlaciona-se com a camada geoeletrica e caracteriza-se hidraulicamente como um aquítarde. A partir destas informações foi elaborado o mapa de contorno da superfície do aquítarde apresentado na Figura 7.6.

0 50 100 m
Escala

ST 04
552.50

LEGENDA

- 575 — - Curvas topográficas
- - - 580 - - - Curvas de isopropfundidades (m)
- ST 04
552.50 - Sondagens e profundidade da superfície da camada impermeável (m)
- Drenagem

Figura 7.6 - Mapa de contorno da superfície do aquífero

De julho de 2000 a início de janeiro 2001, durante as campanhas de amostragem das águas subterrâneas, também foram realizadas medições dos níveis d'água (Tabela 7.2), e a partir dos quais foram elaborados mapas potenciométricos representativos de uma época mais seca (Figura 7.7) e outra mais chuvosa (Figura 7.8). Os níveis potenciométricos apresentam uma variação sazonal condicionadas pelas características pluviométricas do clima da região. Nos meses mais secos, os níveis estão mais baixos e elevam-se com a chegada das chuvas.

Nas Figuras 7.7 e 7.8 observa-se que a direção do fluxo das águas subterrâneas na área do lixão se faz preferencialmente no sentido oeste-leste (W-E), sendo que numa pequena porção ao sul ocorre o divisor de águas subterrâneas, cujo traçado no sentido norte-sul (N-S) faz com que parte destas águas convirjam para a vertente imediatamente próxima ao limite sul do lixão, podendo comprometer a qualidade das águas da microbacia vizinha.

Comparando os mapas potenciométricos (Figuras 7.7 e 7.8) com o mapa de contorno do aquítarde (Figura 7.6), tem-se que as curvas isopotenciométricas possuem a mesma tendência das curvas de isopropundidades, ou seja, o topo do aquítarde caracteriza o nível de base do aquífero e da sua descarga local.

0 50 100 m
Escala

PM 07
552.62

LEGENDA

- 575 - Curvas topográficas
- 580 - Curvas equipotenciais (m)
- PM 05 568.58 - Poço de monitoramento e cota potenciométrica (m)
- PC 01 - Poço cacimba
- Divisor aproximado das águas subterrâneas
- Drenagem

Figura 7.7 - Mapa potenciométrico (06/agosto/2000)

0 50 100 m
Escala

PM 07
552.94

LEGENDA

- 575 — - Curvas topográficas
- 580 — - Curvas equipotenciais (m)
- PM 05
569.31 - Poço de monitoramento e cota potenciométrica (m)
- PC 01 - Poço cacimba
- — - Divisor aproximado das águas subterrâneas
- - Drenagem

Figura 7.8 - Mapa Potenciométrico (03/Dezembro/2000)

Tabela 7.2 – Medições dos níveis d'água dos poços de monitoramento

POÇOS	1ª CAMPANHA 02-jul-00	2ª CAMPANHA 06-ago-00	3ª CAMPANHA 08-set-00	4ª CAMPANHA 28-out-00	5ª CAMPANHA 03-dez-00	6ª CAMPANHA 06-jan-01
pluviometria	54,40 mm	54,80 mm	132,60 mm	105,30 mm	202,20 mm	259,40 mm
PM01	19,05	19,15	19,00	19,18	19,31	19,42
PM02	11,23	11,42	11,06	11,26	11,23	11,11
PM03	11,03	12,00	11,04	11,08	10,78	10,70
PM04	17,03	17,45	17,31	17,10	17,21	17,00
PM05	8,28	8,42	6,26	8,18	7,69	4,26
PM06	7,78	8,41	4,46	6,85	5,95	2,96
PM07	4,73	4,88	3,83	4,62	4,56	2,95
PM08	5,63	5,92	4,07	4,80	3,95	1,90
PM09	5,48	5,75	4,33	4,43	4,42	2,26
PM10	4,62	4,66	3,26	4,18	3,39	3,30
PM11	4,92	5,28	4,50	4,97	4,75	4,60
PM12	4,72	4,68	2,09	2,78	2,66	2,40
PC01 ^(*)	10,7	9,87	6,09	9,16	9,42	8,23

(*) PC01 está sujeito a bombeamento para uso da propriedade rural

Ensaio de permeabilidade *in situ* foram realizados em poços de monitoramento nas duas principais vertentes de descarga das águas subterrâneas. No PM05 situado na vertente da porção central a condutividade hidráulica (K) obtida foi $2,51 \times 10^{-5}$ cm/s, e no PM08 a norte a condutividade apresentou um valor de $3,42 \times 10^{-5}$ cm/s.

Para a vertente central, tem-se um gradiente hidráulico (i) de 9,6% (0,096) e a velocidade das águas subterrâneas obtida foi 3,20 m/ano, e para a vertente norte, com um gradiente de 8,1% (0,081) a velocidade é de 5,17 m/ano. Tem-se então, como velocidade média para a área 4,18 m/ano.

Apesar do gradiente hidráulico na vertente norte ser menor, a permeabilidade e a velocidade são um pouco maiores com relação a vertente central. Isto se deve a característica ligeiramente mais arenosa das fácies sedimentares da vertente norte.

Os CEMs realizados na área detectaram anomalias de condutividades elétricas interpretadas como as massas de lixo enterradas na área e lixiviado produzido contaminando o solo e água subterrânea.

Numa análise conjunta dos mapas potenciométricos e de isocondutividades aparentes obtidas com o EM31, tem-se que a pouca influência da zona saturada durante a investigação até 3 metros foi importante, pois foi possível mapear as massas de lixo com o lixiviado produzido (Figura 7.3), sendo que na investigação até seis metros, também foi possível detectar a pluma contaminante que coincide com o fluxo esperado a partir das fontes de contaminação para as zonas de descarga das águas.

Já o EM34 confirmou a presença das massas de lixo e influencia do lixiviado na

área do lixão, entretanto seus resultados não foram satisfatórios quanto ao mapeamento da pluma que avança para as zonas de descarga, a partir das áreas fonte, segundo o fluxo subterrâneo.

Estes resultados pouco satisfatórios se devem a influência cumulativa da camada mais resistiva interpretada das SEVs e confirmada como aquífero local. Como observado por MENDES (1987) a condutividade elétrica é aparente, ou seja, é o resultado da interação da condutividade de cada parcela do solo. A medida obtida é uma condutividade global, sendo uma resposta cumulativa do efeito de cada parcela do solo partindo da superfície até a profundidade de alcance dos equipamentos.

No caso estudado, como o aquífero é mais resistivo que as camadas superiores, sua contribuição na condutividade aparente final global é maior. Isto ocorre na área quando utiliza-se o EM34 em investigações mais profundas ultrapassando os 6 metros. Isso é mais notado, nas áreas onde o aquífero é mais raso, nas porções centro-norte. O mesmo ocorre sob a influência do lixiviado impactando as águas subterrâneas, que aumenta a condutividade elétrica da água. Entretanto, esse lixiviado não foi suficiente para conferir à condutividade global medida valores superiores às condutividades de *background*.

7.2.3 As variações dos níveis d'água no tempo

Os mapas potenciométricos e as Figuras 7.9, 7.10 e 7.11 demonstram as variações dos níveis d'água no tempo influenciados pelas chuvas. Tal fato está bem representado pelas segunda e terceira campanhas. A segunda campanha, que apresentou os níveis mais baixos foi realizada em 6 de agosto, numa época muito seca precedida por uma estiagem prolongada iniciada em março (Quadro 6.1). Com a chegada das primeiras chuvas, entre os dias 28 de agosto a 4 de setembro (Quadro 7.1), os níveis d'água elevaram-se, respondendo rapidamente à recarga induzida por estas primeiras chuvas.

Quadro 7.1 – Precipitações diárias dos meses de julho 2000 a janeiro 2001

DIA	julho 2000	agosto 2000	setembro 2000	outubro 2000	novembro 2000	dezembro 2000	janeiro 2001
1	0,0	0,0	8,6	0,0	0,0	4,4	0,0
2	■	0,0	44,2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	14,0	0,0	4,7	■	0,0
4	0,0	0,4	1,6	0,0	10,4	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	32,8	0,0
6	0,0	■	0,0	0,0	0,0	2,0	■
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	■	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,7	0,0	0,0	1,8	5,6	6,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0
13	0,0	0,0	26,0	0,0	52,2	0,0	12,8
14	0,0	0,0	8,6	0,0	8,8	34,5	8,4
15	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	0,0	0,0
16	26,0	9,0	1,0	0,0	0,0	9,7	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	0,0
18	0,0	9,3	2,3	0,0	8,8	1,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	0,0	0,0
20	0,4	0,0	0,0	38,8	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	12,2
22	0,0	0,0	0,0	0,0	28,6	0,0	3,6
23	23,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
24	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	2,0	0,0	29,0	44,0	39,3
26	0,0	0,0	0,0	0,1	18,6	0,5	0,0
27	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	4,0	0,0
28	0,0	33,0	0,0	■	0,0	62,0	16,0
29	0,0	12,2	0,0	0,0	0,0	8,2	
30	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	2,4	
31	0,0	0,0		0,0		13,5	
Dias de Chuva	4	6	9	7	13	16	16
Total (mm)	54,4	64,6	108,3	65,4	197,8	263,8	98,3

■ Dia da campanha de monitoramento e amostragem

Fonte – Instituto Agrônomo de Campinas - (IAC)

Figura 7.9 – Variações dos níveis d'água dos poços de monitoramento

A partir daí, as variações dos níveis d'água acompanharam as variações pluviométricas. Entretanto, há poços com características diferentes quando observadas as variações de seus níveis ao longo do tempo. De posse dos dados da segunda campanha mais seca e, quinta campanha, já na época mais chuvosa, foi elaborado o mapa da Figura 7.12, que apresenta as variações dos níveis d'água entre estas duas campanhas, de onde tem-se que:

- os poços situados a montante e na linha dos divisores d'água (PMs 01, 02 e 04) apresentam as menores variações de seus níveis d'água (Figura 7.10);
- os poços próximos às massas de lixo (PMs 03, 06, 08, 09 e 10, exceto o PM11), apresentaram variações de níveis d'água mais significativas (Figura 7.11).

Quanto ao PM11, este está situado imediatamente a jusante de um dos diques de captação de águas superficiais e percoladas no lixão (Figura 7.12). Este dique encontra-se com água durante todo o ano, funcionando como um reservatório de armazenagem de água disponível continuamente para infiltração, mantendo assim com poucas variações os níveis d'água registrados no poço.

Figura 7.10 – Variações dos níveis d'água dos poços PM01, PM02 e PM04

Figura 7.11 – Variações dos níveis d'água dos poços PM03, PM06, PM08, PM09, PM10 e PM11

0 50 100 m
Escala

LEGENDA

- 575 — - Curvas topográficas
- 1,5 — - Curvas de isovariação dos níveis d'água subterrâneas
- PM 06
2,46 - Poço de monitoramento e variação do nível d'água (m)
- PC 01 - Poço cacimba
- — - Divisor aproximado das águas subterrâneas
- — - Contorno da curva de isocondutividade aparente de $10 \mu S/cm$ interpretada como a área com lixo disposto, obtida a partir dos caminhamentos eletromagnéticos (CEM) com o equipamento EM31
- — - Drenagem

Figura 7.12 - Mapa de variações dos níveis d'água (06/agosto a 03/dezembro de 2000)

Ao contrário do que ocorre a montante, a superfície da área do lixão apresenta-se bastante regularizada com baixas declividades e, apesar da cobertura vegetal estar restrita à porção sul, toda a área do lixão compreende uma grande superfície de interceptação das águas precipitadas, pois não há sistemas de drenagem que separem as águas pluviais das águas percoladas. Estas misturam-se, parte escoam superficialmente, e também infiltram-se. Como existe um grande volume infiltrado, isso acaba causando uma elevação do nível freático, imediatamente abaixo do resíduo, devido a maior permeabilidade do lixo. Esse efeito é mostrado por (HOLMES 1983 *apud* GUIGUER, 1987) e FREEZE & CHERRY (1979).

Tal fato apresenta indícios de estar ocorrendo, pois são comuns as surgências de lixiviado nas periferias das áreas com resíduos, principalmente na época das chuvas. Essas águas sequeam para fora das canaletas e daí para o dique de contenção. Adicionalmente notou-se que com a precipitação há uma elevação do nível freático, ocasionando o deslocamento do divisor d'água original (PM01) junto ao limite NW da área de estudo (Figura 7.13).

Figura 7.13 – Seção esquemática do nível d'água abaixo do aterro

7.3 Qualidade das águas subterrâneas

Foram realizadas seis campanhas de amostragens das águas subterrâneas nos poços de monitoramento. Estas campanhas foram realizadas no período de julho de 2000 a janeiro de 2001, sendo as campanhas de agosto e novembro mais completas e representativas de épocas mais seca e chuvosa, respectivamente.

7.3.1 As variações das condutividades elétricas ao longo do tempo

A água é um solvente de muitos sais e alguns tipos de matéria orgânica, sendo eficiente na dissolução por possuir alta constante dielétrica e suas moléculas tenderem a combinar com outros íons para formar íons hidratados. A água subterrânea pode ser vista como uma solução eletrolítica, pois aproximadamente todos os constituintes maiores e menores dissolvidos estão presentes na forma iônica. Em geral os constituintes iônicos dissolvidos podem ser determinados pela capacidade da água de conduzir corrente elétrica. Esta propriedade é definida como condutividade elétrica sendo expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$.

As condutividades elétricas (CEs) das amostras variaram de 11,8 a 1.929,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e foi assumido que valores até 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são considerados como valores de *background*, estabelecido a partir do PM02, que está localizado a montante do lixão e livre de sua influência.

As Figuras 7.14 e 7.15 apresentam as curvas de isovalores das condutividades de 06 agosto e 03 dezembro de 2000, respectivamente.

0 50 100 m
Escala

PM 07
17.3

LEGENDA

- Curvas topográficas
- Curvas isocondutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{m}$)
- Poço de monitoramento e condutividade elétrica medida ($\mu\text{S}/\text{m}$)
- Poço cacimba
- Contorno da curva de isocondutividade aparente de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ interpretada como a área com lixo disposto, obtida a partir dos caminhamentos eletromagnéticos (CEM) com o equipamento EM31
- Drenagem

Figura 7.14 - Mapa de isocondutividades elétricas (06/agosto/2000)

0 50 100 m
Escala

PM 07
50.4

LEGENDA

- Curvas topográficas
- Curvas Isocondutividades elétricas ($\mu S/m$)
- Poço de monitoramento e condutividade elétrica medida ($\mu S/m$)
- Poço cacimba
- Contorno da curva de isocondutividade aparente de $10 \mu S/cm$ interpretada como a área com lixo disposto, obtida a partir dos caminhamentos eletromagnéticos (CEM) com o equipamento EM31
- Drenagem

Figura 7.15 - Mapa de Isocondutividades Elétricas (03/Dezembro/2000)

Figura 7.16 – Variações das condutividades elétricas ao longo do tempo dos poços com valores acima de 80 $\mu\text{S/cm}$

A influência das chuvas, que contribuem significativamente na disponibilidade de água para infiltração, lixiviação e solubilização, gera comportamentos interessantes a serem considerados:

- o PM06 situado sob influência da porção central onde há menos lixo disposto e que, inicialmente possui valores abaixo do *background* no período seco, possui, entretanto, seus valores triplicados com a chegada das chuvas. Enquanto o PM05, situado na mesma vertente, mas do outro lado da drenagem, conservou valores sempre abaixo do *background*. Portanto, quando se observa a distribuição das massas de lixo (Figuras 7.14 e 7.15) e os mapas potenciométricos (Figuras 7.7 e 7.8), nota-se que somente o PM06 está sob influência da água que percolou a área com lixo; mostrando a influência direta das chuvas na lixiviação/solubilização dos constituintes do lixo;

- o PM11 apresentou as CE mais altas registradas na área durante todas as campanhas (1650,0 a 1929,0 $\mu\text{S/cm}$), havendo um pequeno aumento com a chegada das chuvas. Novamente acredita-se à influência das chuvas no percolado, embora com pouca variação ao longo do tempo. Isto se deve, conforme observado anteriormente para as variações dos níveis d'água, ao fato do poço estar situado imediatamente a

jusante de um dos diques de captação de águas superficial e percolada no lixão. Este dique encontra-se com água durante todo o ano, funcionando como um reservatório de armazenagem de percolado disponível continuamente para infiltração, mantendo com poucas variações os níveis d'água e da condutividade elétrica (2000 $\mu\text{S/cm}$ em média durante os monitoramentos).

- o PM01 aumentou a CE significativamente na segunda campanha em decorrência do início das chuvas após longo período de estiagem. Tal fato pode estar relacionado à infiltração e à elevação do nível d'água dentro do lixão, deslocando o divisor d'água da área do PM01 para dentro do lixão, e o fluxo se fazendo em direção ao PM01, neste instante pertencente a outra microbacia a noroeste (Figura 7.13).

A distribuição dos poços pela área, e os mapas de isovalores de CE e potenciométricos indicam que a pluma de contaminação atingiu as águas subterrâneas e avançou para além dos limites do lixão:

- na porção sul a pluma avançou para a outra microbacia comprometendo a qualidade de suas águas (PM03);

- na porção central, o impacto é menor, devido à distribuição e menor quantidade de lixo nesta área. Na época de seca as CE nos PMs 05, 06 e 07 estão abaixo do *background*. Entretanto, durante a época das chuvas, a pluma avança pelo lado da vertente que possui lixo disposto, impactando as águas subterrâneas, como comprovado pela elevação da CE no PM06 (175,8 $\mu\text{S/cm}$). A 200 m a jusante o PM07, entretanto, não se registra mais os indícios de contaminação apresentando 50,4 $\mu\text{S/cm}$;

- a porção norte é a mais impactada devido a grande quantidade de lixo ali disposto atualmente. O lixo ocupa toda esta área, cuja frente de disposição, drenos e diques de lixiviados, encontram-se muito próximos das surgências da vertente norte que contribuem ao córrego. O aumento da quantidade de lixo e, da infiltração principalmente pelas chuvas, sugerem o aumento do nível d'água dentro do lixão, deslocando o divisor d'água e alterando o fluxo em direção à microbacia vizinha a noroeste (Figura 7.13). E também, o contínuo lançamento de lixo e a presença de valas e diques abertos no solo sem qualquer impermeabilização aumentam a superfície de infiltração destas águas percoladas, fazendo com que a contaminação chegue às águas superficiais, como indicado pelo PM12 (280,0 a 1063,0 $\mu\text{S/cm}$), situado imediatamente ao lado do córrego e do exutório da vertente norte, ou seja, na área

principal de convergência das águas subterrâneas, que compreendem a principal área de descarga da vertente.

7.3.2 Caracterização da composição química da água

O ANEXO 3 apresenta as concentrações dos elementos químicos nas águas subterrâneas durante o monitoramento de julho de 2000 a início de janeiro de 2001. O balanço iônico apresentou alguns valores acima do recomendado, isto pode ter ocorrido devido a falta de mais informações e a restrição dos trabalhos de campo, entretanto este trabalho não analisa ambientes geoquímicos, a ênfase é a caracterização com geofísica

Dos 31 parâmetros analisados, 21 ocorrem em concentrações acima dos valores de *background* (PM02), e ainda, comparando estas concentrações com os valores máximos permitidos (VMPs) pelos padrões de potabilidade da Portaria 36 do Ministério da Saúde tem-se que os constituintes Cl^- , NO_3^+ , Fe total, Mn^{2+} , Al^+ e Ba^+ podem ocorrer em concentrações acima das permitidas, caracterizando estas águas como impróprias para o consumo humano.

Estes resultados evidenciam a influência do lixo sobre a mineralização total das águas subterrâneas. De posse dos íons maiores (Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , e SO_4^{2-}), que caracterizam a composição química das águas naturais e normalmente compreendem mais que 90% dos sólidos totais dissolvidos (FREEZE & CHERRY, 1979), plotou-se no diagrama de Piper (Figura 7.17) as amostras coletadas nas campanhas de agosto e novembro, mais completas e representativas de épocas mais seca e chuvosa, respectivamente.

O diagrama evidencia que as águas menos mineralizadas, consideradas não contaminadas, são bicarbonatadas mistas. Estas são normalmente associadas as águas de recarga pela chuva e comuns ao Sistema Aquífero Tubarão (DAEE, 1981). Já as águas consideradas contaminadas são cloretas-sódicas, cujos íons cloreto e sódio são bastante comuns em chorumes de lixões domésticos.

As correlações de Pearson (ANEXO 4) demonstram a relação elevada entre a condutividade elétrica e os eletrólitos Cl^- e Na^+ (0,96 e 0,97) destas águas. Esta relação torna-se mais evidente quando a comparação é feita com os poços considerados não contaminados ($<80\mu\text{S/cm}$) e contaminados ($>80\mu\text{S/cm}$), os quais apresentam as

correlações (0,17 e 0,47), e (0,95 e 0,96), respectivamente para estes poços e eletrólitos (ANEXO 4)

Os mapas das figuras 7.18 e 7.19 apresentam as isoconcentrações dos eletrólitos cloreto e sódio, e demonstram estreita relação com a distribuição das condutividades elétricas (Figuras 7.14 e 7.15).

E, novamente, comparando estes mapas com os mapas de isocondutividades aparentes obtidos pelos caminhamentos eletromagnéticos (CEMs) com o EM31 (Figura 7.3), que apresentou os melhores e mais significativos resultados, tem-se uma boa correlação, inclusive com os fluxos advectivos e dispersivos esperados a partir das fontes de contaminação para as zonas de descarga do aquífero.

DIAGRAMA DE PIPER

- - Amostras consideradas não contaminadas (2ª campanha em 06/08/2000)
- - Amostras consideradas contaminadas (2ª campanha em 06/08/2000)
- - Amostras consideradas não contaminadas (5ª campanha em 03/12/2000)
- - Amostras consideradas contaminadas (5ª campanha em 03/12/2000)

Figura 7.17 - Diagrama de Piper

PM 07
0.78

LEGENDA

- Curvas topográficas
- Curvas Isoconcentração de cloreto (mg/L)
- Poço de monitoramento e concentração de cloreto medida
- Poço cacimba
- Contorno da curva de isocondutividade aparente de 10 μ S/cm interpretada como a área com lixo disposto, obtida a partir dos caminhamentos eletromagnéticos (CEM) com o equipamento EM31
- Drenagem

Figura 7.18 - Mapa de isoconcentrações de cloreto (06/agosto/2000)

0 50 100 m
Escala

PM 07
2.0

LEGENDA

- 575 - Curvas topográficas
- 125 - Curvas de isoconcentrações de sódio (mg/L)
- PM 11 223.8 - Poço de monitoramento e concentração de sódio medida
- PC 01 - Poço cacimba
- [Shaded area] - Contorno da curva de isocondutividade aparente de 10 μ S/cm interpretada como a área com lixo disposto, obtida a partir dos caminhamentos eletromagnéticos (CEM) com o equipamento EM31
- [Line] - Drenagem

Figura 7.19 - Mapa de isoconcentrações de sódio (06/agosto/2000)

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST11

SONDAGEM A TRADO 4"

PM01

POÇO DE MONITORAMENTO

7.3.3 Distribuição dos principais constituintes e da pluma de contaminação

Para efeito de interpretação da distribuição dos constituintes, a área sob influência do lixão foi dividida em cinco porções, segundo as informações obtidas das investigações geofísicas, potenciometrias e distribuição das CEs.

A área a montante foi dividida em duas porções. Uma considerada de *background* (PM02) e, portanto, livre da influência das massas de lixo enterradas. E uma outra porção à montante noroeste (PM01) sob influência da elevação do nível d'água dentro do lixão e deslocamento do divisor das águas subterrâneas.

A jusante há três outras porções. A norte que compreende a vertente mais próxima da atual área de disposição e do córrego, onde estão situados os poços PMs 08, 09, 10, 11 e 12. A porção central, com menos lixo disposto, onde estão os PMs 05, 06 e 07. E por fim a porção sul sob influência da antiga área de disposição, cuja pluma avançou para a outra microbacia (PMs 03, 04 e PC01).

A Tabela 7.3 sintetiza a distribuição dos constituintes analisados. Destacam-se os parâmetros Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , Fe^{3+} , Mn^{2+} e Alc em concentrações superiores a 5 mg/L, sendo o cloreto e o sódio os mais marcantes e, secundariamente o cálcio e magnésio.

Tabela 7.3 – Distribuição dos constituintes analisados na área de estudo

	Porção Norte	Porção Central	Porção Sul	Montante (PM01)
> Background	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+ - \text{NH}_4^+ - \text{NH}_3 - \text{N}_{\text{kjed}} - \text{NO}_3^- - \text{SO}_4 - \text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+} - \text{Mn}^{2+} - \text{Al}^+ - \text{Ba}^+ - \text{Cd}^{2+} - \text{Mo} - \text{Sn} - \text{Sr}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+ - \text{NH}_4^+ - \text{NH}_3 - \text{NO}_3^- - \text{SO}_4 - \text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+} - \text{Al}^+ - \text{Ba}^+ - \text{Sr}^{2+}$	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+ - \text{NH}_4^+ - \text{NH}_3 - \text{SO}_4 - \text{Alc} - \text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+} - \text{Mn}^{2+} - \text{Ba}^+ - \text{Mo} - \text{Sn} - \text{Sr}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+ - \text{NH}_4^+ - \text{SO}_4 - \text{Alc} - \text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+} - \text{Mn}^{2+} - \text{Al}^+ - \text{Ba}^+$
> 5 mg/L	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+ - \text{NH}_4^+ - \text{N}_{\text{kjed}} - \text{NO}_3^- - \text{SO}_4 - \text{Alc} - \text{Fe}^{3+} - \text{Mn}^{2+}$	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{NO}_3^- - \text{SO}_4 - \text{Alc}$	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+ - \text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^- - \text{SO}_4 - \text{Alc} - \text{Fe}^{3+}$	$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \text{SO}_4 - \text{Alc}$
0,1 a 5 mg/L	$\text{NH}_3 - \text{Al}^+ - \text{Ba}^+ - \text{Mo} - \text{Sn} - \text{Sr}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+ - \text{NH}_4^+ - \text{NH}_3 - \text{Fe}^{3+} - \text{Mn}^{2+} - \text{Al}^+ - \text{Ba}^+ - \text{Sn}$	$\text{NH}_3 - \text{Fe}^{2+} - \text{Mn}^{2+} - \text{Ba}^+ - \text{Mo} - \text{Sr}^{2+}$	$\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+ - \text{NH}_4^+ - \text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+} - \text{Mn}^{2+} - \text{Al}^+$
< 0,1 mg/L	Cd^{2+}	$\text{Cd}^{2+} - \text{Sr}^{2+}$	$\text{Sn} - \text{Zn}^{2+}$	

A maioria destes constituintes ocorrem em todas as porções impactadas, mas principalmente nas vertentes norte e sul. Na porção central o impacto é menor, em geral, as maiores concentrações são observadas no PM06 que está no lado da vertente que possui lixo enterrado

A série nitrogenada (NH_4^+ , NH_3 e NO_3^-), está presente principalmente na vertente norte, em especial no PM08 que apresentou concentrações elevadas ao longo de todas as campanhas. Estas concentrações se devem à proximidade do poço com as valas de disposição de resíduos hospitalares e dos resíduos da indústria LOPESCO ricos em matéria orgânica.

O restante dos metais estão presentes em concentrações que variam de 0,01 a <5mg/L, também em todas as porções impactadas, entretanto, nota-se que os metais pesados (Cd^{2+} , Mo, Sn, Sr^{2+} e Zn^{2+}), ocorrem quase que exclusivamente nas porções norte e sul.

Dentro da faixa de pH observado na área, estes metais são muito pouco móveis, sendo assim suas presenças se restringem às proximidades do lixão, até onde as condições redutoras favorecem sua mobilidade. Assim tem-se que os metais (ferro, alumínio, manganês e bário), e metais pesados ocorrem principalmente nos PMs 01, 03 e 11, que estão situados imediatamente ao lado das massas de lixo.

A tendência geral é o aumento das concentrações de todos os constituintes com o aumento das precipitações a partir do início das chuvas. Esta tendência no PM01, enfatizada principalmente pelos metais Fe, Mn, Al e Ba, confirmam o deslocamento do divisor devido ao aumento das precipitações com elevação do nível d'água dentro do lixão, criando um fluxo de águas contaminadas do lixão para o PM01 e daí para a outra microbacia a noroeste (Figura 7.13).

Um bom parâmetro indicador da poluição advinda de aterros, deve apresentar as seguintes características: ser encontrado no lixo; ser móvel na água; ser pouco sensível aos processos de troca iônica e outras reações químicas no solo para se manter em solução; ter baixas concentrações nas águas adjacentes não poluídas; e ser facilmente analisado. Os resultados do presente estudo mostraram que o cloreto, sódio e a CE são os melhores indicadores da contaminação das águas.

O cloreto é um íon que possui características que lhe confere grande utilidade na interpretação das análises das águas subterrâneas, tais como, estão presentes em vários tipos de rochas em concentrações muito baixas; não participam de forma significativa em reações de oxiredução; não formam nenhum complexo com outros

íons, a menos que a concentração de cloreto seja extremamente alta, não formam sais de baixa solubilidade; não são adsorvidos de forma significativa nas superfícies minerais e tem poucos papéis bioquímicos vitais.

Estas características o tornam um íon muito pouco reativo e sua pluma representa o alcance máximo da água impactada pelo lixiviado produzido no lixão. As concentrações de cloreto exibem um declínio gradual na direção do fluxo d'água subterrânea, isto é primeiramente atribuído à dispersão hidrodinâmica. Assim tem-se:

- na vertente norte, os teores de cloreto nos limites do lixão (PMs 08 e 11 durante os períodos seco e chuvoso) são cerca de 770 vezes (385mg/L) a mais de 1200 vezes (648mg/L) maiores que os de *background* (próximo a 0,5 mg/L). Observando-se os poços PM11 (próximo à área fonte) e PM12 (zona de descarga no córrego), temos que as concentrações diminuem em direção a zona de descarga, principalmente no período mais seco (54mg/L). No período mais chuvoso do monitoramento quando tornam-se mais elevadas as infiltrações e lixiviação do lixo, cerca de 36% (236mg/L) da concentração inicial foi descarregada nas águas superficiais do córrego;

- na vertente central, a concentração máxima encontrada no limite do lixão, dada pelo PM06, foi de 44 mg/L, mas a 200 m a jusante, o PM07 não apresentou mais cloreto acima do *background*;

- na porção sul não há poços suficientes para a delimitação da pluma, porém o PM03 apresentou uma concentração máxima de 236 mg/L, demonstrando que a pluma avança para além dos limites do lixão, já em outra microbacia, podendo atingir a surgência existente na drenagem próxima, que contribui no córrego principal;

- na porção à montante, há também, um avanço da pluma durante as épocas de chuva para outra microbacia a noroeste, devido a elevação do nível d'água dentro do lixão, alterando a linha de divisor e fluxo d'água subterrânea.

Salienta-se, ainda, que não foi possível realizar análises microbiológicas e de compostos orgânicos; contudo, a presença de coliformes e fenol detectado por PROMINER (1996), pode estar indicando a presença destes nas águas subterrâneas.

8 Conclusão

Do objetivo inicialmente proposto considera-se que impacto na qualidade das águas subterrânea foi caracterizado. Portanto, deste estudo conclui-se:

- o lixão está impactando as águas subterrâneas em sais, metais e metais pesados; e também, apesar de não terem sido realizadas análises microbiológicas e compostos orgânicos, há a possibilidade de contaminação destas águas por estes parâmetros;

- o aquífero é definido como do tipo livre e raso com profundidade média na área de estudo de 8 metros, e seu nível de base e da sua descarga local é dado pelo topo do aquítarde, pois o contorno de sua superfície possui a mesma tendência da potenciometria da área, que possui fluxo predominante no sentido W-E, sendo que numa pequena porção ao sul ocorre o divisor de águas subterrâneas, cujo traçado N-S faz com que parte de suas águas converjam para a vertente imediatamente próxima ao limite sul do lixão, comprometendo a qualidade das águas subterrâneas da microbacia vizinha;

- a potenciometria apresenta uma variação condicionada às características pluviométricas do clima da região. Nos meses mais secos, os níveis estão mais baixos e elevam-se com a chegada das chuvas;

- devido a conformação da superfície bastante regularizada do lixão e da distribuição das massas de lixo, toda a área compreende uma grande superfície de interceptação das águas precipitadas. Isto faz com que um grande volume de água infiltre e eleve o lençol freático, imediatamente abaixo do resíduo, devido a maior permeabilidade do lixo. Com esta elevação há o deslocamento do divisor d'água original para dentro da área de disposição, e alteração do fluxo das águas para a outra microbacia à montante noroeste;

- as condutividades elétricas também estão relacionadas a pluviometria e aos íons cloreto e sódio, pois em épocas de chuva aumenta a disponibilidade de água que percola o lixão, lixiviando seus constituintes;

- a partir da interpretação da SEVs foi possível definir um modelo de camadas geoeletricas para a área. Estas camadas são correlacionáveis às camadas não saturada e saturada, mas principalmente ao aquítarde definido a partir das perfurações;

- os CEMs com EM31 em investigações até 6 metros apresentaram os resultados mais significativos, sendo possível mapear as massas de lixo enterradas, e

também detectar a pluma contaminante que coincide com o fluxo esperado a partir das fontes de contaminação para as zonas de descarga,

- os CEMs com o EM34 confirmaram a presença das massas de lixo e influência do lixiviado dentro da área do lixão, entretanto, seus resultados são pouco satisfatórios para o mapeamento da pluma, segundo o fluxo subterrâneo. Isto se deve a influência da camada resistiva correlacionada ao aquitarde, pois a influência cumulativa de sua parcela nas condutividades aparentes globais é muito elevada, sobretudo na investigações superiores a 6 metros;

- a aplicação de métodos indiretos representados pelas investigações geofísicas nos procedimentos de SEV e CEM, mostraram-se útil no estudo de caracterização do impacto, contribuindo para uma melhor representatividade das investigações diretas,

- a tendência geral é o aumento das concentrações, de todos os constituintes analisados, com o aumento das precipitações a partir do início das chuvas, sendo que os principais indicadores do impacto nas águas subterrâneas são a CE, cloreto e o sódio;

- estes indicadores indicam que há alteração na qualidade das águas subterrâneas, cujo os principais impactos se dão na vertente norte com a contaminação atingindo as águas superficiais do córrego; na vertente central o impacto é menor com o avanço da pluma somente na época das chuvas; e nas porções sul e noroeste, não há poços suficientes para delimitação da pluma, contudo, esta avança para além dos limites do lixão, já em outras microbacias.

- e por fim, temos como resultado, que um estudo clássico de avaliação de impacto conduzido a partir de um reconhecimento prévio do empreendimento, geologia e feições hidrogeológicas, seguido de investigações indiretas, neste caso das sondagens elétricas verticais e caminhamentos eletromagnéticos com investigação até seis metros com o EM31, são de grande valia para a melhoria da avaliação e representatividade dos métodos diretos para a caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas

Referências Bibliográficas

- APPELO, D.; POSTMA, C. A. J. (1993) *Geochemistry, groundwater and pollution*. 4ed. Rotterdam, A. A. Balkema. 536p.
- APHA, AWWA, WPCF. (1999) *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 14th edition.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE. (1996) *Ensaio de permeabilidade em solos*. São Paulo, ABGE. 19p. (Boletim nº4, 3ª Edição Revisada).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1985) *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento: NBR-8419*. São Paulo, ABNT, 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1985) *Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos – Procedimento: NBR-8849*. São Paulo, ABNT, 9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1987) *Resíduos sólidos – Classificação: NBR-10004*. Rio de Janeiro, ABNT. 63p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1987) *Lixiviação de resíduos – Procedimento: NBR-10005*. Rio de Janeiro, ABNT. 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1987) *Solubilização de resíduos – Procedimento: NBR-10006*. Rio de Janeiro, ABNT. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1987) *Amostragem de resíduos – Procedimento: NBR-10007*. Rio de Janeiro, ABNT, 25p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1989) *Degradação do solo - Terminologia*. Rio de Janeiro, ABNT. 45p. (NBR-10703/89).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1997) *Construção de poços de monitoramento e amostragem*. Rio de Janeiro, ABNT. 21p. (NBR-13895).

BASOKUR, A.T. (1990) Microcomputer program for the direct interpretation of resistivity sounding data. *Computer & Geosciences*, v.16, n.4, p.587-601.

BOIAN, C. (1995) *Aplicação geofísica a estudos ambientais em sedimentos do Grupo Bauru: aterro sanitário de São José do Rio Preto (SP)*. Rio Claro, 173p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

BRAGA, C.O. (2000) Métodos geoeletricos aplicados à hidrogeologia. In: CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. *Apostila*. Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

CRERRY, J.A. (1984) *Groundwater contamination*. In: MAC SHORT COURSE HANDBOOK, University of Waterloo. Waterloo, Ontario, nº10, p.269-306.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. (1979) *Manual de instruções básicas para execução de aterro sanitário*. São Paulo, CETESB / Secretaria do Meio Ambiente. (Anexo 3).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. (1993) *Caracterização e estudo de tratabilidade de líquidos percolados de aterros sanitários*. São Paulo, CETESB/Secretaria do Meio Ambiente, 66p.

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. (1997) *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo - 1997*. São Paulo, CETESB / Secretaria do Meio Ambiente, 288p. (Série Relatórios).
- COSTA, A.F.U.; FERLIN, C.A. (1993) Aplicação prática de métodos elétricos na detecção e monitoramento da contaminação de águas subterrâneas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 3., Rio de Janeiro, 1993. *Resumos expandidos*. Rio de Janeiro-RJ, SBGF. p.1210-1212.
- COSTA , W.D.; SANTOS, A.C. (1983) A possibilidade de poluição das águas subterrâneas, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Recife. *Anais*. Recife, ABAS/DNPM/CPRM, p.217-223.
- CUSTODIO & LHAMAS. (1981) *Hidrologia subterrânea*. Barcelona, Ediciones Omega. 2 v.
- DEHAINE, 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.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. (1981) *Estudo da águas subterrâneas - Região Administrativa 5 - Campinas*. São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica/Diretoria de Planejamento e Controle. v.2, 112p.
- ELLERT, N.; GREENHOUSE, J.; WILLIAMS, M.M.; MENDES, J.M.B.; HASSUDA, S. (1986) A geofísica aplicada na identificação da poluição do subsolo por depósitos de rejeitos urbanos e industriais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 4., Brasília, 1986. *Anais*. Brasília-DF, ABAS, p. 528-532.

- ELLERT, N. & ROSA FILHO, E. (1988) A geofísica aplicada na detecção de lixo urbano enterrado. Exemplo: Curitiba, Paraná-BR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRANEAS, 5., São Paulo, 1988. *Anais*. São Paulo-SP, ABAS, p.237-246.
- ELLERT, N.; ROSS, S.; MENDES, J.M.B.; MARTIIN, E. (1990) Mapeamento geofísico do lixão de São Carlos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRANEAS, 6., Porto Alegre, 1990. *Anais*. Porto Alegre-RS, ABAS, p.82-88.
- FREEZE, A.R.; CRERRY, J.A. (1979) *Groundwater*. New Jersey, Prentice Hall. 598p.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (1992) *Pesquisa nacional de saneamento básico, PNSB, 1989*. São Paulo, IBGE, 70p.
- GIMENEZ, N.L.B. (1996) *Estudo petrológico dos arenitos da Formação Tatui no Estado de São Paulo*. Rio Claro, 174p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- GONÇALVES, A.R.L.; BOSSOLAN, N.R.S.; ORLANDO, M.J.G. (1992) Determinação da direção do fluxo freático no aterro de São Carlos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRANEAS, 7., Belo Horizonte, 1992. *Anais*. Belo Horizonte-MG, ABAS, p.114-118.
- GREEN & MARGERISON. (1978) *Statistical treatment of experimental data*. New York, Elsevier Suene Publishing Company.
- GREENHOUSE, J.P.; MONIER WILLIAMS, M.; ELLERT, N. & MENDES, J.M.B. (1987) Geophysical studies of groundwater contamination at two studies in São Paulo,

Brasil. In: I CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE HIDROLOGIA URBANA Y CONTAMINATION DE ACUIFEROS, 1, Bolívia, 23-26 de fevereiro. *Anais*, Cochabamba, Bolívia.

GUIGUER, N. (1987) *Poluição das águas subterrâneas causadas por aterros sanitários: uma abordagem matemático-experimental*. São Paulo, 250p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

HASSUDA, S. (1997) *Critérios para gestão de áreas suspeitas ou contaminadas por resíduos sólidos – estudo de caso na região metropolitana de São Paulo*. São Paulo, 142p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

INSTITUTO GEOLÓGICO DE SÃO PAULO – IG. (1997) *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo, IG/CETESB/DAEE/Secretaria do Meio Ambiente, 129. (Série Documentos).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS 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 TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT. (1981b) *Mapa geológico do Estado de São Paulo – escala 1: 500.000*. São Paulo, IPT/DMGA, 2v. (Monografias IPT, 6).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT. (1995) *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento intergrado*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo/CEMPRE, 278p. (Publicação IPT 2163).

LIMA, L.M.Q. (1991) *Tratamento de lixo*. Hemus Editora Limitada, 2ªed. 240p.

- MENDES, G.M.B. (1987) *Técnicas geofísicas aplicadas no mapeamento e monitoramento de poluição e contaminação de águas subterrâneas*. São Paulo, 186p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- NICHOLSON, R.V.; CHERRY, J.A.; REARDON, E.J. (1983) Migration of contaminants in groundwater and a landfill: A case study. *Journal of Hydrology*, v.63, p.131-176.
- NORTHFLEET, A.A.; MEDEIROS, R.A.; MUHLMANN, H. (1969) *Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, v.12, nº03, p.231-346. (Boletim Técnico da Petrobrás).
- PARISOT, E.H.; GUIGUER Jr., N.; REBOUÇAS, A.C.; CABRAL Jr., D.; DUARTE, U. (1985) *Monitoramento das águas subterrâneas adjacentes no aterro sanitário de Taubaté, SP - Primeiros resultados*. Instituto de Geociências – USP, 13p. (Boletim, 16).
- PETRI, S.; FULFARO, V.J. (1983) *Geologia dos Brasil*. T.A. Queiroz. 631p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE TATUÍ – PMT. (1990) *Projeto de aterro sanitário*. Tatuí, PMT, 17p. (Relatório Técnico).
- PREFEITURA MUNICIPAL DE TATUÍ – PMT. (1994) *Estudo de impacto Ambiental e relatório de impacto ambiental de uma usina de reciclagem de lixo doméstico e de um incinerador de resíduos sólidos, Tatuí, SP*. Tatuí, PMT, v.1-2, 57p. (Relatório Técnico).
- PROMINER PROJETOS. (1996) *Diagnóstico preliminar e plano de recuperação do vazadouro municipal de Tatuí*. São Paulo, PROMINER, 32p. (Relatório Técnico).

SCUDINO, P.C.B. (1992) Avaliação hidrogeológica em área de disposição de resíduos sólidos, com risco de poluição de aquíferos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 7. Belo Horizonte. *Anais*. Belo Horizonte, ABAS, p.128-135.

TANDEI, R.Y. (1998) *Contribuição ao estudo da poluição provocada no aquífero freático e no solo pelo aterro controlado da cidade de rio Claro, SP*. São Paulo, 143p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

ANEXO 1**SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS (SEVs)**

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV - 01

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV - 02

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV - 03

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV - 04

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV - 05

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV - 06

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV - 07

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV - 07

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV - 08

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL: SEV 09

ANEXO 2**SEÇÕES LITOLÓGICAS E CONSTRUTIVAS**

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST11

SONDAGEM A TRADO 4"

PM01

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST08

SONDAGEM A TRADO 4"

PM02

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST12

SONDAGEM A TRADO 4"

PM03

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST01

SONDAGEM A TRADO 4"

PM04

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST02

SONDAGEM A TRADO 4"

PM05

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST03

SONDAGEM A TRADO 4"

PM06

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST04

SONDAGEM A TRADO 4"

PM07

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST10

SONDAGEM A TRADO 4"

PM08

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST09

SONDAGEM A TRADO 4"

PM09

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST07

SONDAGEM A TRADO 4"

PM10

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST06

SONDAGEM A TRADO 4"

PM11

POÇO DE MONITORAMENTO

SEÇÃO LITOLÓGICA E CONSTRUTIVA

ST05

SONDAGEM A TRADO 4"

PM12

POÇO DE MONITORAMENTO

ANEXO 3**ANÁLISES QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Análises químicas da 1ª campanha realizada em 02 de julho de 2000

[illegible]

Análises químicas da 2ª campanha realizada em 06 de agosto de 2000

PARÂMETROS	Unidade	PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07	PM08	PM09	PM10	PM11	PM12	PC01	L.D.	Portaria 36
CE	uS/cm	161,10	77,00	656,00	70,40	80,90	190,20	66,50	136,30	320	107,00	1805,00	333,00	70,40	-	-
STD	mg/L	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
PH		6,07	5,18	5,85	5,41	4,96	5,13	5,02	4,51	5,03	5,35	5,33	5,37	5,41	-	-
T	°C	24,10	23,20	22,70	23,60	23,30	23,6	23,30	23,40	23,00	22,40	21,60	21,70	23,60	-	-
Alc	mg/L	39,00	19,00	64,00	28,00	19,00	14,00	19,00	17,00	21,00	23,00	44,00	19,00	27,00	-	-
Na	mg/L	3,00	1,70	51,00	3,50	2,10	6,90	2,00	172,00	5,10	6,50	223,00	14,00	1,50	< 0,05	-
Cl	mg/L	0,48	0,36	102,00	4,20	0,35	31,00	0,78	385,00	8,40	12,00	534,00	54,00	0,05	< 0,5	250
K	mg/L	1,30	0,18	12,00	1,50	0,78	1,10	0,72	5,70	0,88	2,10	9,80	3,10	0,76	< 0,5	-
Ca	mg/L	0,93	0,70	8,01	0,75	0,96	1,77	0,43	29,10	1,59	1,48	27,84	6,92	0,61	< 0,05	-
Mg	mg/L	0,61	0,16	8,50	1,20	0,78	3,10	0,57	19,00	0,87	1,00	25,00	5,70	0,56	< 0,05	-
SO ₄	mg/L	1,20	< 0,50	1,46	0,50	< 0,50	0,72	< 0,50	28,00	0,50	0,64	10,00	0,86	< 0,50	< 0,5	400
NH ₄	mg/L	0,85	0,01	6,40	0,09	0,01	0,13	0,01	88,00	0,01	0,61	26,00	0,01	0,01	< 0,01	-
NO ₃	mg/L	< 0,50	< 0,50	< 0,05	0,50	< 0,50	< 0,50	0,50	22,00	0,62	< 0,50	0,94	6,90	< 0,50	< 0,5	10
NO ₂	mg/L	< 0,50	< 0,50	< 0,05	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	-
N Kield	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,1	-
N Amon.	mg/L	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,02	-
Fe 2+	mg/L	0,19	< 0,05	3,90	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,39	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-
Fe 3+	mg/L	5,70	37,00	953	175	1,30	0,88	5,70	2,40	1,50	19,00	24	9,20	1,50	< 0,05	0,30
Mn	mg/L	0,91	< 0,05	1,00	0,15	0,19	0,18	< 0,05	9,80	0,12	0,13	27	0,23	< 0,05	< 0,05	0,10
Al	mg/L	0,17	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,44	0,70	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,20
Ba	mg/L	0,14	< 0,05	0,55	0,17	0,09	0,40	< 0,05	1,10	0,09	0,16	3,20	1,10	< 0,05	< 0,05	1,00
Cd	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,08	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,005
Co	mg/L	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,05	-
Cr	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-
Cu	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,00
Hg	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,17	0,44	< 0,10	< 0,10	0,27	< 0,10	0,20	< 0,10	1,00
Li	mg/L	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,05	-
Mo	mg/L	< 0,05	< 0,05	0,11	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,21	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-
Ni	mg/L	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,05	-
Pb	mg/L	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,05	0,05
Sn	mg/L	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,10	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-
Sr	mg/L	< 0,05	< 0,05	0,28	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	0,43	< 0,05	< 0,05	0,45	0,19	< 0,05	< 0,05	-
Ti	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-
V	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-
Zn	mg/L	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,38	< 0,05	< 0,05	0,09	< 0,05	< 0,05	< 0,05	5,00
Zr	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-
Balanço iônico (%)	-	2,48	0,68	8,59	-15,08	-2,00	-20,38	42,95	-16,62	-53,58	-48,80	-50,98	-36,66	-64,28	-	-

Análises químicas da 3ª campanha realizada em 08 de setembro de 2000

[illegible]

Análises químicas da 4ª campanha realizada em 28 de outubro de 2000

[illegible]

Análises químicas da 5ª campanha realizada em 03 de dezembro de 2000

PARÂMETROS	unidades	PM01	PM02	PM03	PM04	PM05	PM06	PM07	PM08	PM09	PM10	PM11	PM12	PC01	L.D.	Portaria 36
CE	uS/cm	53,10	13,90	890,00	39,30	37,00	175,80	50,40	132,20	508,00	330,00	1929,00	1063,00	19,20	—	-
STD	mg/L	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	—	-
PH		5,60	5,35	6,02	5,36	5,52	4,40	5,04	4,79	4,36	5,09	4,97	4,64	5,33	—	-
T	°C	23,80	23,70	22,90	23,20	23,30	22,70	23,70	22,90	22,30	23,20	22	20,70	22	—	-
Alc	mg/L	55,00	12,00	139,00	23,00	21,00	9,10	6,00	17,00	0,00	45,00	13,00	13,00	20,00	—	-
Na	mg/L	5,70	0,62	78,00	2,40	1,30	41,00	1,80	6,40	71,00	26,00	320,00	97,00	0,31	< 0,05	-
Cl	mg/L	5,00	< 5	125,00	< 5	< 5	44,00	< 5	20,00	77,00	87,00	648,00	236,00	< 5	< 0,5	250
K	mg/L	1,58	0,35	41,10	5,30	1,10	1,50	1,80	1,40	1,20	5,50	31,00	23,00	1,00	< 0,05	-
Ca	mg/L	1,39	0,13	21,40	3,30	1,20	2,40	0,98	4,90	11,00	11,00	49,00	34,00	0,63	< 0,05	-
Mg	mg/L	0,91	0,24	22,70	5,30	0,97	4,20	1,30	3,20	6,00	0,21	44,00	28,00	0,58	< 0,05	-
SO ₄	mg/L	7,40	2,00	12,00	1,20	4,30	4,00	11,00	5,00	3,80	5,40	4,70	7,90	1,10	< 0,5	400
NH ₄	mg/L	< 0,02	< 0,02	0,24	0,62	0,53	1,00	0,14	0,74	< 0,02	0,92	1,30	0,20	1,50	< 0,01	-
NO ₃	mg/L	1,00	< 0,5	< 0,5	2,00	< 0,5	12,00	0,96	23,00	103,00	8,70	45,00	57,00	4,50	< 0,5	10
NO ₂	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-
N Kjeldahl	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00	19,00	2,10	1,70	0,00	0,00	< 0,1	-
N Amoniacal	mg/L	< 0,02	< 0,02	0,24	0,62	0,53	1,00	0,14	0,74	< 0,02	0,92	1,30	0,20	1,50	< 0,02	-
Balanco iônico (%)	—	-26,05	-30,91	13,48	32,24	-8,60	18,23	25,90	-15,07	5,04	-26,85	2,15	6,98	-61,42	—	-

Análises químicas da 6ª campanha realizada em 06 de janeiro de 2000

[illegible]

ANEXO 4**CORRELAÇÕES DE PEARSON**

Correlação de Pearson entre todos os ppgos (PMs 01 - 02 - 03 - 04 - 05 - 06 - 07 - 08 - 09 - 10 - 11 - 12 e PC01)

	CE	STD	Alc.	Na	Cl	K	Ca	Mg	SO4	NH4	NO3	NO2	Nk	Nam	Fe2+	Fe3+	Mn	Al	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Zn	Zr	Nº de Amostras	
CE	1,00	n.c.	0,17	0,07	0,08	0,20	0,33	0,33	0,40	0,37	0,39	n.c.	0,01	0,20	0,04	0,08	0,34	0,08	0,01	0,39	0,49	0,08	0,14	-0,05	-0,01	0,12	0,31	0,07	0,11	0,03	0,10	0,07	0,17	0,13	78	
STD		n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.a.	
Alc			1,00	0,06	0,05	0,17	0,30	0,34	0,19	-0,03	-0,32	n.c.	-0,21	-0,16	0,73	0,30	0,51	0,78	0,39	-0,08	0,73	0,79	0,80	-0,09	0,77	0,93	0,33	0,79	0,43	0,38	0,83	0,79	0,82	0,81	26	
Na				1,00	0,99	0,11	0,28	0,25	0,31	0,48	0,42	n.c.	0,03	0,31	0,00	0,02	0,55	0,00	0,56	0,33	0,40	0,02	0,05	-0,07	-0,07	0,05	0,18	0,01	0,03	0,32	0,03	0,01	0,10	0,00	2	
Cl					1,00	0,07	0,22	0,21	0,33	0,50	0,41	n.c.	-0,03	0,34	-0,04	-0,02	0,67	-0,04	0,52	0,35	0,37	-0,04	0,01	-0,05	-0,10	0,00	0,14	-0,04	-0,01	0,02	-0,02	-0,03	0,05	0,01	78	
K						1,00	0,96	0,99	0,30	-0,06	-0,09	n.c.	-0,09	-0,28	0,85	0,85	0,62	0,93	0,93	-0,05	0,93	0,94	1,00	-0,07	0,77	0,97	0,89	0,94	0,97	0,84	0,98	0,94	0,97	0,97	26	
Ca							1,00	0,98	0,30	0,03	0,00	n.c.	-0,08	-0,30	0,81	0,85	0,64	0,94	0,94	0,03	0,94	0,98	-0,07	0,87	0,99	0,99	0,99	0,97	0,95	0,97	0,95	0,98	0,98	26		
Mg								1,00	0,38	0,00	-0,02	n.c.	-0,09	-0,28	0,83	0,87	0,69	0,92	0,89	0,00	0,89	0,93	0,98	-0,08	0,75	0,96	0,98	0,97	0,95	0,97	0,96	0,97	0,98	0,98	26	
SO4									1,00	0,34	0,30	n.c.	0,00	-0,44	0,24	0,19	0,55	0,27	0,39	0,30	0,47	0,27	0,29	0,08	0,49	0,35	0,39	0,27	0,31	0,77	0,28	0,27	0,34	0,28	78	
NH4										1,00	0,19	n.c.	-0,08	-0,30	0,83	0,87	0,69	0,92	0,89	0,00	0,89	0,93	0,98	-0,08	0,75	0,96	0,98	0,97	0,95	0,97	0,96	0,97	0,98	0,98	78	
NO3											1,00	n.c.	-0,08	-0,30	0,83	0,87	0,69	0,92	0,89	0,00	0,89	0,93	0,98	-0,08	0,75	0,96	0,98	0,97	0,95	0,97	0,96	0,97	0,98	0,98	78	
NO2												n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	78	
Nk													1,00	-0,13	-0,10	-0,13	-0,08	-0,09	-0,11	-0,08	-0,21	-0,02	-0,09	0,42	-0,20	-0,09	-0,21	-0,09	-0,10	n.c.	-0,09	-0,10	-0,09	-0,08	26	
Nam														1,00	-0,38	-0,38	-0,44	-0,38	-0,15	n.c.	-0,22	-0,41	-0,33	0,10	-0,39	-0,37	-0,30	-0,38	-0,35	n.c.	-0,35	-0,39	-0,33	-0,33	26	
Fe2+															1,00	0,85	0,84	0,93	0,78	-0,08	0,89	0,95	0,85	-0,08	0,99	0,93	0,99	0,97	0,94	0,98	0,94	0,97	0,94	0,94	13	
Fe3+																1,00	0,45	0,45	0,65	-0,08	0,60	0,67	0,64	-0,09	0,81	0,85	0,86	0,89	0,86	0,87	0,88	0,87	0,87	13		
Mn																	1,00	0,65	0,67	0,20	0,64	0,65	0,61	-0,05	0,83	0,85	0,85	0,85	0,85	0,78	0,84	0,85	0,87	0,84	13	
Al																		1,00	0,78	-0,08	0,99	0,99	0,94	-0,08	0,94	0,98	0,95	1,00	0,99	0,40	0,99	1,00	0,98	0,98	13	
Ba																			1,00	-0,01	0,98	0,78	0,86	-0,11	0,71	0,78	0,66	0,78	0,79	0,64	0,80	0,79	0,83	0,83	13	
Cd																				1,00	n.c.	-0,08	-0,08	0,03	n.c.	0,04	n.c.	-0,08	-0,01	0,59	-0,08	-0,08	0,01	-0,07	13	
Co																					1,00	0,98	-0,18	0,99	0,87	0,91	0,90	0,98	n.c.	0,99	0,90	0,91	0,91	13		
Cr																						1,00	0,98	-0,07	0,91	0,95	0,95	0,99	0,99	n.c.	0,99	0,98	0,94	0,99	13	
Cu																							1,00	-0,07	0,78	0,97	0,87	0,94	0,96	n.c.	0,99	0,98	0,97	0,97	13	
Hg																								1,00	-0,12	-0,07	-0,12	-0,08	-0,08	0,68	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	13	
Li																									1,00	0,88	0,85	0,85	0,89	n.c.	0,89	0,94	0,90	0,90	13	
Mo																										1,00	0,97	0,99	1,00	0,88	0,99	0,98	0,98	0,98	13	
Ni																											1,00	0,96	0,97	n.c.#	0,97	0,92	0,92	0,92	13	
Pb																												1,00	0,99	n.c.	0,99	1,00	0,99	0,99	13	
Sn																													1,00	0,98	1,00	0,98	1,00	0,98	13	
Sr																														1,00	n.c.	n.c.	0,75	n.c.	13	
Ti																															1,00	0,99	0,98	1,00	13	
V																																1,00	0,95	0,96	13	
Zn																																	1,00	1,00	1,00	13
Zr																																		1,00	13	

Correlação com intervalo de confiança de 95% de significância (GREEN & MARGERISON, 1978)

Correlação de Pearson entre os poços com condutividade elétrica < de 80 µS/cm (PMs 01 - 02 - 05 - 07 e PC01)

	CE	STD	Ale	Na	Cl	K	Ca	Mg	SO4	NH4	NO3	NK	NaM	Fe	Ta	Mn	Al	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CE	1,00	0,27	0,46	0,47	0,17	0,27	0,87	0,30	0,87	0,17	0,02	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
STD	n.c.	1,00	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Ale	0,27	n.c.	1,00	0,55	0,10	0,75	0,77	0,73	0,73	0,75	0,77	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Na	0,46	0,55	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Cl	0,47	0,10	0,75	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
K	0,27	n.c.	0,75	0,75	1,00	1,00	0,99	0,46	0,46	0,46	0,22	0,18	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Ca	0,87	n.c.	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	0,46	0,46	0,46	0,22	0,18	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Mg	0,30	n.c.	0,75	0,75	0,75	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,23	0,17	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
SO4	0,87	n.c.	0,75	0,75	0,75	0,46	0,46	1,00	1,00	1,00	0,23	0,10	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
NH4	0,17	n.c.	0,75	0,75	0,75	0,46	0,46	0,58	0,58	0,58	0,05	0,23	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
NO3	0,02	n.c.	0,77	0,77	0,77	0,22	0,18	0,23	0,23	0,23	0,05	0,44	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
NK	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,18	0,18	0,17	0,10	0,10	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
NaM	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Fe	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Ta	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Mn	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Al	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Ba	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Cd	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Co	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Cr	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Cu	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Hg	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Li	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Mo	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Ni	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Pb	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Sn	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Sr	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Ti	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
V	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Zn	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00
Zr	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	1,00

Correlação com intervalo de confiança de 95% de significância (GREEN & MARGERISON, 1978)

Correlação de Pearson entre os poços com condutividade elétrica > de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (PMs 03 – 06 – 08- 09 – 10 – 11 e 12)

	CE	STD	Alc	Na	Cl	K	Ca	Mg	SO4	NH4	NO3	NO2	NK	Nam	Fe	s tot	Mn	Al	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Zn	Zr	Nº de Amostras			
CE	1,00	n.c.	0,11	0,08	0,05	0,16	0,34	0,29	0,31	0,43	0,32	n.c.	0,21	0,19	0,13	0,04	0,70	0,10	0,89	0,41	0,63	0,09	0,11	0,20	0,13	0,15	0,27	0,10	0,11	0,00	0,10	0,11	0,18	0,14	42			
STD		1,00	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.a.			
Alc			1,00	0,01	0,02	0,09	0,04	0,09	0,19	0,07	0,43	n.c.	0,28	0,23	0,09	0,04	0,47	0,07	0,06	0,12	0,77	0,03	0,07	0,12	0,08	0,06	0,05	0,08	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,07	0,04	14		
Na				1,00	0,98	0,06	0,24	0,19	0,48	0,49	0,27	n.c.	0,14	0,40	0,04	0,04	0,57	0,00	0,55	0,28	0,48	0,01	0,00	0,19	0,04	0,02	0,08	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,07	0,04	14			
Cl					1,00	0,09	0,19	0,14	0,23	0,43	0,26	n.c.	0,21	0,44	0,02	0,09	0,08	0,05	0,01	0,30	0,44	0,08	0,05	0,15	0,09	0,04	0,04	0,06	0,05	0,00	0,05	0,08	0,02	0,02	42			
K						1,00	0,98	0,06	0,24	0,11	0,17	n.c.	0,15	0,33	0,00	0,04	0,42	0,00	0,01	0,08	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14			
Ca							1,00	0,36	0,01	0,08	n.c.	0,19	0,30	0,57	0,01	0,51	0,07	0,00	0,04	0,00	0,07	0,13	0,08	0,04	0,00	0,06	0,07	0,04	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	14			
Mg								1,00	0,31	0,05	0,12	n.c.	0,17	0,30	0,00	0,01	0,49	0,00	0,00	0,04	0,02	0,07	0,08	0,12	0,00	0,07	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14			
SO4									1,00	0,19	0,21	n.c.	0,11	0,43	0,23	0,10	0,54	0,24	0,30	0,07	0,09	0,22	0,24	0,04	0,05	0,33	0,04	0,24	0,28	0,73	0,23	0,24	0,32	0,24	42			
NH4										1,00	0,06	n.c.	0,17	0,00	0,11	0,11	0,40	0,11	0,05	0,00	0,13	0,12	0,11	0,01	0,35	0,00	0,30	0,11	0,08	0,72	0,11	0,11	0,03	0,13	42			
NO3											1,00	n.c.	0,08	0,47	0,18	0,27	0,09	0,18	0,04	0,02	0,25	0,09	0,17	0,02	0,43	0,19	0,45	0,19	0,20	0,54	0,18	0,17	0,15	0,14	42			
NO2												1,00	n.c.	0,08	0,47	0,18	0,27	0,09	0,18	0,04	0,02	0,25	0,09	0,17	0,02	0,43	0,19	0,45	0,19	0,20	0,54	0,18	0,17	0,15	0,14	42		
NK													1,00	0,34	0,13	0,19	0,15	0,15	0,24	0,13	0,42	0,04	0,14	0,02	0,30	0,13	0,40	0,13	0,14	n.c.	0,13	0,13	0,14	0,12	14			
Nam														1,00	0,82	0,35	0,48	0,38	0,13	n.c.	0,13	0,45	0,39	0,19	0,35	0,37	0,30	0,35	n.c.	0,35	0,35	0,35	0,35	14				
Fe															1,00	0,82	0,41	0,00	0,75	0,08	0,07	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7				
s Tot																1,00	0,29	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7				
Mn																	1,00	0,41	0,05	0,18	0,02	0,41	0,41	0,10	0,00	0,43	0,00	0,41	0,42	0,77	0,41	0,41	0,44	0,40	7			
Al																		1,00	0,77	0,09	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7			
Ba																			1,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7			
Cd																				1,00	n.c.	0,09	0,08	0,00	n.c.	0,03	n.c.	0,08	0,03	0,02	0,08	0,08	0,00	0,00	7			
Co																					1,00	0,00	0,31	0,00	0,04	0,00	0,04	0,04	n.c.	0,00	0,00	0,00	0,00	7				
Cr																						1,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	n.c.	0,00	0,00	0,00	7				
Cu																							1,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	n.c.	0,00	0,00	0,00	7				
Hg																								1,00	0,17	0,10	0,19	0,09	0,09	0,01	0,09	0,09	0,09	0,09	7			
Li																									1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	n.c.	0,00	0,00	0,00	0,00	7			
Mo																										1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7			
Ni																											1,00	0,00	0,00	n.c.	0,00	0,00	0,00	0,00	7			
Pb																												1,00	0,00	n.c.	0,00	0,00	0,00	0,00	7			
Sn																													1,00	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	7			
Sr																														1,00	n.c.	n.c.	0,71	n.c.	7			
Ti																															1,00	0,00	0,00	0,00	7			
V																																1,00	0,00	0,00	7			
Zn																																	1,00	0,00	7			
Zr																																		1,00	7			
Correlação com intervalo de confiança de 95% de significância (GREEN & MARGERISON, 1978)																																						

Correlação com intervalo de confiança de 95% de significância (GREEN & MARGERISON, 1978)