UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**INFLUÊNCIA DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMÉSTICOS E INFILTRAÇÃO DO CHORUME NA REGIÃO DO
LIXÃO DE ILHABELA - SP**

CRISTIANE LORENA RODRIGUES

Orientador: Prof. Dr. Fabio Taioli

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Fabio Taioli

Examinadores: Prof. Dr. Aristides Almeida Rocha

Prof. Dr. Valdir Schalch

SÃO PAULO
2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**INFLUÊNCIA DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS
E INFILTRAÇÃO DO CHORUME NA REGIÃO DO LIXÃO DE ILHABELA – SP**

Cristiane Lorena Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Fabio Taioli

DEDALUS - Acervo - IGC

30900011114

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
2002

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração direta ou indireta de muitas pessoas. Manifesto minha gratidão a todas elas, e de forma particular:

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP**, pelo auxílio financeiro (Processo nº 00/11897-1).

À **CAPES**, pela bolsa concedida.

Ao **Curso de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo** por toda infraestrutura colocada à disposição.

Ao **Prof. Dr. Fábio Taioli**; por sua orientação e incentivo durante todo o desenvolvimento deste trabalho, sem os quais a sua conclusão não seria possível.

Aos **Prof. Dr. Raphael Hypolito**, pela colaboração nos momentos de dificuldades e importantes sugestões, que sem dúvida enriqueceram o trabalho.

Aos funcionários **Lucia Helena (CEPAS)** pelas análises químicas e **Flávio (Difratometria de Raios X)**; **Ericsson Zanon (Seção de Informática)**, **Sandra (Laboratório de Química)**.

À **Ana Paula e Magali** secretárias da Pós-Graduação, pela simpatia e disposição em ajudar.

À **Prefeitura Municipal de Ilhabela** que autorizou as coletas de amostras e disponibilizou todas as informações solicitadas.

Ao Engenheiro **João Antônio Fusaro** pelas informações e atenção no início da pesquisa.

Ao Dr. **Marcos Polette** que disponibilizou os mapas da bacia do Rio Perequê.

À amiga **Silvia Cremonez Nascimento** companheira de campo, laboratório (extrações) e de *balada* "Amiga do bem para as horas do mal, amiga do mal para as horas super do bem".

À amiga cor de rosa, **Claudia Moura** pelas caronas e seu otimismo contagiante.

As amigas **Leda e Verônica** que tanto me incentivaram durante a graduação e pelo apoio durante os três últimos anos.

Aos meus amigos da Pós-Graduação **Alessandro (Gummy)**, **Alexandre (Tobias)**, **Alexandre (Choquito)**, **Artur (Metanol)**, **Claudia (Valiser)**, **Gaston (Edir)**, **George (Cece)**, **Ivo**, **Jeane-Glaucia (Maná)**, **Lucelene (Val)**, **Luciano (Gnomo)**, **Marcelo**, **Mika (Márcia)**, **Neide e Sérgio (Baga)** que sempre me ajudaram, me acompanhado no campo, auxiliando nas etapas de laboratório, corrigindo o texto e imprimindo a dissertação.

Ao **Claudio Genthner** por seu companheirismo e bom humor nos momentos oportunos.

Aos amigos do Laboratório de Hidrogeoquímica **III Janaína Marques**, **Sibele Ezaki**, **Janaína Trindade**, **Douglas Komati** e **Marisa S. Pugas**.

Ao geólogo **Enéas Suzuki** pelo auxílio nos testes de adsorção e **Claudio Pereira** pela digitalização e confecção dos mapas.

Aos meus amigos tecnólogos (com curso de 3º grau) companheiros da república National Geographic **Paulo (Lagatixa)**, **Marcelo (Gavião)**, **Marcos (Tatu)**, **Fabício (Percevejo)**, **Érico (Etc)** e **Vitor (Macaé)** pelos momentos de diversão no bar do Bambu durante os anos de graduação.

Ao **Vinicius Mediato**, **Adriano Oliveira**, **Valdenir Barbado** e **Deise Faria** pelo apoio e a amizade.

A amiga **Vanessa Barbosa** por seus preciosos conselhos e pelas baladas em Boissucanga e Ubatuba.

À minha família **Lourdes Baltazar de Lorena** e **Ludmila Lorena Rodrigues**, pelo financiamento, incentivo e paciência nos meus momentos de *stress* (que não foram poucos).

Aos meus tios **Ewerton** e **Marcia** que me hospedaram em São Paulo durante as etapas de laboratório, e pelo apoio sempre importante.

À minha tia **Rute** pelas lulas fritas e risoto de camarão sempre bem preparados.

À minha prima **Elaine** por coletar todos os dias a água do pluviômetro e pela companhia nos "passeios" com a **Vithória** até a Daqui e o Cheiro Verde.

Ao meu tio José (**Zezinho**) e meu primo **Junior**, por me acompanharem até o lixão e carregar as amostras quando estavam pesadas.

Aos amigos Ana Beatriz (**Bia**) e Roberto Cardoso pelos conselhos sempre sábios e o bom humor.

A tia **Lina** que me ajudou nos momento mais difíceis, me passando calma e tranquilidade e estando sempre ao meu lado para enfrentar as dificuldades.

A **Deus** por me dar forças para chegar até aqui e a **Santo Expedito** pela graça alcançada!

SUMÁRIO

	página
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FOTOS	x
1 – INTRODUÇÃO	01
1.1 - Objetivos	03
2 – RESÍDUOS SÓLIDOS	04
2.1 – Decomposição dos Resíduos Sólidos Domésticos no Aterro	06
2.2 - Chorume	09
2.3 – Íons Metálicos	10
2.3.1 - <i>Bário</i>	10
2.3.2 - <i>Manganês</i>	11
2.3.3 - <i>Chumbo</i>	11
2.3.4 - <i>Zinco</i>	12
2.4 - Solo	13
2.4.1 – <i>Argilominerais</i>	14
2.4.2 – <i>Óxidos de Fe, Al e Mn</i>	14
2.4.3 – <i>pH do Solo</i>	15
2.4.4 – <i>Capacidade de Troca Catiônica - CTC</i>	15
2.5 – Extrações Sequenciais Seletivas	16
3 – ÁREA DE ESTUDO	17
3.1 - Ilhabela	17
3.1.1 – <i>Geologia Regional</i>	21
3.1.2 - <i>Geomorfologia</i>	22
3.1.3 – <i>Condições Climáticas e Vegetação</i>	24
3.2 – Área de Pesquisa	27
3.2.1 – <i>Localização do Lixão de Ilhabela</i>	27
3.2.2 – <i>Caracterização do Lixo Produzido em Ilhabela</i>	27

3.2.3 – <i>Coleta e Disposição do Lixo</i>	29
3.2.4 - <i>Disposição dos Resíduos Sólidos Domésticos</i>	31
4 – MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 – Levantamento Regional	35
4.2 – Levantamento Geofísico	36
4.3 – Coleta de Amostras	36
4.3.1 – <i>Amostras de Solo</i>	36
4.3.1.1 - <i>Depósito de resíduos</i>	36
4.3.1.2 – <i>Lagoa de infiltração</i>	40
4.3.1.3 - <i>Poços</i>	42
4.3.2 – <i>Amostras de chorume, águas subterrâneas e de chuvas</i>	43
4.3.2.1 - <i>Chorume</i>	43
4.3.2.2 – <i>Águas subterrâneas e de chuva</i>	44
4.4 – Trabalhos Laboratoriais	47
4.4.1 – <i>Análises Granulométricas</i>	47
4.4.2 – <i>Determinação de pH de Solos</i>	47
4.4.3 – <i>Capacidade de Troca Catiônica - CTC</i>	48
4.4.4 – <i>Análises Mineralógicas</i>	48
4.4.5 – <i>Extrações Seqüenciais</i>	48
4.5 – Testes de Adsorção	49
4.5.1 – <i>com Chorume</i>	49
4.5.2 – <i>com Soluções</i>	49
4.6 – Análises Químicas	50
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1 – Caminhamento Eletromagnético Indutivo	51
5.2 – Análises Granulométricas	55
5.3 – Análises Mineralógicas	58
5.4 – Capacidade de Troca Catiônica - CTC	64
5.5 – pH de Solos	64
5.6 – Análises Químicas	66
5.6.1 - <i>Solo</i>	66
5.6.2 - <i>Chorume</i>	72
5.6.2.1 – <i>Chorume da Lagoa de Infiltração</i>	72
5.6.2.2 – <i>Chorume da Lagoa de Infiltração - coleta superficial</i>	74
5.6.3 – <i>Águas Subterrâneas</i>	75

5.6.4 – <i>Águas de Chuva</i>	78
5.7 – Extrações Seqüenciais	78
5.8 – Testes de Adsorção	85
5.8.1 – <i>Com Chorume</i>	85
5.8.2 – <i>com Soluções de Pb²⁺ e Zn²⁺</i>	87
6 - CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

*À minha mãe, Lourdes,
pelo exemplo de amor e perseverança,
demonstrado nos momentos mais difíceis*

RESUMO

A disposição dos resíduos sólidos domésticos constitui-se atualmente num dos maiores desafios enfrentados pela sociedade e pela administração pública, uma vez que as tecnologias de disposição e tratamento dos resíduos não vêm acompanhando o crescimento e a urbanização das cidades.

No passado aterrava-se o lixo acreditando-se que o chorume produzido na decomposição dos resíduos seria naturalmente depurado durante a percolação no solo abaixo do aterro, no entanto, estudos demonstraram que tal atividade altera a qualidade das águas subterrâneas da região, tornando-as impróprias para seu uso.

Diante do problema ambiental causado pela disposição de resíduos no solo, foram adotadas com intuito de evitar alterações da qualidade ambiental, técnicas como seleção de áreas com características apropriadas para a implantação de aterros sanitários, impermeabilização do solo, e drenagem de chorume.

No município de Ilhabela (Estado de São Paulo) há um lixão situado no Bairro da Água Branca, que recebe diariamente cerca de 23 toneladas de resíduos sólidos domésticos. Na região há escola, moradias, e estabelecimentos comerciais.

Os resíduos, com cerca de 50% de matéria orgânica, são aterrados sobre o solo que não foi compactado e não recebeu impermeabilização adequada para a atividade de disposição.

Este trabalho teve como objetivo estudar a influência da disposição dos resíduos sólidos e da infiltração do chorume no comportamento dos íons metálicos na região do lixão de Ilhabela. Para tal, foram coletadas amostras de solo e águas subterrâneas da região do lixão, bem como chorume produzido no local de disposição, que foram submetidos a análises químicas e físico-químicas, bem como técnicas de extrações sequenciais para o estudo da mobilidade dos íons metálicos.

Foram realizados em laboratório testes de adsorção utilizando chorume e soluções de chumbo e zinco, para a verificação da capacidade de retenção de metais pelo solo utilizado como base e cobertura dos resíduos.

Os resultados mostraram que a água subterrânea da região teve suas características alteradas pela infiltração do chorume e o solo do depósito apresenta enriquecimento de metais como o Zn e o Pb.

Observou-se também que o solo é constituído predominantemente pela fração areia e não apresenta boa capacidade de retenção para íons metálicos, não sendo, portanto, apropriado para a disposição de resíduos.

ABSTRACT

The appropriate disposal of domestic solid wastes is one of the major challenges of the society and public administration, because the available technologies do not follow the population grow and crescent urbanization.

In the past, the waste was buried into the soil because there was a belief that it would be naturally decomposed. Otherwise, several studies have shown that this activity compromises the groundwater quality. Due to the environmental problems caused by the inappropriate waste disposal, techniques of site selection, soil foundation treatment and leachate drainage have been adopted in modern landfills.

Ilhabela county (São Paulo state) operates a landfill located in the Água Branca neighborhood that receives daily 23 tons of domestic solid waste. It is close to a fundamental school, houses and several stores.

The wastes contains about 50% of organic matter and are buried into the soil with no foundation treatment and no control of the leachate destination.

This research aimed at studying the influence of the waste disposal and leachate in the region of the Ilhabela's landfill.

Soil, groundwater and leachate samples were taken and chemical and physic-chemical analyses were carried out. The emphasis of the study was the behavior of the heavy metals and sequential extraction was used to verify the metallic ions mobility.

Adsorption tests using leachate were carried out on no contaminated soil (used to cover the waste) to verify the metal retention capacity.

The results show that the groundwater has its characteristics modified by the leachate infiltration and the soil presents enrichment of Zn and Pb.

It was also observed that the main grain size of the soil is in the sand fraction, with low retention capacity for metallic ions and, consequently, it is not appropriate to receive domestic wastes.

LISTA DE FIGURAS

3.1 – Localização do município de Ilhabela – SP (modificado de GARDA, 1995)	18
3.2 – Bloco da bacia do Rio Perequê, onde se localiza o lixão de Ilhabela (modificado de FRANÇA, 1951)	19
3.3 – Uso e ocupação do solo na microbacia do Rio Perequê (modificado de POLETTE, 1995)	20
3.4 – Mapa geológico da região do lixão de Ilhabela – SP (modificado MME, 1972)	23
3.5 - Principais cursos d'água da microbacia do Rio Perequê (modificado de SMA & IF, 2000)	26
3.6 – Localização do lixão de Ilhabela – SP	28
3.7 – Composição do lixo de Ilhabela (fora da temporada)	29
3.8 – Quantidade mensal de resíduo (tonelada) que foi aterrado no lixão de Ilhabela	30
3.9 – Recebimento diário de resíduo no lixão de Ilhabela (verão)	31
3.10 - Recebimento diário de resíduo no lixão de Ilhabela (inverno)	31
4.1 – Etapas do trabalho desenvolvido	35
4.2 – Localização das linhas de caminhamento eletromagnético (EM – 31 e EM – 34)	37
4.3 – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo e chorume	38
5.1 – Mapa de isocondutividade obtido a partir do caminhamento eletromagnético indutivo (EM –31) dentro do lixão	52
5.2 – Mapa de isocondutividade obtido a partir do caminhamento eletromagnético indutivo (bobinas com eixo horizontal) nas ruas do entorno do lixão	53
5.3 – Mapa de isocondutividade obtido a partir do caminhamento eletromagnético indutivo (bobinas com eixo vertical) nas ruas do entorno do lixão	54
5.4 - Diagramas triangulares de Shepard (1954) para amostras de solos coletados no depósito de resíduos (a), na lagoa de infiltração (b) e dos poços (c)	57
5.5 – Difrátogramas das amostras de solo do depósito de resíduos e da lagoa de infiltração (a-j) (fração menor que 2mm)	58
5.6 – Teores (mg.kg ⁻¹) de Mn, Pb, Ba e Zn nas amostras coletadas no depósito de lixo	69
5.7 – Teores (mg.kg ⁻¹) de Mn, Pb, Ba e Zn no perfil de disposição dos resíduos no depósito	69

5.8 – Valores de Mn, Pb, Ba e Zn, em função da profundidade nas amostras de solo e de efluentes coletados na lagoa de infiltração nos pontos A (a), B (b), C (c), D (d) e E (e)	70
5.9 – Teores de Mn, Pb, Ba e Zn nas amostras de solo do perfil dos poços perfurados (mg.kg^{-1}) e nas respectivas amostras de águas subterrâneas ($\mu\text{g.L}^{-1}$).	71
5.10 – Valores de Ba^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} (mg.L^{-1}) nas amostras de chorume coletadas na lagoa de infiltração e nas canaletas de drenagem	73
5.11 – Valores de Ba^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} nas amostras de chorume associado ao solo da lagoa de infiltração	75
5.12 – Valores de Ba^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} nas amostras de águas subterrâneas dos poços PM 1, PM 2, PM 3 e PM 4	77
5.13 – Porcentagem de Ba^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} resultado das extrações sequenciais associados aos constituintes das amostras de solo de diferentes pontos do depósito - as letras representam as etapas utilizadas nas extrações	82
5.14 – Porcentagem de Ba^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} resultado das extrações sequenciais associados aos constituintes das amostras de solo da lagoa de infiltração - as letras representam as etapas utilizadas nas extrações sequenciais	83
5.15 – Quantidade adsorvida/dessorvida dos íons Ba^{2+} (a), Mn^{2+} (b), Pb^{2+} (c) e Zn^{2+} (d) (mg.L^{-1}) em função do tempo de contato entre solo e chorume	86
5.16 – Quantidade de adsorvida (Ci-Cf) ao solo (mg.L^{-1}) de Pb^{2+} (a) e Zn^{2+} (b) em função da concentração final (mg.L^{-1})	88
5.17 – Capacidade de retenção de Pb (a) e Zn (b), em função das concentrações iniciais utilizadas nos testes	89

LISTA DE TABELAS

2.1 – Composição porcentual média do lixo na Europa, em alguns países e em algumas capitais brasileiras.	5
2.2 – Principais fontes de metais e metais pesados no lixo doméstico	6
4.1 – Profundidades de cada amostra de solo coletada no perfil dos poços PM 1, PM 2, Pm 3 e PM 4	42
4.2 – Reagentes utilizados e tempo de contato utilizados nas diferentes etapas das extrações sequenciais das amostras de solo	49
5.1 – Resultados das análises granulométricas das amostras de solo coletadas no depósito de resíduos (a), na lagoa de infiltração (b) e nos poços (c).	55
5.2 – Resultados das análises de Capacidade de Troca Catiônica nas amostras de interesse do depósito de resíduos e da lagoa de infiltração do lixão de Ilhabela	64
5.3 – Resultados de pH em meio aquoso e em solução de KCl 1N e pH das amostras de solos do depósito de resíduos (a), da lagoa de infiltração (b) e dos poços (c).	65
5.4 – Análises químicas (%) dos constituintes maiores das amostras de solo coletadas nos diferentes pontos do depósito (a), da lagoa de infiltração (b) e dos poços (c).	66
5.5 – Valores dos elementos traço (mg.kg ⁻¹) nas amostras de solo coletadas nos diferentes pontos do depósito (a), na lagoa de infiltração (b) e nos poços (c)	67
5.6 – Valores de temperatura (T°C), pH, condutividade elétrica (CE), alcalinidade, OD e Eh, das amostras de chorume coletadas na lagoa de infiltração do lixão de Ilhabela	72
5.7 – Análises químicas (mg.L ⁻¹) das amostras de chorume coletadas na lagoa de infiltração	72
5.8 – Valores de temperatura, pH, condutividade elétrica (C.E.), alcalinidade das amostras de efluentes associados aos solos da lagoa de infiltração do lixão de Ilhabela	74
5.9 – Análises químicas (mg.L ⁻¹) das amostras de chorume associado ao solo da lagoa de infiltração	74
5.10 – Valores de temperatura, pH, condutividade elétrica (C.E.), alcalinidade, OD e Eh, das amostras de água subterrânea coletadas nos poços PM 1, PM 2, PM 3 e PM 4	76

5.11 – Análises químicas (mg.L ⁻¹) das amostras de águas subterrâneas dos poços PM 1, PM 2, PM 3 e PM 4	76
5.12 – Análises químicas (mg.L ⁻¹) das águas de chuva dos meses julho, agosto e setembro de 2001 e janeiro de 2002 (médias mensais)	78
5.13 – Resultados das análises químicas (mg.L ⁻¹) das soluções geradas nos procedimentos de extrações seqüenciais das amostras de solo do depósito de resíduos	79
5.14 – Resultados das análises químicas (mg.L ⁻¹) das soluções geradas nos procedimentos de extrações seqüenciais das amostras da lagoa de infiltração	80
5.15 – Análises químicas e físico-químicas do chorume coletado na lagoa de infiltração	85
5.16 – Análises químicas das soluções resultantes dos testes de adsorção com chorume	85
5.17 – Valores das concentrações iniciais (Ci), finais (Cf) e ΔC das soluções utilizadas nos testes de adsorção no solo não impactado do lixão de Ilhabela	87

LISTA DE FOTOS

FOTO 01: Obras para o início da operação do depósito novo	33
FOTO 02: Rocha alterada conservando estrutura	33
FOTO 03: Rocha alterada e afloramento do embasamento	33
FOTO 04: Lixão de Ilhabela - SP (dezembro de 2001)	34
FOTO 05: Disposição dos resíduos no lixão	34
FOTO 06: Lixo revolvido com o solo	34
FOTO 07: Lixão em operação	34
FOTO 08: Presença de urubus no lixão	34
FOTO 09: Coleta do solo de referência	39
FOTO 10: Solo em contato com lixo disposto	39
FOTO 11: Solo em contato com chorume	39
FOTO 12: Coleta de solo associado ao perfil de disposição	39
FOTO 13: Coleta de solo associado ao perfil de disposição	39
FOTO 14: Lagoa de infiltração - coleta de chorume	41
FOTO 15: Lagoa de infiltração - coleta de solo e chorume associado	41
FOTO 16: Tubulação de infiltração de chorume	45
FOTO 17: Caixas que drenam o chorume	45
FOTO 18: Caixas que drenam o chorume	45
FOTO 19: Equipamentos utilizados no campo	46
FOTO 20: Medição dos parâmetros no campo	46

1 - INTRODUÇÃO

Diversas atividades antrópicas têm causado sérios danos ao meio ambiente, com eliminação de diferentes compostos químicos no ar, água e no solo, podendo afetar, de maneira prejudicial, a fauna, flora e principalmente a saúde humana. Dentre elas encontra-se a disposição inadequada de resíduos sólidos domésticos.

Além dos problemas ambientais causados na disposição de resíduos há também os problemas de ordem sócio-econômicos como, por exemplo, a existência de pessoas nas áreas de disposição que reaproveitam os resíduos descartados e coletam os materiais com potencial de reciclagem.

São inúmeras as cidades que apresentam sérios problemas com a disposição dos resíduos gerados, contaminando a água e o solo da região; outras possuem aterros com a vida útil esgotada, pagando para aterrar seu lixo em outras cidades.

No Brasil apenas 18,4% dos municípios dispõem seus resíduos em aterros controlados, 13,8% em aterros sanitários, 63,6% em lixões a céu aberto e apenas 4,2% possuem coleta seletiva (IBGE, 2002).

Segundo Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002), a produção diária de lixo em 2000 foi de 125.281 toneladas de resíduos sólidos domésticos. As cidades com até 200.000 habitantes geram 0,45 a 0,70 kg por habitante; essa quantidade aumenta para a faixa de 0,80 a 1,20 kg nas cidades com população superior a 200.000 habitantes. A média de geração de lixo domiciliar *per capita* no Estado de São Paulo é de 0,58kg/hab.dia.

De acordo com SMASP (1998), o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares do Estado de São Paulo, mostra uma situação profundamente preocupante do ponto de vista ambiental, na qual, dos 645 municípios, apenas 27 (4,2%), dispõem seu lixo domiciliar em sistemas adequados, 116 (18%) o fazem em sistemas controlados e 502 (77,8%) são considerados inadequados.

Nota-se que no Brasil a produção de resíduos é equiparável aos países industrializados desenvolvidos, no entanto, sua disposição é inadequada na grande maioria dos casos. A falta de uma política atuante de gestão de resíduos e recursos financeiros são fatores limitantes para a seleção de áreas de implantação de aterros sanitários e melhoria das instalações existentes, visando a diminuição dos impactos ambientais.

A qualidade ambiental é diretamente afetada pela disposição inadequada de resíduos sólidos, prática comum utilizada no país. A queima de resíduos elimina gases que colaboram para a poluição do ar e o efeito estufa e chorume produzido, afeta de maneira desfavorável, as caracte-

ísticas físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas e do solo. O acúmulo de resíduos sem cobertura de solo provoca também desequilíbrios na fauna, atraindo roedores e pequenos animais, muitos dos quais transmissores de doenças.

Dentre as cidades brasileiras que enfrentam dificuldades para disposição de resíduos sólidos encontra-se o município de Ilhabela. Ela é uma cidade do litoral norte de São Paulo, situada a 220 km da capital, tem como base econômica o turismo e a pesca, sendo conhecida como a "Capital da Vela", devido suas ótimas condições para a prática deste tipo de esporte náutico. É separada do continente por um canal com cerca de 1,5 km de largura, sendo a maior ilha do litoral sudeste brasileiro, ocupando uma área de 335.930.000 m².

Cerca de 83% da área da Ilha de São Sebastião está inserida no Parque Estadual (área de preservação criado em 20 de janeiro de 1977 através do Decreto nº9.414), sua população é de 20.836 habitantes (IBGE, 2002), sendo que no verão atrai uma população flutuante de até 150.000 habitantes.

Em Ilhabela são geradas cerca de 23 toneladas diárias de lixo, sendo que durante o verão a geração chega a ser de 64 toneladas/dia. A sazonalidade também influencia a geração *per capita* de lixo, com 0,60 kg/habitante no verão e de 0,70 g/habitante, nos demais meses. A diferença de geração *per capita* deve-se ao fato de que durante a temporada o lixo apresenta menor peso específico, devido à grande quantidade de embalagens descartáveis (GTZ, 2000).

O município possui um lixão em operação desde 1987, onde o lixo é despejado pelos caminhões coletores e compactado por um trator tipo esteira e eventualmente revolvido com o solo do próprio local. A disposição do lixo neste local é caracterizada como um aterro sem impermeabilização na base ou qualquer dispositivo para prevenção da poluição.

Os resíduos depositados neste lixão têm cerca de 54% de matéria orgânica (GTZ, 2000), que ao se decompor produz chorume e gases, os 46% restantes são compostos por embalagens descartáveis como plásticos, latas de refrigerantes, garrafas PETS, produtos de limpeza domésticos etc. Estes resíduos podem conter metais pesados, como chumbo, manganês, bário e zinco que podem ser retidos nos solos e se liberados contaminar as águas subterrâneas.

Nas proximidades, do lixão de Ilhabela a cerca de 100 m, encontra-se uma escola de ensino fundamental, pequenos estabelecimentos comerciais como quitandas, mercearias, bares, pousadas, casas residenciais e de veraneio.

O estudo do comportamento dos íons metálicos desenvolvidos neste trabalho poderá servir como base para orientação do eventual uso das águas subterrâneas.

1.1 - OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos os seguintes aspectos:

- Estabelecer a influência da infiltração do chorume produzido na decomposição dos resíduos sólidos dispostos no lixão, bem como seus agentes poluidores, especialmente os metais pesados no ambiente hidrogeológico;
- Verificar a qualidade da água subterrânea na área de influência do lixão de Ilhabela;
- Determinar a capacidade de retenção de metais pelo solo utilizado para a cobertura dos resíduos.

2 – RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduo é a palavra adotada muitas vezes para denotar a sobra no processo produtivo, geralmente industrial. É usada também como equivalente a refugo ou rejeito (LIMA, 1983).

Segundo Calderoni (1997), o termo resíduo é tido praticamente como sinônimo de lixo, que é todo material inútil, descartado, em lugar público; é tudo aquilo que se "*joga fora*", é objeto ou substância considerada inútil cuja existência em dado meio é tida como nociva.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), lixo é aquilo que seu proprietário não deseja mais, em certo lugar e em certo momento não tendo valor comercial corrente.

De acordo com IPT/CEMPRE (2000) e ABNT (1987), classifica-se lixo como restos das atividades humanas (industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços de varrição etc., considerados inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente apresentam-se sob o estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido (com conteúdo líquido insuficiente para fluir livremente).

No âmbito deste trabalho, o termo "resíduos sólidos" (lixo) corresponde à definição dada pela ABNT (1985): resíduos sólidos urbanos são aqueles gerados num aglomerado urbano, excetuando-se os industriais perigosos, hospitalares sépticos e os provenientes de aeroportos e portos. Estes resíduos compõem-se basicamente de sobras de alimentos, papéis, papelões, plásticos, trapos, couros, madeira, latas, vidros etc. que são descartados pelo homem no meio ambiente (LIMA, 1983).

Com relação à sua composição, pode variar, dependendo essencialmente do nível de renda familiar, industrialização de alimentos, hábitos da população, e de fatores sazonais (CALDERONI, 1997).

A tabela 2.1 mostra a composição do lixo na Europa, em alguns países e nas principais capitais brasileiras.

Tabela 2.1 – Composição percentual média do lixo na Europa, em alguns países e em algumas capitais brasileiras.

	Europa	EUA	Japão	Peru	Brasil	São Paulo	Rio de Janeiro	Curitiba	Salvador	Porto Alegre
Vidro	9,8	5,0	1,0	1,3	1,6	1,5	3,7	1,3	2,9	9,2
Papel	36,0	44,0	40,0	10,0	24,5	18,8	22,2	8,6	16,2	22,1
Plástico	7,2	10,0	7,0	3,2	2,9	22,9	16,8	12,4	17,1	9,0
Metal	9,2	7,0	2,5	2,1	2,3	3,0	2,8	3,2	3,7	4,7
Mat. Org	28,1	-	-	51,4	52,5	53,8	54,6	74,6	60,2	55,0
Outros	9,7	34,0	49,5	32,0	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

FONTE: IPT/CEMPRE 2000

Segundo ABNT (1987), qualquer material descartado que possa por em risco a saúde humana ou do meio ambiente é considerado perigoso.

Vários produtos contendo substâncias que conferem características de inflamabilidade, corrosividade, oxirredução ou toxicidade, estão presentes nos resíduos domésticos.

Pilhas, lâmpadas fluorescentes e alguns tipos de frascos aerossóis estão presentes no lixo doméstico em quantidades significativamente maiores em relação a outros resíduos potencialmente perigosos, principalmente em grandes cidades.

As pilhas e as lâmpadas fluorescentes são consideradas perigosas por conterem metais pesados que podem migrar e integrar-se à cadeia alimentar do homem. Os frascos de aerossóis contêm restos de substâncias químicas perigosas e quando descartados podem romper-se e liberar tais substâncias; podendo contaminar o ambiente, atingindo as águas, superficiais e/ou subterrâneas e o solo (IPT/CEMPRE, 2000).

Alguns íons podem ser arrastados pelas fases líquidas que percolam a massa de lixo. A tabela 2.2 apresenta alguns íons e suas possíveis fontes.

Tabela 2.2 – Principais fontes de metais e metais pesados no lixo doméstico

Íons	Principais fontes
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ e Mg ²⁺	Matéria orgânica, entulhos de construção, cascas de ovos, etc.
PO ₄ ³⁻ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	Matéria orgânica
Cl ⁻	Matéria orgânica, tubos de PVC.
Br ⁻ , Ag ⁺	Negativos de filmes e raios X
Al ³⁺	Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas, de medicamentos, de produtos de higiene, de alimentos, de refrigerantes e cervejas e antenas de TV.
Cd ²⁺	Ligas metálicas, baterias de relógios e calculadoras, pilhas alcalinas, tintas e pigmentos e baterias recarregáveis.
Cu ²⁺	Ligas metálicas, fios condutores de eletricidade, tintas e pigmentos, chaves, zíperes, tubos, materiais eletrônicos, latas e tampas de garrafas.
Cr ^{x+}	Ligas metálicas, embalagens de tintas, vernizes e solventes orgânicos, peças revestidas, lâminas de barbear e vidros esverdeados.
Fe ²⁺	Material eletrônico, latas, tampas de garrafas, ligas metálicas, peças metálicas (parafusos, pregos, etc.).
Hg ²⁺	Pilhas comuns e alcalinas, baterias de relógios e calculadoras, lâmpadas fluorescentes e termômetros.
Mn ²⁺	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes, ligas metálicas, tintas e pigmentos.
Ni ²⁺	Ligas metálicas, peças revestidas, baterias tipo Ni-Cd, e pilhas alcalinas.
Pb ²⁺	Baterias recarregáveis (celulares, telefones sem fio, etc.), baterias de automóveis, artefatos de pesca, tintas e pigmentos, peças metálicas, dutos de redes telefônicas.
Sn ²⁺	Material eletrônico, latas e tampas de garrafas.
Zn ²⁺	Ligas metálicas, peças galvanizadas, flandres, tintas e pigmentos, revestimentos de pilhas comuns.

FONTE: Adaptado de GROSSI (1989), OLIVEIRA (1995) e IPT/CEMPRE (2000).

2.1 - Decomposição dos Resíduos Sólidos Domésticos no Aterro

A decomposição dos resíduos sólidos domésticos e a quantidade do chorume produzido são influenciados por vários fatores como precipitação anual, escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração, temperatura média, densidade do lixo, umidade inicial e profundidade (Leckie *et al.* 1979). Segundo Schalch (1984), a qualidade do chorume depende principalmente da topografia, geologia, decomposição anaeróbica, escoamento superficial, umidade contida no próprio resíduo e a água infiltrada pelo fundo e encostas do aterro.

Inicialmente, os resíduos sólidos depositados nos aterros agem como um reservatório de líquido, absorvendo a água. Entretanto, o material ao atingir um certo teor de umidade, conhecido como **capacidade de campo** libera o acréscimo de água recebido, resultando em percola-

ção. Alguma percolação poderá formar-se antes que esta capacidade seja alcançada, uma vez que o lixo apresenta canais e alguns de seus resíduos não absorvem água de imediato. (SCHALCH, 1984; BAGCHI, 1994). Outro motivo que faz com que o lixo libere água antes de atingir a capacidade de campo é a compressão na célula de resíduos (IPT/CEMPRE, 2000).

O processo de degradação dentro de um aterro é composto, segundo Christensen (1989), por fatores físicos, químicos e microbiológicos que ocorrem nos resíduos sólidos e resultam na liberação de gases e chorume.

De forma geral, o processo de decomposição é dividido em três fases: aeróbia; acetogênica e metanogênica (QASIN & CHIANG, 1994; LO, 1996). Durante essas fases, a suscetibilidade ao carreamento ou arraste de substâncias químicas pelo líquido que escoar se modifica drasticamente. Este processo de carreamento denomina-se lixiviação. Por meio deste processo, os compostos arrastados do interior da massa de resíduos dão origem a chorume com composição diversas. Dessa forma, a composição do chorume se altera, dependendo da fase em que se encontra o processo de decomposição.

Quando o lixo é aterrado, há a presença de ar e, portanto, de oxigênio, aprisionado no interior da célula e os microorganismos aeróbios dão início à primeira das fases do processo de decomposição do lixo.

A fase aeróbia geralmente é curta durando em média um mês, devido à quantidade de oxigênio limitada; observa-se aumento na temperatura do lixo, que pode chegar até cerca de 75% na fase máxima de produção de calor. A decomposição se dá preferencialmente entre 60 e 65 °C, onde são decompostas proteínas de outras substâncias nitrogenadas (AQUARONE *et al.* *apud* BADRA, 1993; QASIN & CHIANG, 1994).

A elevação da temperatura pode ocasionar também, a formação de sais contendo íons metálicos, pois muitos são solúveis em água em temperaturas superiores à encontrada no meio ambiente. Alguns sais de chumbo, como o cloreto, são solúveis em água quente.

O chorume produzido nesta fase contém altas concentrações de sais solúveis como o NaCl (QASIN & CHIANG, 1994). Ocorre também a grande formação de gases carbônico e hidrogênio, particularmente quando a umidade no interior da massa de resíduos é baixa (LO, 1996).

Após a diminuição da quantidade de oxigênio, começam predominar microorganismos anaeróbios facultativos, ou seja, aqueles que preferencialmente não usam oxigênio na decomposição da matéria orgânica, podendo, porém, utilizá-lo em algumas ocasiões; os principais microorganismos que atuam nesta fase são as bactérias acidogênica e acetogênica (CHRISTENSEN, 1989). Estas bactérias primeiramente convertem o material orgânico, como a celulose e outros materiais putrescíveis, em compostos dissolvidos, num processo denominado

hidrólise. Segue-se a fermentação, que se caracteriza por ser um processo bioquímico pelo qual as bactérias obtêm energia pela transformação da matéria orgânica hidrolisada, contudo sem mineralizá-la (FORESTI *et al.*, 1999).

A segunda fase pode perdurar por alguns anos, sendo neste período produzidas quantidades consideráveis de compostos orgânicos simples de alta solubilidade, ácidos voláteis como o acético e o carbônico e também grande quantidade de nitrogênio amoniacal. Estes ácidos misturam-se com o líquido que percola pela massa de resíduos sólidos, fazendo com que seu pH diminua para valores entre 4 e 6. O caráter ácido desta mistura colabora com a solubilização de compostos inorgânicos que por sua vez aumenta a DQO (demanda química de oxigênio) e o potencial de oxi-redução é reduzido para valores negativos.

Os valores baixos de pH favorecem o aparecimento de maus odores, com a liberação de gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3) e outros gases (LIMA, 1995).

O chorume produzido nesta fase contém grande quantidade de matéria orgânica e, portanto, alta DBO (demanda biológica de oxigênio) e apresenta concentrações de ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio superiores que o produzido em outras fases (QASIN & CHIANG, 1994; BAGCHI, 1994).

A terceira fase é iniciada quando a população de bactérias metanogênicas aumenta. Estas bactérias são estritamente anaeróbias e necessitam de pH neutro (6,6 a 7,3); os ácidos voláteis produzidos pelas bactérias anaeróbias facultativas e a matéria orgânica são convertidos em metano (CH_4) e gás carbônico (QASIN & CHIANG, 1994).

Com o consumo dos ácidos voláteis o pH, que era ácido, começa a aumentar, favorecendo o aumento das bactérias metanogênicas, porém a DBO e a condutividade elétrica passam a diminuir. O chorume produzido nesta fase tende a ser menos biodegradável do que o produzido na fase anterior, nessas condições são produzidos compostos como ácidos fúlvicos e húmicos que realçam a coloração escura do chorume. Kulgelman *apud* Teixeira (1993) ressalta que a remoção da DQO só ocorre através da produção do metano.

Com o aumento da idade do aterro, a velocidade de decomposição diminui devido ao consumo do substrato. Lentamente, partes do aterro podem restabelecer condições aeróbias pela percolação de água com oxigênio dissolvido.

A decomposição no aterro pode continuar por muitos anos desde que haja matéria orgânica disponível para a atividade biológica.

Stanforth (1979) desenvolveu curvas gerais de degradação expressando pH, O_2 , CO_2 , CH_4 , ácido acético, solubilização de sais e potencial de oxi-redução em função do tempo.

Embora esta divisão em fases facilite o entendimento do processo de decomposição do lixo, na prática, durante a vida ativa do aterro, as fases não são tão bem delimitadas, uma vez que sempre há o aterramento de novos resíduos.

Com a degradação, o volume original de resíduos sólidos é reduzido. Em particular, em condições secas, a decomposição dos compostos pode permanecer inalterada por décadas (QASIN & CHIANG, 1994).

2.2 - Chorume

A água ou outro fluido que percola através do resíduo sólido disposto em um lixão ou aterro dissolve compostos orgânicos e inorgânicos, dando origem a um líquido contaminado conhecido como chorume (ROBINSON & MARIS, 1979; BAGCHI, 1994). O chorume pode ser definido também como um líquido de cor escura, mal cheiroso e de elevado potencial poluidor, produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo (ABNT, 1984, IPT/CEMPRE, 2000).

A composição do chorume de um aterro depende do tipo do resíduo, a maneira com que é aterrado e o grau de estabilização obtido. Variações na sua composição também são resultado das condições ambientais, como a diluição causada pela precipitação, reações com o solo ou a degradação parcial de compostos orgânicos pela exposição ao ar (ROBINSON & MARIS, 1979).

De acordo com Robinson & Maris (1979), o chorume geralmente contém altas concentrações de matéria orgânica dissolvida, íons inorgânicos como Cl^- , SO_4^{2-} , e metais como Fe^{2+} e Fe^{3+} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} .

Em chorumes provenientes de resíduos aterrados relativamente há pouco tempo, pode-se perceber que há altos níveis de DQO, DBO, nitrogênio amoniacal, e também altas concentrações de metais como Fe^{2+} e Fe^{3+} , Ca^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} (ROBINSON & MARIS, 1983).

No lixo doméstico, são gerados no processo de decomposição anaeróbia gases como CH_4 , CO_2 , NH_3 e H_2S , que se dissolvem na água de percolação ou presente na massa do resíduo e que reage com o lixo (BAGCHI, 1994). Outras reações químicas também liberam compostos que são dependentes do tipo do resíduo.

2.3 – Íons Metálicos

Conforme Alloway (1995), metal pesado é um termo aplicado a um grupo de elementos-traço, importante tanto industrial quanto biologicamente. Quimicamente o termo "metais pesados" é utilizado para os elementos com densidade atômica superior a 6 g.cm^{-3} . Para Adriano (1986), são elementos com densidade maior que 5 g.cm^{-3} .

Segundo Hypolito (1998), deve-se utilizar o termo "metal pesado" somente para os elementos metálicos com densidades superiores a 5 g.cm^{-3} . De acordo com esse autor, alguns elementos comumente citados na literatura como metais pesados não se enquadram em tal definição, como o selênio, que é um ametal com densidade igual a $4,79 \text{ g.cm}^{-3}$ e o bário, que embora seja tóxico em certas concentrações, sua densidade é igual a $3,59 \text{ g.cm}^{-3}$.

Diversos mecanismos podem estar envolvidos na adsorção de íons metálicos no solo, podendo-se citar a troca catiônica (adsorção específica), adsorção específica, co-precipitação e a complexação orgânica (ALLOWAY, 1995).

2.3.1 - Bário

O bário é um metal da família dos alcalinos terrosos (IIA), possui densidade igual a $3,59 \text{ g.cm}^{-3}$ e ponto de fusão de 850°C . Ocorre na natureza na forma de carbonatos e sulfatos (insolúvel). Quando ionizado apresenta a valência $2+$. Como todo metal alcalino terroso, é um poderoso agente redutor (RUSSEL, 1982). Exibe comportamento geoquímico semelhante ao do Ca^{2+} e Sr^{2+} .

Este elemento é utilizado na forma de sais de bário, normalmente BaSO_4 , é inserido na formulação de tintas (mordente), é o composto que dá a cor verde nos fogos de artifícios. O sulfato de bário (barita) é utilizado pela medicina em radiografias, uma vez que os íons Ba^{2+} refletem fortemente os raios X. É também muito utilizado na fabricação de vidros e borrachas.

Pode ser emitido para a atmosfera principalmente por atividades como mineração, refinarias, na produção de compostos de bário e na combustão de carvão e óleo (EPA, 1999).

O bário pode existir em águas com Ba^{2+} , em baixas concentrações, pois tende a associar-se ao sulfato formando o sulfato de bário que possui baixa solubilidade. Tende a fixar-se nos óxidos de manganês presentes no solo (ADRIANO, 1986).

Os sais de bário em altas concentrações podem causar vômito e diarreia ou atuar no sistema nervoso central (MERIAN, 1991) e pode também causar aumento na pressão arterial (EPA, 1999). O limite máximo deste íon é de $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$ para águas de consumo humano

(MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000). A concentração máxima permitida para efluentes é 5 mg.L^{-1} (CONAMA, 1986).

2.3.2 - Manganês

O manganês é empregado na manufatura de ligas de aço, de alumínio e cobre; seus compostos são utilizados na fabricação de baterias, cerâmicas, vidros, tintas, fertilizantes entre outros (MATIAZZO-PREZOTTO, 1994).

Possui diferentes estados de oxidação sendo o máximo 7^+ . São também importantes os estados 2^+ e 4^+ e, em menor extensão, os estados 3^+ (bastante instável) e 6^+ . Forma o dióxido de manganês (MnO_2) quando apresenta o estado 4^+ , podendo formar também alguns íons como o permanganato (MnO_4^{1-}) e o manganato (MnO_4^{2-}) (RUSSEL, 1982).

O manganês ocorre predominantemente como Mn^{2+} ($\text{pH} < 10$) em solução. Os seus óxidos formam-se em condições de pH elevado possuindo assim, cargas negativas em superfície, apresentando capacidade sortiva para cátions (BATLETT & JAMES, 1979) e podendo formar complexo com sulfatos ou carbonatos (DOJLIDO & BEST, 1993).

A solubilidade do manganês é controlada pelo potencial redox e pH do meio; o Mn^{2+} é a espécie mais solúvel na água. Liga-se à matéria orgânica, óxidos e silicatos, quando o pH é maior que 6 (ALLOWAY, 1995; Mc BRIDE, 1994).

O manganês é importante nas atividades dos organismos, ocorrendo em enzima, influenciando no crescimento e sendo constituinte dos tecidos ósseos (MERIAN, 1991), no entanto, em elevadas concentrações poderá provocar letargia ou encefalite, desordens mentais, neurológicas (ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA, 1981), sendo permitido até $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ na água para consumo humano (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000) e 1 mg.L^{-1} para efluentes descartados em corpos d'água (CONAMA, 1986).

2.3.3 - Chumbo

O chumbo é um elemento pertencente à família IV A; existe em uma única variedade alotrópica, metálica, cinza, mole, de baixo ponto de fusão e densidade igual a $11,35 \text{ g.cm}^{-3}$ (RUSSEL, 1982). Na natureza os íons de chumbo ocorrem em dois estados de oxidação (Pb^{2+} e Pb^{4+}), sendo Pb^{2+} o mais estável (ADRIANO, 1986).

É utilizado na fabricação de baterias, como antidetonante na gasolina $(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{Pb}$, componente de várias ligas e o seu composto Pb_3O_4 é aplicado em tintas resistentes à corrosão.

Em função de seu raio atômico o Pb^{2+} pode ser substituído por K^+ e Ba^{2+} e pode substituir o K^+ , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} e Na^+ , sendo fixado em sítios minerais (MALAVOLTA, 1994; ALLOWAY, 1995; ADRIANO, 1986).

A concentração de chumbo no solo é função da composição da rocha parental, conforme Kabata-Pendias & Pendias, 1984, o teor médio é de 32 mg.kg^{-1} .

A disponibilidade de Pb no solo é influenciada por fatores tais como matéria orgânica, argilominerais, óxidos e hidróxidos de Fe, Mn e Al, pH do solo, CTC, reações de óxido-redução (ALLOWAY, 1995; ADRIANO, 1986). De maneira geral, sua concentração diminui à medida que a profundidade do perfil de solo aumenta, sendo seu acúmulo observado nos primeiros centímetros do solo, principalmente associado à matéria orgânica (BRADY, 1989).

Pode precipitar na forma de sais insolúveis, como $PbCl_2$, PbS , $PbSO_4$, $PbCrO_4$ e $PbCO_3$ (RUSSEL, 1982).

Nas águas, a presença do chumbo está diretamente relacionada com as condições de pH e Eh, como pode ser observado nos diagramas de pH e Eh (BROOKINGS, 1988). Em meio redutor, o chumbo é pouco solúvel e bastante estável na forma de PbS e $PbSO_4$; já o $PbCO_3$ ocorre em ambiente oxidante (FETTER, 1993).

O íon cloreto (Cl^-), pode ser um agente complexante importante, pois compete com outros complexantes orgânicos. A especiação do sistema $[Pb-Cl]^+$ é função da concentração de cloretos; à medida que a concentração de cloreto aumenta, são formados $PbCl$, $PbCl_2$, $[PbCl_3]^-$, e $[PbCl_4]^{2-}$ (HAAHNE & KROONTJE *apud* ADRIANO, 1986).

O chumbo é tóxico ao ser humano, substituindo o cálcio do tecido ósseo acumulando-se no organismo; inibe as enzimas responsáveis pela produção de hemoglobina e pode causar problemas aos rins e no desenvolvimento do sistema motor (EPA, 1999).

Devido sua toxicidade, sua concentração não deve ultrapassar $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ nas águas para consumo humano (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000). A CONAMA (1986) estabelece que efluentes despejados em corpos d'água não devem conter concentrações superiores a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$.

2.3.4 - Zinco

O zinco é um metal, cinza-prateado, com ponto de fusão relativamente baixo (419°C) e densidade de $7,13 \text{ g.cm}^{-3}$, pertencente à família IIB da tabela periódica (RUSSEL, 1982). Representa o 24º elemento em abundância na crosta, com valor de concentração em torno de 20 mg.kg^{-1} (MASSON & MOORE, 1982).

Seu principal estado de oxidação é o Zn^{2+} , em função do seu raio atômico, pode substituir ou ser substituído por Fe^{2+} e Mg^{2+} em diferentes minerais formadores de rocha, principalmente no grupo dos silicatos e dos óxidos (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984).

Fatores como a rocha-mãe, conteúdo de matéria orgânica, granulometria e pH, determinam a quantidade de zinco presente no solo (ADRIANO, 1986). Quando a rocha é intemperizada, o Zn^{2+} pode tornar-se móvel tanto em ambientes ácidos como em ambientes oxidantes (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984).

Solos que apresentam abundância de argilominerais, hidróxidos de ferro e manganês e de matéria orgânica, tendem a reter fortemente o zinco (ADRIANO, 1986).

Conforme Adriano (1986), o zinco pode ocorrer no solo: como íons livres e/ou em complexos orgânicos em solução; adsorvido e trocável na fração coloidal do solo, composta por partículas de argila, compostos húmicos e hidróxidos de Fe e Al, e minerais secundários e complexos insolúveis na fase sólida do solo.

As condições de pH e Eh são fatores importantes na estabilidade e presença do zinco nas águas (BROOKINS, 1988).

É empregado em ligas metálicas (latão e bronze), na fabricação de pilhas, e na galvanoplastia, pois protege o ferro catodicamente desenvolvendo uma camada autoprotetora de $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ em sua superfície. É utilizado também como micronutriente (na forma de sais) e na composição de pesticidas utilizados na agricultura (RUSSEL, 1982; MALAVOLTA, 1995; ALLOWAY, 1995).

O zinco é importante para diversas funções enzimáticas como síntese protéica, no metabolismo de carboidratos, na divisão e crescimento das células. A ingestão excessiva, entretanto, pode causar toxidez, proporcionando sintomas como febre, diarreia, vômitos e irritações gastrointestinais. Segundo EPA (1997), não há estudos que comprovam a carcinogenicidade em animais e seres humanos.

O Ministério da Saúde (2000) estabelece que para águas de consumo humano a concentração máxima permitida é de 5 mg.L^{-1} , o mesmo valor é o permitido pela CONAMA (1986) para o descarte de efluentes em corpos d'água.

2.4 - Solo

Solo é um sistema dinâmico, heterogêneo e complexo, que apresenta fases: sólida, líquida e gasosa. Suas propriedades são da atuação interativa de diversos fatores: rocha-fonte, clima, topografia, atividade biológica, tempo e atividade humana etc. (ALLOWAY, 1995).

Os minerais presentes no solo são, usualmente, resultantes da decomposição química de fragmentos de rocha ou minerais secundários, incluindo argilominerais, óxidos e.

Quando um elemento é introduzido ao solo, pode dissolver-se na solução do solo, encontrar-se ligados a sítios de troca em constituintes sólidos orgânicos e inorgânicos; incorporar-se ou fixar-se em minerais; precipitar-se com outros componentes; ou incorporar-se aos materiais biológicos (ADRIANO, 1986).

Propriedades do solo podem influenciar na mobilidade e fixação dos íons metálicos como: textura e distribuição granulométrica, óxidos e hidróxidos (Fe, Mn, Al etc.), matéria orgânica, CTC e pH do solo (QASIN & CHIANG, 1994; McBRIDE, 1994; ALLOWAY, 1995).

Dentre os mecanismos que afetam o comportamento e a biodisponibilidade de metais no solo pode-se citar os processos de sorção (adsorção e absorção), co-precipitação, complexação orgânica, seletividade dos agentes adsorventes, hidratação, oxidação, redução etc. (KABATA PENDIAS & PENDIAS, 1984; McBRIDE, 1994; SOLOMONS *et al.*, 1995; ALLOWAY, 1995).

2.4.1 - Argilominerais

São substâncias cristalinas, pertencentes ao grupo dos filossilicatos, silicatos hidratados, essencialmente de Al e, às vezes, de Mg e Fe e quantidades menores de outros elementos como Ca, Na, K, Cr, Mn e Li. Caracterizam-se pela pequena dimensão e pela habilidade em reter quantidades substanciais de água e/ou íons na superfície da partícula. Raramente ocorrem na forma pura nos solos e, em geral, apresentam colóides húmicos e óxidos/hidróxidos precipitados ligados a eles. Este complexo organo-mineral desempenha papel importante no controle das concentrações iônicas no solo (BRADY, 1989; Mc BRIDE, 1994).

2.4.2 - Óxidos de Fe e Al

Óxidos e hidróxidos de Fe e Al desempenham importante papel no comportamento dos íons metálicos no solo. Geralmente ocorrem na fração argila, misturados com argilominerais e apresentam, com frequência, estrutura desordenada. Em regiões de clima tropical, podem ser mais abundantes que os argilominerais. Nos perfis de solos, precipitam a partir das soluções percolantes podendo ocorrer como revestimento em partículas do solo, e misturados com argilas; preenchendo vazios; ou segundo nódulos concêntricos (ALLOWAY, 1995).

Em relação à dinâmica dos metais no solo, óxidos de Fe e Mn co-precipitam e adsorvem cátions presentes nas soluções intersticiais do solo, como os de Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Ni, V e

Zn e ânions, como HPO_4^{2-} e AsO_4^{3-} . Há, neste caso, relação direta com o pH e ΔpH do solo. Outros fatores controladores da quantidade desses óxidos no solo são as condições redox e atividades de microorganismos (ALLOWAY, 1995).

No caso do alumínio, o óxido mais freqüente é a gibbsita, que é um produto de alteração e hidrólise de minerais silicáticos de alumínio, característicos de climas quentes tropicais e subtropicais. No meio natural, os hidróxidos de alumínio apresentam-se como partículas muito finas, com dimensões que podem chegar àsquelas dos colóides (TAN, 1994; ALLOWAY, 1995).

2.4.3 - pH do Solo

O pH do solo é um dos principais fatores que controlam o comportamento dos metais e outros processos que ocorrem no solo (ALLOWAY, 1995).

A medida do pH representa a concentração de H^+ na solução presente nos poros do solo que se encontra em equilíbrio dinâmico com as superfícies negativas de suas partículas do solo (ALLOWAY *op. cit.*).

Os valores mais usuais de pH do solo estão entre 4 e 8,5, com extremos entre 2 e 10,5 (FULLER *apud* ADRIANO, 1996).

A mobilidade dos metais, em geral, diminui com o aumento do pH (ALLOWAY, 1995).

O pH é influenciado pelos cátions adsorvidos nas superfícies das partículas do solo. O aumento de Al^{3+} e H^+ adsorvidos diminui o pH, enquanto o aumento de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} torna-o maior (TAN, 1994).

2.4.4 - Capacidade de Troca Catiônica – CTC

A troca iônica é um mecanismo reversível pelo que íons retidos na superfície de uma fase sólida são substituídos por quantidade equivalente de outros íons. Essas trocas ocorrem sem que haja alteração ou decomposição da fase sólida (BRADY, 1989). Quando esta troca envolve cátions recebe o nome de troca catiônica.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC), pode ser expressa pela quantidade de cátions adsorvida de forma reversível (em moles de carga positiva) por unidade em massa de material sólido (McBRIDE, 1994).

2.5 - Extrações Sequenciais Seletivas

Para avaliar a contaminação por um elemento é necessário que se conheçam suas formas de combinação com os diferentes componentes do meio sólido, pois sua mobilidade dependerá das transformações destas associações (TESSIER *et al.* 1979; PULS *et al.*, 1992).

As extrações sequenciais mostram-se eficientes para um estudo mais detalhado da ocorrência de associações entre os íons poluentes e os diversos componentes do solo.

As técnicas de extração geralmente envolvem competições entre a solução extratora e os diversos componentes do solo, através de interferência em equilíbrios pré-existentes, por mudanças de pH, lei de ação de massas, introdução de ligantes mais fortes, mudanças de potencial redox etc. (TESSIER *et al.* 1979).

Os métodos analíticos para avaliar o comportamento químico de íons metálicos em solos e sedimentos são baseados em extrações seletivas, onde são utilizados reagentes apropriados (TESSIER & BECKETT, 1989; ASIKAINEN & NIKOLAIDIS, 1994). As soluções utilizadas no início são mais específicas para atuarem em partículas fracamente ligadas e as do final mais fortes e até destrutivas (LAKE, 1987).

3 – ÁREA DE ESTUDO

3.1 – Ilhabela

Ilhabela é uma cidade do litoral norte de São Paulo, situada a 220 km da capital (figura 3.1) o acesso é dado através das rodovias dos Tamoios (SP - 99) e pela Rodovia Rio - Santos (SP - 55), sua posição geográfica é determinada pelos paralelos 23°42' e 23°56'S e meridianos 45°41'e 45°28'W, com altitudes que variam de 0 a aproximadamente 1300 m.

Conhecida como Ilha de São Sebastião é separada do continente por um canal com cerca de 1,5 km de largura, a travessia do canal é feita por "*ferry boat*" que dura cerca de 20 minutos, sendo a maior ilha do litoral sudeste brasileiro, ocupando uma área de 335.930.000 m². Também fazem parte do arquipélago as ilhas das Cabras, Vitória, Serraria, Búzios e Sumítica, além de outras nove ilhas menores e duas lajes. Além da extensão territorial de sua ilha principal (município de Ilhabela), o arquipélago destaca-se por fornecer grande aporte de água doce, em meio às condições oceânicas. Ela apresenta seu contorno constituído, predominantemente, por costas rochosos e caracteriza-se por apresentar mudanças climáticas em função de sua grande variação altitudinal, e, finalmente, é importante citar que ela abriga excepcionais exemplares de formações do domínio Mata Atlântica (SMA 1998a)

O Parque Estadual de Ilhabela abrange cerca de 83% da ilha, iniciando-se a partir da cota 200 m na face voltada para o continente, nas demais localidades a cota varia, podendo iniciar também na cota 0 m.

Sua população é de 20.836 habitantes (IBGE, 2002), mas no verão há uma população flutuante de até 150.000 habitantes. O total de domicílios em Ilhabela é de 6.440, sendo 51,6% ocupados permanentemente e o restante (48,3%) encontra-se desocupado a maior parte do ano, servindo como residência para turistas. A porcentagem de domicílios urbanos com sistema sanitário e de esgotos inadequados é de 96,7% (SMA, 1998a).

As principais atividades econômicas do município são o turismo e a pesca. O turismo caracteriza-se pela sazonalidade (ocorre principalmente nos meses de verão). Segundo dados obtidos junto à DERSA, responsável pela operação de travessia das balsas entre São Sebastião e Ilhabela, o fluxo de veículos de São Sebastião à Ilhabela foi de 135.478 no mês de janeiro de 2000, não superando 64.375 no mês de maio do mesmo ano.

A planície do Perequê, onde se encontra o lixão de Ilhabela pode ser considerada como pertencente à família geográfica das pequenas planícies com vertentes escarpadas, comuns no litoral de São Paulo.

Figura 3.1: Localização da área de estudo (modificado de GARDA, 1995)

No total, a bacia hidrográfica do Rio Perequê se desenvolve em anfiteatro (figura 3.2), em torno da pequena planície; possui 56 km², abrangendo 1/6 da Ilha de São Sebastião. Possui uma hidrografia constituída por pequenos escoadouros das escarpas montanhosas, que se reúnem em direção à praia para formar o Rio Perequê, sendo os maiores ribeirões: o Ribeirão do Cego (7.300 m), o da Tocas (7.800 m) e da Água Branca (5.400 m) e os córregos da Corrida (5.100 m) e da Zabumba (6.500 m), além de seus inúmeros afluentes e mais quatro minúsculos córregos que se encaminham diretamente para o mar (FRANÇA, 1951).

Figura 3.2 – Bloco da bacia do Rio Perequê, onde se localiza o lixão de Ilhabela (modificado de FRANÇA, 1951).

Enquadrada pelo relevo dos dois maciços da Ilha, volta-se para o canal de São Sebastião em face da cidade de mesmo nome. É a maior planície da ilha não possuindo, contudo, mais do que 12,5 km² (SMA, 1998a). Nesta região concentra-se o maior número de casas do município (figura 3.3)

Figura 3.3 – Uso e ocupação do solo na microbacia do Rio Perequê (modificado de POLETTE, 1995)

3.1.1 - Geologia Regional

A geologia da Ilha de São Sebastião foi definida por FREITAS (1947) e HENNIES & HASUI (1977), sendo posteriormente complementada com os trabalhos de BELLINI *et al.* (1990), GARDA (1995) e LIMA (2001). Ela é constituída por rochas gnáissicas pré-cambrianas do Complexo Costeiro, intrudida no Cretáceo por diques de composição básica, ultrabásica e alcalina e por três corpos sieníticos alcalinos e um corpo menor de natureza básico-alcalina. Depósitos sedimentares recentes derivados das rochas mais antigas são associados às encostas, rede de drenagem e à zona costeira.

O embasamento Pré-Cambriano constitui-se principalmente de gnaiss facoidal, que se distribui largamente na ilha. Aflora na Serra do Mar, com pequenas modificações na cor e no tamanho dos porfiroblastos de microclínio. Subordinadamente o embasamento apresenta biotita-gnaiss, oligoclásio-gnaiss e rochas metamorfasadas em hornblenda-gnaiss.

Os diques de rochas básicas são quimicamente subalcalinos e ocorrem concordantes com as estruturas gnáissicas, com orientação NE-SW. Exibem textura holocristalina, porfirítica e pilotaxítica e dividindo-se em três tipos petrográficos: diques de diabásio intergranular de orientação NE-SW com espessuras de 10 a 30 cm; basalto porfirítico com fenocristais de feldspato de 1 a 2 mm; basalto pilotaxítico com cristais amarelados de piritas de ocorrência rara (FREITAS, 1947).

Diques ultrabásicos são melhores observados na costa NE da ilha. Os diques alcalinos têm portes e aspectos variados, podendo aparecer com delicados veios ou corpos tabulares de alguns metros, constituídos principalmente por traquitos e fonólitos.

Os três núcleos principais de rochas alcalinas são o "stock" da Serraria, o de São Sebastião e o da península do Boi (Mirante), havendo outros corpos menores ao longo do litoral do canal e do litoral leste. Todos estes corpos são constituídos por rochas sieníticas, mostrando uma distribuição de tipos litológicos tendendo de termos mais ácidos nas bordas a intermediários no centro, chegando a sienitos nefelíticos no núcleo do stock do mirante. Quanto às rochas básico-alcalinas apresentam tipos petrográficos diversos, de ijolitos a gabros nefelíticos, que ocorrem no stock das Canas e peridotitos a leucogabros da Ponta da Pacuíba.

Os depósitos recentes compreendem sedimentos incoerentes aluviais, marinhos ou fluviais, de idade holocênica. São todos de fontes terrígenas e distribuídos entre os ambientes de sedimentação continental e marinho. Os depósitos continentais constituem talus e aluviões, sendo o talus composto por clastos das rochas da ilha (principalmente gnaiss, nordmarquito e quartzo-andesito), com dimensões variando de seixos a matacões de oito metros de diâmetro.

Os depósitos marinhos são constituídos de areia de granulometria grossa a fina e cascalho (FREITAS, 1947).

A figura 3.4 apresenta o mapa geológico da região onde está situado o lixão de Ilhabela.

3.1.2 - Geomorfologia

Inúmeros eventos geológicos condicionaram as formas de relevo da Ilha de São Sebastião. Almeida (1976) e Silva *et al.* (1977) propõem um esquema evolutivo de toda a plataforma continental oriental brasileira, no trecho compreendido pela Serra do Mar, onde se insere Ilhabela.

Segundo estes trabalhos, a ilha passou por fases evolutivas compreendidas entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Médio, quando tem início o tectonismo que afetou o litoral sul-oriental brasileiro; entre o Cretáceo Superior e o Eoceno, com ocorrência de grandes falhamentos escalonados, paralelos à linha de costa, seguido por eventos de vulcanismo; entre o final do Oligoceno e o transcorrer do Plioceno, com reativação da tectônica "rúptil" e desenvolvimento de ciclos erosivos, que associados deram origem ao recuo da borda do Planalto Atlântico e ao isolamento de uma porção continental, representada pela área atualmente denominada Ilhabela; e finalmente o Quaternário, onde processos erosivos e sedimentares associados às flutuações glácio-eustáticas respondem pelas principais feições morfológicas.

Pires Neto (1992) indica que as rochas alcalinas, dadas à sua constituição mineralógica e anisotropia, suportam quase a totalidade do relevo de montanhas. Tais locais são ambientes exclusivamente exportadores de água e sedimento, havendo constante remoção de solos, que resulta em afloramentos rochosos e pequenas espessuras no manto de alteração.

As montanhas constituem um dos maiores maciços brasileiros devido às erupções do magma alcalino, provavelmente do Jurássico, sendo constituídas por uma série de plutonitos. A formação das rochas encaixantes, nos bordos da ilha, atribui-se idade pré-cambriana e constituem-se de granitos e gnaisses. Além dessas formações fundamentais, ocorrem eruptivas básicas (basaltos) e eruptivas ácidas (quartzo-dioríticas). As planícies são constituídas de depósitos recentes, quaternários, na maior parte originários das montanhas Freitas (1947).

Nas alcalinas, as declividades são predominantemente superiores a 30%, caracterizando encostas íngremes, por vezes escarpadas, e as altitudes ultrapassam a 1000 metros (Silva *et al.* 1977).

Figura 3.4 – Mapa geológico da região do lixão de Ilhabela – SP (adaptado de MME , 1972)

O solo da Ilha de São Sebastião é caracterizado como um Cambissolo Háplico.

Conforme EMBRAPA (1999), Cambissolo, são solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte A ou hístico com espessura menor que 40 cm seguido de horizonte B incipiente e satisfazendo os seguintes requisitos:

- B incipiente não coincidente com horizonte glei dentro de 50 cm da superfície do solo;
- B incipiente não coincidente com horizonte plântico, e;
- B incipiente não coincidente com o horizonte vértico dentro de 100 cm da superfície do solo; e não apresentar a conjugação de horizonte A chernozêmico e horizonte B incipiente com alta saturação por bases e argila de atividade alta.

A maior parte dos cambissolos do Estado de São Paulo ocorre em duas situações distintas: em terrenos planos de planícies aluviais e em terrenos de relevo bastante acidentado variando de forte ondulado a escarpado.

Estes últimos apresentam severas restrições quanto ao uso agrícola. Os localizados em solos escarpados apresentam limitações mesmo ao uso pastoril e florestal devido à sua alta capacidade de degradação. Tais solos apresentam elevada erodibilidade e forte limitação à trafegabilidade a qual é ainda agravada pelos freqüentes afloramentos de rochas e pela presença de solos rasos representados pelos neossolos litólicos. Além disso, estes cambissolos são bastante pobres em nutrientes ácidos, apresentando elevados teores de Al^{3+} trocável, condição difícil de ser corrigida devido às limitações de trafegabilidade.

É comum a presença de solos apresentando horizonte C (saprólito) constituído por rocha parcialmente intemperizada a profundidades superiores a 1,5 m. Geralmente tais saprólitos apresentam significativo estágio de intemperismo, sendo, portanto, de consistência branda, não oferecendo limitações ao sistema radicular das plantas.

Com exceção dos solos que ocorrem em relevo ondulado, as limitações para implantação de aterro sanitário, depósitos de efluentes e lagoas de decantação são severas, qualificando-os como impróprios para tais usos.

3.1.3 - Condições Climáticas e Vegetação

Segundo Silva *et al.* (1977), o clima da região caracteriza-se como subtropical úmido, sendo influenciado por duas massas de ar das vertentes atlânticas; a massa tropical Atlântica, quente e úmida e a massa polar Atlântica, fria e úmida. Apresenta caráter mesotérmico e uma grande incidência anual de chuvas, sem ocorrência de períodos secos. A região da Ilha e São

Sebastião insere-se num domínio climático caracterizado como subsequente úmido com 1 a 2 meses mais secos.

As temperaturas médias anuais, para a região litorânea são de 22°C, podendo chegar até 40°C nos períodos mais quentes, enquanto que a temperatura média mínima, do mês mais frio é inferior a 16°C (Lima, 2001).

Em todo o território de Ilhabela a rede de drenagem densa e perene reflete, entre outros fatores, as condições climáticas típicas do litoral sudeste brasileiro, com ocorrência de chuvas o ano todo, com maior concentração no verão e também nos episódios de frontogênese por ocasião da passagem das massas de ar polar. Em função de seu relevo, no entanto, que funciona como uma verdadeira barreira, toda a face da Ilha de São Sebastião voltada para o mar aberto apresenta uma pluviosidade maior, próxima de 1500 mm/ano em relação à face voltada para o continente, com aproximadamente 1300 mm/ano. A Ilha de São Sebastião apresenta ainda variações climáticas altitudinais, muito bem marcadas pelas mudanças na vegetação.

A figura 3.5 apresenta os principais rios da microbacia do Rio Perequê.

Durante o ano a umidade relativa do ar fica próxima de 86%, tendo seu grau de evaporação baixo, com valores médios de 33 mm no inverno e 41 mm no verão (GTZ, 2000).

A vegetação da região é caracterizada por Silva *et al.* (1977) como uma floresta Perenifolia Higlófila Costeira, tendo uma formação clímax, com predominância de espécies arbóreas, quase sempre em densos agrupamentos, ocorrendo na região o grupo das latifoliadas. Ocupa as encostas da Serra do Mar, caracterizando um tipo de floresta ligada ao relevo, que sendo abrupto permite a distribuição das árvores em níveis, propiciando uma boa absorção da luz solar. Este fator, aliado ao elevado grau de umidade e pluviosidade da região, possibilita o desenvolvimento de uma flora exuberante podendo ser observadas várias espécies de canela, jatobá, sapucaia, jacarandá, barriga d'água, caixeta, oiticica, cedro, ipê, jequitibá, louro pardo, vinhático, palmeiras, orquídeas, bromélias e aráceas.

3.5 – Principais cursos d'água da microbacia do Rio Perequê (modificado de SMA & IF, 2000)

3.2 - Área de Pesquisa

3.2.1 – Localização do Lixão de Ilhabela

A área de pesquisa localiza-se aproximadamente 5 km do centro da cidade pela Rodovia SP 131 na planície do Perequê, onde se encontra o lixão municipal, em atividade desde 1987 (figura 3.6).

Nas proximidades, a mais ou menos 100 m, tem-se uma escola de ensino fundamental, freqüentada por crianças da região, assim como pequenos estabelecimentos comerciais, quitandas, mercearias, bares, pousadas, casas residenciais e de veraneio.

A área reservada para a disposição de lixo, possui 65.000 m² e dista aproximadamente 1000 m do mar. Cerca de 40.000 m² são utilizados na disposição de resíduos como lixo doméstico, podas, entulhos, pneus, materiais ferrosos etc. (GTZ, 2000).

Atualmente, dentro da área reservada para a disposição do lixo, têm-se dois locais distintos, um com aproximadamente 1000 m², que recebeu lixo do início do funcionamento do lixão até 1998, quando um novo local de disposição passou a ser operado.

No Estado de São Paulo há um índice de qualidade de resíduos (IQR), todos os anos cada município tem seu local de disposição de resíduos avaliado; o lixão de Ilhabela recebeu o índice 3,0 em 2001 (SMA, 2002), em 1997 este índice era 4,5, (SMA, 1998b), demonstrando que o município tem disposto seus resíduos de maneira inadequada, apresentando também uma das situações mais críticas do Litoral Norte.

3.2.2 - Caracterização do Lixo Produzido em Ilhabela

Estima-se que no município de Ilhabela são produzidos 23 t/dia de lixo doméstico, sendo que nos meses do verão essa quantidade chega a 32 t.dia⁻¹. Ou seja, o recebimento de lixo é de aproximadamente 690 t.mês⁻¹ nos meses de março a novembro e cerca de 960 t.mês⁻¹ de dezembro a fevereiro (GTZ, 2000).

O peso específico do lixo gerado no município é 0,15 t.m⁻³; com a compactação dos caminhões coletores, esse valor é aumentado para 0,4 t. m⁻³.

Quanto à composição do lixo que chega ao lixão de Ilhabela fora da temporada (figura 3.7), percebe-se que 54% do peso é matéria orgânica, 38% são materiais com potencial para a reciclagem e 1% são materiais perigosos (latas de tintas e vernizes, frascos de inseticidas, lâmpadas e baterias usadas).

(a)

(b)

Figura 3.6 – Localização do lixão de Ilhabela – SP

FONTE: (a) TM Landsat 7 (composição 3:4:5), (b) Prefeitura Municipal de Ilhabela (2000)

FONTE: GTZ 2000

Figura 3.7 – Composição do lixo de Ilhabela (fora da temporada)

3.2.3 - Coleta e Disposição do Lixo

A Prefeitura Municipal é responsável pela coleta, transporte e disposição dos resíduos gerados em Ilhabela.

No município não há coleta seletiva dos materiais recicláveis, porém, existem pontos de entrega voluntária (PEVs) espalhados na cidade. Estes materiais são coletados e levados ao centro de triagem que tem sua sede no lixão municipal e separados por categorias (latas, materiais ferrosos, plásticos, PETs e papelões) e vendidos, tendo sua renda revertida para a creche mantida pela prefeitura.

Os resíduos dos serviços de saúde são coletados por uma empresa particular e encaminhados para a incineração que é feita fora do município.

A prefeitura dispõe de uma frota com quatro caminhões compactadores com capacidade para 12 m³ de lixo (4,8 ton) e dois caminhões menores (capacidade de 4 m³), que são utilizados na coleta de lixo nas ruas de difícil acesso. No período onde estes caminhões não são suficientes para a coleta de todo o lixo produzido (meses do verão), dois caminhões tipo basculante (capacidade 6 m³) também são utilizados.

Os caminhões que chegam ao lixão para depositar qualquer tipo de resíduo (lixo doméstico, entulho e podas), são cadastrados em planilhas desenvolvidas no âmbito deste projeto e preenchidos diariamente pelos vigias.

Em 2001, essas planilhas foram analisadas com ênfase nos resíduos domésticos que foram depositados no lixão. As figuras 3.8 a 3.10 apresentam a quantidade (toneladas) de lixo que foi aterrada nos períodos de verão e inverno.

Figura 3.8 – Quantidade mensal de resíduo (tonelada) que foi aterrado no lixão de Ilhabela

Observa-se que a quantidade de lixo disposta (toneladas) no lixão de Ilhabela aumenta significativamente nos meses do verão (cerca de 25%). Deve-se ressaltar que nos meses do verão, o peso específico do lixo é menor que nos meses fora da temporada, o que indica que a quantidade de caminhões utilizadas para a coleta é maior e conseqüentemente o volume da lixo aterrado é bastante superior ao disposto nos demais meses.

A média diária nos meses do inverno é de aproximadamente 23 t.dia⁻¹, no verão, fica próxima de 32 t.dia⁻¹, sendo que no feriado do carnaval a média da semana foi de 44 t.dia⁻¹, com pico de 64 t.dia⁻¹ (quarta-feira).

Figura 3.9 – Recebimento diário de resíduo no lixão de Ilhabela (verão)

Figura 3.10 - Recebimento diário de resíduo no lixão de Ilhabela (inverno)

3.2.4 - Disposição dos Resíduos Sólidos Domésticos

A área utilizada para a disposição não recebeu nenhum tipo de preparação, como impermeabilização do solo e canaletas para a coleta de chorume, águas pluviais e dutos para gases. Em alguns pontos, no entanto, é possível observar o afloramento do embasamento cristalino o

que indica que o solo de alteração não deve ter espessura adequada para a disposição de resíduos (FOTOS 01, 02 e 03).

A área de disposição do lixão de Ilhabela é dividida em dois depósitos; o primeiro recebeu resíduos domésticos de 1987 até 1998 e o segundo vem recebendo os resíduos desde o encerramento das atividades do primeiro.

As áreas de disposição (antiga e atual) são divididas por uma canaleta feita no próprio solo onde o chorume produzido pela decomposição dos resíduos e a água pluvial são drenados até um local denominado lagoa de infiltração.

A lagoa de infiltração tem aproximadamente 15 m de raio e localiza-se a jusante dos depósitos, ao lado do centro de triagem. O chorume e a água pluvial são retidos neste local e posteriormente infiltrados no solo que também não recebeu nenhuma preparação para tal atividade.

O lixo é depositado pelos caminhões coletores, e em seguida é misturado, com auxílio de trator tipo esteira, com o solo proveniente de cortes de morrotes da própria área. Não há formação de células de lixo com o recobrimento com solo, ocorrendo apenas um revolvimento do lixo com o solo e muitas vezes com o lixo depositado anteriormente (FOTOS 04 a 07).

É interessante ressaltar a existência de duas ravinas onde a água permanece quase sempre em contato com a massa de resíduo disposto.

Segundo GTZ (2000), se as condições de operação do lixão não forem otimizadas, a vida útil será de mais 8 a 10 anos, e haverá problemas de estabilidade geotécnica, devido à má compactação do lixo nos caminhões coletores e pelo trator tipo esteira. A produção de gases também poderá aumentar as reclamações que já existem por parte dos moradores da região e a qualidade da água subterrânea pode ser influenciada pelo não tratamento do chorume produzido (POLETTE, 1995).

FOTO 01 – Obras para o início da operação do depósito novo

FOTO 02 – Rocha alterada conservando estrutura

FOTO 03 – Rocha alterada e afloramento do embasamento

FOTO 04 – Lixão de Ilhabela – SP (dezembro de 2001)

FOTO 05 – Disposição dos resíduos no lixão

FOTO 06 – Lixo revolvido com o solo

FOTO 07 – Lixão em operação

FOTO 08 – Presença de urubus no lixão

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

As diferentes etapas deste trabalho são apresentadas, esquematicamente, na figura 4.1.

Figura 4.1 – Etapas do trabalho desenvolvido

4.1 - Levantamento Regional

Foi realizado levantamento dos mapas existentes da região do lixão de Ilhabela, destacando-se assim, a geologia (1:100.000), drenagens e topografia (1:10.000), bem como a planta do lixão (1:1.000).

4.2 - Levantamento Geofísico

No levantamento geofísico foi utilizado o método do caminhamento eletromagnético indutivo.

Foram efetuadas linhas de caminhamento eletromagnético nas ruas do entorno do lixão, utilizando-se o equipamento EM – 34 (*Geonics* – modelo 3DL), operado com espaçamento entre as bobinas sempre igual a 10 m nos eixos vertical e horizontal, tendo como profundidades teóricas de investigação de até 15 m e 7,5 m para os respectivos eixos.

Dentro da área reservada de disposição dos resíduos foram efetuados caminhamentos eletromagnéticos utilizando-se o equipamento EM – 31 (*Geonics*), operado com espaçamento entre as bobinas igual a 3,66 m, com profundidade teórica de investigação de até 4 m.

No total, foram executados 1730 m de caminhamento nas ruas próximas ao lixão e 1145 m dentro do lixão.

Na figura 4.2, estão localizadas as linhas de caminhamento eletromagnético.

4.3 - Coleta de Amostras

Durante as etapas de campo foram coletadas amostras de solo, águas subterrâneas, efluentes e de chuvas em diversos pontos indicados na figura 4.3.

4.3.1 - Amostras de Solo

As amostras de solo foram coletadas em pontos estratégicos do depósito de resíduos, na lagoa de infiltração no período que se encontrava seca e na perfuração dos poços para coleta da água subterrânea.

As amostras, com cerca de 2 kg, foram acondicionadas em sacos plásticos que foram devidamente lacrados, rotulados, acondicionados em caixas de isopor.

4.3.1.1 – Depósito de Resíduos

A amostra de referência (SD 1) foi coletada no local onde é extraído o solo utilizado para a cobertura dos resíduos, situado dentro da área do lixão de Ilhabela, a montante do depósito (FOTO 09).

Figura 4.2 – Localização das linhas de caminhamento eletromagnético (EM – 31 e EM – 34)

4.3 – Localização dos pontos de coleta de amostras de solo e chorume

FOTO 09 – Coleta do solo de referência

FOTO 10 – Solo em contato com lixo disposto

FOTO 11– Solo em contato com chorume

FOTO 12 e 13 – Coleta de solo associado ao perfil de disposição

O lixão é dividido em dois depósitos distintos, porém contíguos - um que está sendo operado desde 1998 e outro que teve suas atividades encerradas na mesma data. As amostragens foram realizadas principalmente no depósito antigo, onde o lixo está aterrado há pelo menos quatro anos. Por encontrar-se em constante operação não foram coletadas amostras no depósito atual.

As amostras de solo SD 2, SD 3 e SD 4 formam o grupo de materiais que estavam em contato com o lixo disposto (FOTO 10) e SD 5, SD 8 e SD 9 são as amostras em contato direto com o chorume produzido pela decomposição do lixo.

As amostras SD 6, SD 7 e SD 10 foram coletadas nas canaletas no próprio solo que drenam o chorume e água pluvial dos depósitos até a lagoa de infiltração (FOTO 11).

Coletaram-se também amostras do perfil do solo do depósito de resíduos. Coletou-se amostras do solo de cobertura com cerca de 15 cm de espessura (SD 11a), outra amostra (SD 11b) no lixo disposto e por último, do solo da base do depósito (SD 11c) (FOTOS 12 e 13).

É importante assinalar que, apesar de ter coletado cerca de 2 kg de material, a quantidade de restos de embalagens (plásticos, latas, entre outros) foi muito grande, reduzindo a porção útil da amostragem.

4.3.1.2 – Lagoa de Infiltração

A lagoa de infiltração na épocas de chuvas, possui aproximadamente 300 m² de espelho d'água (FOTO 14) e no período de estiagem, a lagoa encontra-se praticamente seca (FOTO 15). Neste período, com auxílio do trado manual, foram perfurados cinco poços de 0,60 m de profundidade com coletas de amostras de solo da superfície e do solo que estava em contato com o efluente (a partir de 0,40 m).

No ponto A a partir de 0,80 m foi encontrada rocha alterada, o que impossibilitou a coleta de efluente. Nos demais furos foram coletadas amostras de efluente associadas ao solo.

FOTO 14 – Lagoa de infiltração – coleta de chorume

FOTO 15 – Lagoa de infiltração – coleta de solo e chorume associado

4.3.1.3 – Poços

Após o levantamento geofísico, foram escolhidos pontos estratégicos e perfurados quatro poços para a coleta de águas subterrâneas.

Na região do lixão não há coleta de esgoto doméstico, por este motivo, cada residência possui fossa para o armazenamento de seus dejetos. As casas situadas próximas ao lixão possuem, na maioria dos casos “fossas negras” que simplesmente armazenam e infiltram a parte líquida do esgoto sem a preocupação de tratá-lo, não há um critério para construção destas fossas.

Na perfuração de poços para a verificação da influência da infiltração do chorume na água subterrânea e no solo da região do lixão levou-se em conta as fossas existentes na região. Na ocasião foram perfurados quatro poços fora da zona de interferência destas fossas.

As amostras foram coletadas à medida que as mudanças das características do solo como cor, textura foram sendo observadas. O número de amostras coletadas em cada poço, portanto, foi variável. Na tabela 4.1 relaciona-se a profundidade das amostras coletadas em cada poço.

Tabela 4.1 – Profundidades de cada amostra de solo coletada no perfil dos poços PM 1, PM 2, PM 3 e PM 4

Poço	Amostras	Profundidade (m)
PM 1	PM 1I	superfície
	PM 1II	0,90
	PM 1III	1,40
	PM 1IV	1,60
	PM 1V	1,90 NA
PM 2	PM 2I	superfície
	PM 2II	1,20
	PM 2III	1,70 NA
PM 3	PM 3I	superfície
	PM 3II	1,0
	PM 3III	1,80
	PM 3IV	2,30 NA
PM 4	PM 4I	superfície
	PM 4II	1,10
	PM 4III	2,60
	PM 4IV	3,50 NA

NA = nível d'água

Os poços foram perfurados com auxílio de trado manual, com 2" de diâmetro; utilizaram-se tubos de PVC de ¾", providos de ranhuras em suas bases até a altura de aproximadamente 50 cm. Os tubos foram enleados com *bidim*, e assentados com pré-filtro.

Os poços PM 1 e PM 2 foram perfurados próximos aos depósitos, sendo PM 1 a montante, do lado externo da rua que o contorna. O poço PM 2 situa-se na região compreendida entre o depósito antigo e o atual; durante a perfuração observou-se, neste local, a presença de lixo enterrado.

Os poços PM 3 e PM 4 foram perfurados nas ruas do entorno do lixão. PM 3 foi perfurado onde há uma caixa de alvenaria que recebe efluentes da lagoa de infiltração por intermédio de uma tubulação subterrânea (FOTOS 16 a 18) que em seguida é infiltrado no solo. O poço PM 4 foi perfurado próximo à rua São José ao lado da área do lixão.

4.3.2 - Amostras de Chorume, Águas Subterrâneas e Chuvas

As amostras de chorume, águas subterrâneas e de chuvas foram filtradas em membranas filtrantes de acetatocelulose (0,45 µm), preservadas com HNO₃ 1:1 e H₂SO₄ 1:1, mantidas a temperatura de 4°C e destinadas às análises químicas por absorção atômica. Durante a amostragem, foram medidos parâmetros como pH, Eh, condutividade elétrica, temperatura e alcalinidade (FOTOS 19 e 20).

4.3.2.1 – Chorume

As amostras de chorume foram coletadas conforme procedimento adotado por AWWA *et. al.* (1995).

Foram coletadas amostras de chorume nos períodos chuvosos (CH 01, CH 02 e CH 04) e seco (CH 03 e CH05) durante o ano de 2001; no ano de 2000 com a lagoa seca foram coletadas amostras de chorume a uma profundidade de 0,50 m.

4.3.2.2 – Águas subterrâneas e de chuva

As amostragens das águas subterrâneas foram executadas de acordo com as normas da ABNT (1997) com esgotamento do poço por 3 vezes; após o estabelecimento do nível d'água utilizou-se uma bomba manual para a coleta das amostras.

Para as coletas de água de chuva foi instalado um pluviômetro nas imediações do lixão.

FOTO 16 – Tubulação de infiltração do chorume

FOTOS 17 e 18 – Caixas que drenam o chorume

FOTO 19 – Equipamentos utilizados no campo

FOTO 20 – Medição dos parâmetro no campo

4.4 – Trabalhos Laboratoriais

As amostras de solo foram secas na temperatura ambiente. Em seguida, foram destorroadas, peneiradas e quarteadas, de modo a torná-las representativas; foram utilizadas frações menores que 2 mm.

As amostras de águas subterrâneas, de chuvas e de efluentes foram analisadas quimicamente.

4.4.1 - Análises Granulométricas

As análises granulométricas qualitativas e quantitativas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da USP.

As análises qualitativas foram efetuadas pelo método da decantação e peneiramento, que consiste na desagregação, secagem ao ar livre, eliminação da matéria orgânica com água oxigenada, eliminação da fração 2 mm e dispersão com polifosfato seguida da separação da fração argila e silte fino por lavagens sucessivas com sifão.

As análises quantitativas foram realizadas utilizando-se o Método da Pipeta de "Robinson".

4.4.2 - Determinação de pH de Solos

As medidas de pH do solo foram efetuadas utilizando-se a metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas (1986) modificada por Hypolito (2001), que consiste na mistura de solo seco (fração menor que 2 mm) com 2,5 vezes seu peso em água, que é mantida em agitação por 15 minutos e em repouso por 30 minutos. Após o período mede-se o pH com potenciômetro previamente aferido com soluções-tampão padrão de pH 4,00 e 7,00. O procedimento é repetido com solução de KCl 1 M.

Com estes procedimentos obtêm-se os valores de acidez ativa ($H^+_{\text{livres}} - pH_{H_2O}$) e acidez total (pH_{KCl}), que corresponde aos H^+ livres somados aos associados pela hidrólise dos cátions trivalentes deslocados pelo KCl das posições de troca dos minerais disponíveis no meio (ALLOWAY, 1995).

4.4.3 – Capacidade de Troca Catiônica - CTC

A capacidade de troca catiônica foi determinada segundo método de EMBRAPA (1997), as determinações foram realizadas pelo Laboratório do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

4.4.4 - Análises Mineralógicas

As análises de difratometria de raios X (método do pó) foram realizadas utilizando difratômetro SIEMENS D 5000, do Laboratório de Raios X do Departamento de Mineralogia e Geotectônica DMG – USP, operado com tubo de cobre, radiação $k\alpha$, 40 kV, 40 mA, varredura 2 θ entre 2 e 70°, passo de 0,05° e tempo variável (0,5 – 2 s).

Na interpretação dos difratogramas, foi utilizado o software EVA, que conta com fichas de identificação do Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS).

4.4.5 - Extrações Sequenciais

Neste trabalho foi utilizada a metodologia adaptada por Hypolito (2001), que consiste em cinco diferentes fases de associação metais/solo; a) íons solvatados; b) íons metálicos trocáveis; c) íons metálicos associados aos carbonatos; d) íons metálicos associados a compostos de ferro e manganês e e) íons associados à matéria orgânica.

Foram pesados, em balança analítica, 2,0000 g de solo (fração menor que 2 mm), que foram transferidos para o tubo de centrifuga de 125 mL; para cada etapa foi adicionada sua respectiva solução extratora, que após o tempo de contato foi centrifugada. O sobrenadante foi filtrado e acidulado com HNO₃ (até pH menor que 2) e esta solução foi analisada por espectrometria de absorção atômica.

A tabela 4.2 apresenta os reagentes utilizados em cada etapa da extração.

Tabela 4.2 – Reagentes utilizados e tempo de contato utilizados nas diferentes etapas das extrações sequenciais das amostras de solo

Etapa	Reagente	Tempo de contato
A	Água deionizada	10 minutos
B	Acetato de sódio (pH 5,0)	10 minutos
C	Acetato de sódio (pH 8,2)	30 minutos
D	Ácido cítrico	60 minutos (banho-maria)
	Ditionito de sódio	
	Citrato de sódio	
E	Ácido nítrico	330 minutos (banho-maria)
	Água oxigenada (30%)	
	Acetato de amônio	

4.5 – Testes de adsorção

O solo teve sua capacidade de retenção de metais avaliada de duas formas: utilizando chorume e soluções de metais (Pb^{2+} e Zn^{2+}).

4.5.1 – com Chorume

O chorume utilizado nos testes de adsorção foi coletado na lagoa de armazenamento do lixão de Ilhabela – São Paulo com leituras de pH, temperatura e condutividade. A amostra foi preservada com HNO_3 (pH menor que 2) e destinadas às análises químicas por espectrometria de absorção atômica.

As amostras destinadas ao teste foram mantidas em temperatura menor que 4°C até o início do experimento.

Foram mantidas em períodos pré-estabelecidos (1; 5; 7; 10; 15; 20 e 30 dias) 15,0000g de amostra de solo em contato com o chorume, com agitação eventual. Após esses períodos as misturas foram filtradas e analisadas quimicamente.

4.5.2 – com Soluções

Para verificar a capacidade de retenção de metais pelo solo utilizado como base e cobertura dos resíduos sólidos no lixão de Ilhabela, foram realizados testes de adsorção dos metais Pb^{2+} e Zn^{2+} no solo não impactado.

Foram preparadas soluções de 0,1; 0,3; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0 e 20,0 mg.L⁻¹ de Pb^{2+} e Zn^{2+} .

Em bequeres foram pesados 15,0000 g de solo não impactado; adicionaram-se 200 mL da solução de concentrações conhecidas que permaneceram em contato por 7 dias com eventual agitação. Após este período filtrou-se a solução que em seguida foi acidulada com HNO_3 , avolumada e destinada às análises químicas.

As soluções (iniciais e finais) de Zn foram analisadas pelo método de ICP – AES, e os teores de Pb determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

4.6 - Análises Químicas

As análises de águas superficiais, de chuva, de chorume e das soluções geradas a partir dos testes laboratoriais foram realizadas por espectrometria de absorção atômica no laboratório de Hidrogeoquímica II do CEPAS (Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas - USP), no Laboratório de meio ambiente do SENAI "Mário Amato" e por ICP – AES no Laboratório ACTIVATION LABORATORIES (Canadá) e do Laboratório de química do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc – USP).

Os ânions foram determinados por cromatografia de íons no laboratório de Hidrogeoquímica II do CEPAS.

As amostras de solos foram analisadas nos Laboratórios do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências - USP e ACTIVATION LABORATORIES (Canadá), pelo método ICP - AES (Espectrometria de Emissão Atômica).

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - Caminhamento Eletromagnético Indutivo

O mapa de condutividade aparente, obtido a partir do caminhamento eletromagnético realizado dentro da área de disposição, demonstra anomalias que se estendem seguindo o sentido de fluxo de água subterrânea.

Como era de se esperar os maiores valores de condutividade aparente foram observados na região onde estão dispostos os resíduos e próximo à lagoa de infiltração (figura 5.1).

O mapa de caminhamento eletromagnético (bobinas com eixo horizontal) mostra que a área de influência da pluma de contaminação estende-se, preferencialmente, segundo a direção de fluxo da água subterrânea, conforme mostra a anomalia condutiva indicada pelo mapa. Esta anomalia apresenta ainda um ramo que se estende perpendicularmente à direção principal, que é interpretada como sendo uma direção secundária de fluxo da água subterrânea condicionada por um possível fraturamento, observado na pseudo-seção de resistividade aparente (PEREIRA, 2002) (figura 5.2).

O mapa de caminhamento eletromagnético (bobinas com eixo vertical) exhibe a mesma anomalia que o mapa obtido com os dados do caminhamento com as bobinas com eixo horizontal (figura 5.3), porém a anomalia condutiva é mais acentuada quando a profundidade teórica é menor. Isto ocorre devido à profundidade do embasamento ser relativamente pequena, aproximadamente 16 m (PEREIRA, 2002), o que faz com que a condutividade medida seja menor quando a profundidade de investigação aumenta. Deve-se ressaltar que há um desnível entre o lixão e as ruas onde foram realizados o caminhamento eletromagnético.

A anomalia observada coincide com o local onde há a infiltração do chorume no solo por meio de uma tubulação subterrânea que liga a lagoa de infiltração com a divisa da área do lixão na altura da Rua Maria Rita Franco Fonseca.

Figura 5.1 - Mapa de isocondutividade aparente obtido a partir do caminhamento eletromagnético indutivo (EM-31) dentro do lixão

Figura 5.2 - Mapa de isocondutividade aparente obtido a partir do caminhamento eletromagnético indutivo (bobinas com eixo horizontal) nas ruas do entorno do lixão

Figura 5.3 - Mapa de isocondutividade aparente obtido a partir do caminhamento eletromagnético indutivo (bobinas com eixo vertical) nas ruas do entorno do lixão

5.2 - Análises Granulométricas

Os resultados das análises granulométricas encontram-se na tabela 5.1 (a, b e c), mostrando predominância acentuada da fração areia nos diferentes pontos do depósito e poços e preponderância das frações silte e argila nas amostras da lagoa de infiltração.

A caracterização textural foi obtida através do diagrama triangular de Shepard (Figura 5.4).

Tabela 5.1 – Resultados das análises granulométricas das amostras de solo coletadas no depósito de resíduos (a), na lagoa de infiltração (b) e nos poços (c).

(a)			
Amostras	Teores (%)		
	Areia	Silte	Argila
SD 1	72,47	20,39	7,14
SD 2	79,72	14,19	6,63
SD 3	72,84	19,36	9,38
SD 4	64,33	14,75	20,60
SD 5	56,06	14,93	29,58
SD 6	60,15	18,55	20,29
SD 8	63,43	15,75	20,73
SD 9	67,04	18,34	14,68
SD 10	51,21	28,07	20,91
SD 11a	57,94	24,05	18,46
SD 11b	75,18	14,34	10,30
SD 11c	43,54	15,62	42,43

(b)			
Amostras	Teores (%)		
	Areia	Silte	Argila
A I	84,57	10,10	6,93
A II	55,56	26,01	21,62
B I	11,38	53,15	36,94
B II	14,75	45,99	37,02
C I	10,83	46,60	39,57
C II	14,95	40,16	43,14
D I	26,92	38,46	36,00
D II	8,58	50,08	39,89
E I	26,77	45,54	31,72
E II	36,99	34,31	32,23

continua

Tabela 5.1 – Resultados das análises granulométricas das amostras de solo coletadas no depósito de resíduos (a), na lagoa de infiltração (b) e nos poços (c) (continuação)

Amostras	(c) Teores (%)		
	Areia	Silte	Argila
PM 1 I	62,38	28,97	11,93
PM 1 II	62,88	28,62	10,71
PM 1 III	68,35	26,63	7,14
PM 1 IV	75,16	20,76	5,10
PM 1 V	73,96	7,05	21,31
PM 3 I	79,48	6,20	11,83
PM 3 II	73,58	11,98	14,79
PM 3 III	50,89	29,81	22,52
PM 3 IV	55,21	16,28	27,74
PM 4 I	78,05	7,81	10,97
PM 4 III	59,52	18,05	17,72
PM 4 IV	64,27	15,81	77,70

Figura 5.4- Diagramas triangulares de Shepard (1954) para amostras de solos coletados no depósito de resíduos (a) e na lagoa de infiltração (b) e dos poços (c)

5.3 - Análises Mineralógicas

Foram realizadas análises mineralógicas através de difratometria de raios X nas amostras de maior interesse, e os resultados são apresentados na figura 5.5 (a-j).

As análises mostraram que os solos são compostos mineralogicamente por quartzo, feldspato, mica e argilominerais do grupo da caulinita.

a)

b)

Figura 5.5 – Difractogramas das amostras de solo SD1(a) e SD2(b) do depósito de resíduos (fração menor que 2mm)

c)

d)

Figura 5.5 – Difractogramas das amostras de solo SD4(c) e SD11a (d) do depósito de resíduos (fração menor que 2mm)

e)

f)

Figura 5.5 – Difractogramas das amostras de solo SD11b (e) e SD11c (f) do depósito de resíduos (fração menor que 2mm)

g)

h)

Figura 5.5 – Difractogramas das amostras de solo B I (g) e B II (h) da lagoa de infiltração (fração menor que 2mm)

i)

j)

Figura 5.5 – Difrátogramas das amostras de solo D I (i) e D II (j) da lagoa de infiltração (fração menor que 2mm)

5.4 - Capacidade de Troca Catiônica - CTC

Os resultados das análises de CTC encontram-se na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultados das análises de Capacidade de Troca Catiônica nas amostras de interesse do depósito de resíduos e da lagoa de infiltração do lixão de Ilhabela

Local da coleta	Amostras	CTC (mmol.dm ⁻³)
Solos do depósito	SD 1	35,8
	SD 2	53,4
	SD 4	353,9
	SD 9	23,6
	SD 10	22,0
Solos da lagoa	B I	53,4
	B II	68,9

Observa-se que a CTC é relativamente baixa, com exceção da amostra SD 4 (correspondente ao aterramento do lixo mais antigo) com valores cerca de 10 vezes superiores provavelmente devido a interferência da presença de matéria orgânica.

5.5 - pH de Solos

A avaliação da natureza da carga predominante nas partículas coloidais pode ser obtida pela diferença entre o pH determinado em meio aquoso e em solução de KCl 1N:

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})} - \text{pH}_{(\text{KCl})}$$

Quando ΔpH é maior que zero, predominam cargas negativas, e positivos se o ΔpH for menor. (TAN, 1994).

As medidas de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ e pH_{KCl} foram realizadas no laboratório de Hidrogeoquímica III do CEPAS – USP e os resultados encontram-se na tabela 5.3.

Todas as amostras exibiram valores positivos de ΔpH , indicando a presença de cargas negativas nas partículas coloidais, ou seja, capazes de adsorverem os íons com cargas positivas.

Tabela 5.3 – Resultados de pH em meio aquoso e em solução de KCl 1N e Δ pH das amostras de solos do depósito de resíduos (a), da lagoa de infiltração (b) e dos poços (c)

(a)			
Amostras	pH _(H2O)	pH _(KCl)	Δ pH
SD 1	4,56	3,35	+1,21
SD 2	7,80	6,83	+0,97
SD 3	7,43	6,62	+0,81
SD 4	7,82	7,55	+0,27
SD 5	7,73	7,38	+0,35
SD 6	8,17	7,70	+0,47
SD 7	8,29	7,99	+0,30
SD 8	8,14	7,75	+0,39
SD 9	7,81	7,15	+0,66
SD 11a	5,66	4,98	+0,68
SD 11b	7,95	7,25	+0,70
SD 11c	5,16	4,21	+0,95
(b)			
Amostras	pH _(H2O)	pH _(KCl)	Δ pH
A I	7,83	6,86	+0,97
A II	6,84	5,83	+1,01
B I	6,36	5,62	+0,74
B II	6,44	5,52	+0,92
C I	6,84	6,39	+0,45
C II	6,67	5,84	+0,83
D I	6,63	5,74	+0,89
D II	6,60	6,02	+0,58
E I	6,52	5,75	+0,77
E II	6,64	5,96	+0,68
(c)			
Amostras	pH _(H2O)	pH _(KCl)	Δ pH
PM 1 I	5,13	3,89	+1,24
PM 1 II	5,39	4,18	+1,20
PM 1 III	5,80	3,80	+2,00
PM 1 IV	6,11	3,83	+2,28
PM 1 V	5,81	3,74	+2,07
PM 2 I	5,22	4,47	+0,75
PM 2 II	6,17	4,17	+2,00
PM 2 III	6,13	4,38	+1,75
PM 3 I	7,95	7,61	+0,34
PM 3 II	7,82	7,46	+0,36
PM 3 III	7,09	6,53	+0,56
PM 3 IV	6,48	6,43	+0,05
PM 4 I	5,22	4,17	+1,05
PM 4 II	5,15	4,17	+0,98
PM 4 III	5,34	4,39	+0,95
PM 4 IV	5,43	4,64	+0,79

5.6 - Análises químicas

5.6.1 - Solo

Os resultados analíticos das amostras de solos do depósito, da lagoa de infiltração e dos poços, encontram-se nas tabelas 5.4 e 5.5.

Tabela 5.4 – Análises químicas (%) dos constituintes maiores das amostras de solo coletadas nos diferentes pontos do depósito (a), da lagoa de infiltração (b) e dos poços (c).

(a)									
Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
SD 1	61,03	18,06	5,26	0,02	0,76	0,16	2,88	0,11	0,04
SD 2	69,79	14,51	3,91	0,64	0,77	0,76	3,66	0,06	0,08
SD 3	69,17	14,76	3,78	0,46	0,67	0,55	3,62	0,05	0,08
SD 4	59,60	16,10	7,60	1,86	0,40	0,57	1,37	0,06	0,53
SD 5	70,41	14,23	4,62	0,48	0,40	0,46	1,33	0,04	0,10
SD 6	66,17	15,96	5,13	0,79	0,58	0,60	2,26	0,05	0,10
SD 7	79,28	9,15	3,36	0,69	0,38	0,60	2,20	0,05	0,07
SD 8	64,49	16,65	5,01	1,01	0,69	0,75	2,40	0,06	0,11
SD 9	69,61	13,76	4,07	0,50	0,67	0,66	2,72	0,06	0,08
SD 10	59,42	19,74	5,84	0,47	0,80	0,52	2,38	0,07	0,10
SD 11a	43,90	29,64	8,63	0,07	0,43	0,13	1,27	0,08	0,10
SD 11b	45,81	26,34	7,22	1,01	1,13	0,79	2,36	0,09	0,33
SD 11c	41,10	28,42	8,58	0,44	0,45	0,59	1,28	0,05	0,15
(b)									
Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
A I	45,23	28,18	7,71	0,74	0,63	0,18	1,76	0,09	0,17
A II	44,03	29,22	7,94	0,17	0,53	0,15	1,42	0,06	0,11
B I	41,81	31,04	8,56	0,16	0,55	0,12	1,26	0,05	0,14
B II	42,67	30,68	8,17	0,16	0,54	0,13	1,29	0,05	0,13
C I	40,10	29,23	8,48	0,22	0,65	0,12	1,24	0,06	0,14
C II	40,57	28,78	8,17	0,16	0,64	0,13	1,35	0,05	0,12
D I	42,63	30,10	8,04	0,27	0,55	0,17	1,32	0,06	0,17
D II	42,13	30,64	8,16	0,20	0,61	0,15	1,32	0,05	0,13
E I	43,61	30,15	8,05	0,16	0,55	0,13	1,44	0,05	0,13
E II	42,85	30,18	8,19	0,21	0,50	0,12	1,26	0,06	0,12

continua

Tabela 5.4 – Análises químicas (%) dos constituintes maiores das amostras de solo coletadas nos diferentes pontos do depósito (a), da lagoa de infiltração (b) e dos poços (c) (continuação)

(c)									
Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅
PM 1 I	62,93	17,80	6,03	0,02	0,99	0,21	3,33	0,04	3,33
PM 1 II	65,70	17,00	5,75	0,02	0,89	0,15	2,95	0,04	2,95
PM 1 III	63,37	18,21	5,40	0,21	1,19	0,39	2,75	0,05	2,75
PM 1 IV	63,86	18,02	5,59	0,47	1,43	0,68	2,93	0,07	2,93
PM 1 V	64,55	17,37	5,66	0,61	1,41	0,79	2,93	0,08	2,93
PM 2 I	62,37	17,76	5,93	0,03	0,97	0,22	3,17	0,05	3,17
PM 2 II	65,49	16,85	4,41	0,17	0,95	0,33	3,49	0,04	3,49
PM 2 III	60,01	17,04	7,04	0,22	1,28	0,30	2,72	0,07	2,72
PM 3 I	78,99	9,95	2,74	0,64	0,35	0,61	2,18	0,04	2,18
PM 3 II	76,14	11,12	3,15	0,61	0,33	0,56	2,08	0,03	2,08
PM 3 III	67,88	13,81	4,16	0,59	0,33	0,41	1,32	0,07	1,32
PM 3 IV	68,08	13,10	4,06	0,65	0,32	0,61	1,48	0,04	1,48
PM 4 I	71,93	13,38	4,51	0,24	0,69	0,43	3,02	0,07	3,02
PM 4 II	65,15	18,81	5,02	0,04	0,37	0,16	1,91	0,03	1,91
PM 4 III	66,74	18,26	3,87	0,03	0,39	0,20	3,16	0,03	3,16
PM 4 IV	65,33	18,68	4,70	0,04	0,56	0,17	2,65	0,03	2,65

Tabela 5.5 – Valores dos elementos traço (mg.kg⁻¹) nas amostras de solo coletadas nos diferentes pontos do depósito (a), na lagoa de infiltração (b) e nos poços (c)

(a)				
Amostras	Mn	Pb	Ba	Zn
SD 1	833	8	534	82
SD 2	466	31	663	95
SD 3	405	30	650	86
SD 4	451	126	256	251
SD 5	290	24	243	152
SD 6	397	28	413	91
SD 7	382	28	397	82
SD 8	451	24	441	77
SD 9	435	24	444	78
SD 10	550	40	434	86
SD 11a	604	70	279	79
SD 11b	689	66	766	136
SD 11c	379	69	213	89

continua

Tabela 5.5 – Valores dos elementos traço (mg.kg⁻¹) nas amostras de solo coletadas nos diferentes pontos do depósito (a), na lagoa de infiltração (b) e nos poços (c) (continuação)

(b)				
Amostras	Mn	Pb	Ba	Zn
A I	674	156	370	156
A II	457	69	283	69
B I	379	67	273	86
B II	387	59	274	87
C I	443	48	2,55	37
C II	418	48	239	94
D I	465	62	313	136
D II	410	61	296	101
E I	418	68	315	93
E II	457	51	253	96

(c)				
Amostras	Mn	Pb	Ba	Zn
PM 1 I	336	17	582	70
PM 1 II	290	21	507	76
PM 1 III	382	19	570	155
PM 1 IV	565	21	574	171
PM 1 V	580	20	546	161
PM 2 I	342	18	672	72
PM 2 II	336	27	663	82
PM 2 III	550	12	652	101
PM 3 I	267	28	396	48
PM 3 II	252	26	362	49
PM 3 III	512	29	266	56
PM 3 IV	267	24	279	49
PM 4 I	535	31	565	74
PM 4 II	260	35	321	51
PM 4 III	214	34	447	41
PM 4 IV	260	37	382	58

Os valores dos elementos traços Mn, Pb, Ba e Zn nas amostras de solo do depósito, lagoa e poços, foram projetados em gráficos (Figura 5.6 a 5.9).

Figura 5.6 – Teores (mg.kg⁻¹) de Mn, Pb, Ba e Zn nas amostras coletadas no depósito de lixo

Os resultados das análises químicas das amostras que tiveram contato com chorume e com os lixos dispostos apresentam, como era de se prever, enriquecimento pelos íons metálicos Pb²⁺ e Zn²⁺ quando comparados com solo não impactado. Observou-se que o Mn e o Ba têm seus valores diminuídos em relação ao solo de referência (amostra SD 1) indicando mobilização destes cátions.

A amostra SD 4, coletada no local onde estão aterrados os resíduos mais antigos, apresenta teores iônicos mais elevados que as demais amostras. Nela os íons chumbo e zinco são superiores aos valores de alerta, proposto pela CETESB (2002) para solos do Estado de São Paulo.

Figura 5.7 – Teores (mg.kg⁻¹) de Mn, Pb, Ba e Zn no perfil de disposição dos resíduos no depósito

No solo em mistura com o lixo (SD 11) as amostras do perfil indicaram conteúdos de chumbo e zinco praticamente constantes. Devido a maior quantidade de lixo na porção intermediária (SD 11b) verificou-se teores de Ba e Mn apresentaram-se mais elevados.

a)

b)

c)

d)

e)

Figura 5.8 – Valores de Mn, Pb, Ba e Zn, em função da profundidade nas amostras de solo e de efluentes coletados na lagoa de infiltração nos pontos A (a), B (b), C (c), D (d) e E (e)

De maneira geral, no solo da lagoa de infiltração os íons metálicos Mn, Pb, Ba e Zn tendem a exibir teores menores ou iguais nas amostras coletadas a 0,50 m quando comparadas às amostras da superfície; a maior diferença é observado com o Zn.

Deve-se ressaltar que os valores dos íons de interesse nas amostras de solo da lagoa de infiltração não ultrapassam aqueles propostos pela CETESB (2002).

Os teores de Mn, Pb, Ba e Zn nos solos dos poços e das águas subterrâneas foram projetados em função da profundidade das amostras o que favoreceu a interpretação da mobilidade destes metais no solo (Figura 5.9).

Figura 5.9 – Teores de Mn, Pb, Ba e Zn nas amostras de solo do perfil dos poços perfurados (mg.kg^{-1}) e nas respectivas amostras de águas subterrâneas ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Nos perfis dos quatro poços perfurados (PM 1 a PM 4) o comportamento do chumbo e bário manteve-se constante; o zinco e o manganês próximo da zona saturada sofrem aumento de suas concentrações.

Os resultados analíticos da água desses poços mostraram valores coerentes com os valores dos solos associados, isto é quando se tem menor adsorção resulta numa maior concentração na água.

5.6.2 – Chorume

5.6.2.1 – Chorume da Lagoa de Infiltração

Na tabelas 5.6 e 5.7 encontram-se os resultados das determinações dos parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de chorume da lagoa de infiltração.

Tabela 5.6 – Valores de temperatura (T°C), pH, condutividade elétrica (C.E.), alcalinidade, OD e Eh, das amostras de chorume coletadas na lagoa de infiltração do lixão de Ilhabela

Data da coleta	T °C	pH	C. E. mS.cm ⁻¹	Alcalinidade m.L ⁻¹ CaCO ₃	OD m.L ⁻¹	Eh mV
CH 01	25,0	7,05	na	na	na	na
CH 02	28,3	8,15	1,30	1,63	6,95	+ 159
CH 03	26,3	7,90	5,53	0,00	0,77	- 180
CH 04	27,3	7,89	2,19	0,00	1,33	+ 170
CH 05	28,3	8,47	17,27	0,00	0,02	- 158

na = não analisado

Tabela 5.7 – Análises químicas (mg.L⁻¹) das amostras de chorume coletadas na lagoa de infiltração

Cátions										
Amostras	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _(t)	Mn ²⁺	Al ³⁺	Ba ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
CH 01	na	na	6,75	22,60	0,92	0,08	nd	nd	0,08	0,17
CH 02	106,00	82,00	37,80	24,70	1,17	0,71	0,14	0,29	nd	0,01
CH 03	500,00	493,00	116,00	102,00	6,43	1,70	0,36	0,36	0,01	0,11
CH 04	241,00	180,00	47,20	37,80	3,71	1,16	0,24	0,31	0,01	0,19
CH 05	2730,00	1740,00	50,90	36,10	13,84	1,12	0,84	0,79	0,23	0,19
Ânions										
Amostras	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Br ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CN ⁻		
CH 01	na	na	na	na	na	na	na	na		
CH 02	1,47	535,14	nd	0,14	0,58	0,34	1,52	na		
CH 03	68,00	199,20	nd	11,15	0,09	0,02	6,42	na		
CH 04	0,80	379,01	0,79	0,16	0,45	0,14	5,69	0,04		
CH 05	11,34	4301,24	nd	0,42	4,09	1,44	9,47	0,26		

nd = não determinado; na = não analisado

Os resultados das análises químicas de Ba^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} nas amostras de chorume foram projetados em gráficos (figura 5.10).

Figura 5.10 – Valores de Ba^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} (mg.L⁻¹) nas amostras de chorume coletadas na lagoa de infiltração e nas canaletas de drenagem

As amostras de chorume coletadas da lagoa de infiltração exibem concentrações de metais que atendem aos valores impostos pela CONAMA (1986), com exceção do Mn das amostras CH 03, CH 04 e CH 05.

Em CH 05 a concentração de CN^- é cerca de 10 vezes superior ao limites estabelecidos. Lembrando que este ânion forma-se em condições anômalas de degradação da matéria orgânica.

Como se sabe, CH 5 corresponde ao chorume antes de atingir a lagoa de infiltração e CH 4 da lagoa. Estas amostras apresentam características diferentes: CH 5 possui baixa quantidade de oxigênio dissolvido (caráter redutor) e condutividade elétrica cerca de 8 vezes superior ao de CH 4. As concentrações dos demais íons metálicos exibem valores bastante superiores em CH 5, sugerindo que as condições de oxi-redução influenciam de certa maneira na disponibilidade dos metais.

O comportamento iônico do chorume coletado no período chuvoso, como é de se prever, apresenta características diferentes daqueles coletados no período de estiagem.

No período seco as concentrações foram superiores, os parâmetros como condutividade elétrica, Eh e OD sofreram forte influência das águas pluviais. A condutividade apresentou-se bastante elevada; o oxigênio dissolvido relacionado à capacidade de oxi-redução tiveram seus valores diminuídos.

5.6.2.2 – Chorume da Lagoa de Infiltração - coleta subsuperficial

Nas tabelas 5.8 e 5.9 são apresentados os resultados dos parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de chorume associado ao solo da lagoa.

Tabela 5.8 – Valores de Temperatura, pH, condutividade elétrica (C.E.) e alcalinidade das amostras de efluentes associados aos solos da lagoa de infiltração do lixão de Ilha-bela

amostras	T (°C)	pH	C. E. ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Alcalinidade ($\text{mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$)
B	26,5	6,79	1264	3,03
C	26,2	6,98	1272	1,77
D	26,8	6,96	1479	2,42
E	26,0	7,89	1210	1,36

C.E.= condutividade elétrica

Tabela 5.9 – Análises químicas (mg.L^{-1}) das amostras de chorume associado ao solo da lagoa de infiltração

Cátions										
Amostras	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Fe}_{(t)}$	Mn^{2+}	Al^{3+}	Ba^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}
B	141,00	71,80	81,60	32,40	105,60	6,18	74,40	0,48	0,19	0,03
C	114,00	58,30	59,60	19,40	2,94	4,24	3,87	0,25	0,04	0,02
D	131,00	67,60	115,00	35,00	84,06	6,60	99,40	0,53	0,21	0,02
E	124,00	57,60	53,10	18,25	1,43	0,40	2,09	0,22	0,07	nd
Ânions										
Amostras	F^-	Cl^-	NO_2^-	NO_3^-	Br^-	HPO_4^{2-}	SO_4^{2-}			
B	0,08	244,91	nd	0,41	0,27	0,02	49,43			
C	0,23	60,14	nd	0,42	0,08	0,02	19,32			
D	0,77	327,85	nd	3,53	0,24	nd	136,60			
E	0,17	70,16	nd	0,98	0,05	nd	37,82			

nd = não detectado

Os valores dos íons Mn^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} e Ba^{2+} nas amostras de chorume coletados subsuperficialmente associado ao solo da lagoa foram projetados em gráficos que são apresentados na Figura 5.11; os valores de manganês acham-se multiplicados por 10^{-1} .

Figura 5.11 – Valores de Ba²⁺, Mn²⁺, Pb²⁺ e Zn²⁺ nas amostras de chorume associado ao solo da lagoa de infiltração

O chorume associado ao solo da lagoa apresenta maiores concentrações nos locais de sua entrada (B) e na porção central (D). Nestas amostras os valores de Mn ultrapassam os máximos permitido pela CONAMA (1986).

As características do chorume da lagoa em condições seca é bastante distinto daquele armazenado superficialmente.

A comparação dos resultados analíticos mostrou que há intensa assimilação iônica durante a percolação refletidos também nos valores de Eh e condutividade elétrica. Verificou-se diminuição das concentrações dos metais influenciando na condutividade elétrica; o potencial de oxi-redução do chorume da lagoa cheia provavelmente sofre ação microbiológica, com acentuada diminuição chegando a valores negativos.

5.6.3 – Águas Subterrâneas

São apresentados nas tabelas 5.10 e 5.11 os parâmetros físico-químico e químicos das amostras de água da zona saturada coletadas nos poços da região do lixão de Ilhabela.

Tabela 5.10 – Valores de temperatura (T°C) , pH, condutividade elétrica (C.E.), alcalinidade, OD e Eh, das amostras de água subterrânea coletadas nos poços PM 1, PM 2, PM 3 e PM 4

Amostras	T (°C)	pH	C. E. ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Alcalinidade ($\text{mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$)	OD (m.L^{-1})	Eh (mV)
PM 1	24,7	5,46	49	0,07	4,53	+288
PM 2	25,3	7,06	525	1,28	2,20	+134
PM 3	24,1	6,88	1618	2,87	1,44	+177
PM 4	24,3	5,17	48	0,04	2,36	-303

C. E.= condutividade elétrica

Tabela 5.11 – Análises químicas (mg.L^{-1}) das amostras de águas subterrâneas dos poços PM 1, PM 2, PM 3 e PM 4

Cátions										
Amostras	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _(t)	Al ³⁺	Mn ²⁺	Ba ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
PM 1	6,13	5,75	0,91	1,11	0,02	0,01	nd	0,03	0,001	0,051
PM 2	13,30	7,35	4,65	3,07	0,24	0,41	0,04	0,10	0,001	0,014
PM 3	150,00	75,00	189,00	35,00	0,07	0,06	0,16	0,31	0,003	0,081
PM 4	6,79	4,37	1,52	1,40	nd	0,01	0,03	0,02	0,001	0,056
Ânions										
Amostras	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Br ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CN ⁻		
PM 1	0,04	6,39	0,03	1,17	0,03	0,01	2,81	0,05		
PM 2	0,19	51,12	nd	0,71	0,06	0,24	4,16	na		
PM 3	0,26	262,48	0,29	23,26	0,43	0,02	7,05	0,04		
PM 4	0,01	9,94	0,04	1,65	0,06	0,02	3,97	0,02		

nd = não determinado ; na = não analisado

As concentrações (mg.L^{-1}) do íons Mn²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺ e Ba²⁺ determinados nas amostras de água dos poços perfurados na região do lixão de Ihabela foram projetados em gráficos que são apresentados na figura 5.12.

Figura 5.12 – Valores de Ba²⁺, Mn²⁺, Pb²⁺ e Zn²⁺ nas amostras de águas subterrâneas dos poços PM 1, PM 2, PM 3 e PM 4

Nas amostras de águas subterrâneas as concentrações do Pb são baixas indicando fixação nas partículas sólidas.

As concentrações dos íons em PM 3, são superiores as demais amostras, indicando que a infiltração do chorume altera significativamente a qualidade da água subterrânea do local.

5.6.4 – Águas das Chuvas

Na tabela 5.12 são apresentados os valores médios das análises químicas das amostras das águas de chuva dos meses de julho, agosto e setembro de 2001 e janeiro de 2002, coletadas próximas ao lixão de Ilhabela o pH médio da água de chuva foi de 6,2.

Tabela 5.12 – Análises químicas (mg.L⁻¹) das águas de chuva dos meses julho, agosto e setembro de 2001 e janeiro de 2002 (médias mensais)

Cátions											
Amostras	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _(t)	Mn ²⁺	Al ³⁺	Ba ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
Julho (2001)	1,10	0,10	0,65	0,15	nd	0,02	nd	nd	nd	nd	nd
Agosto (2001)	3,00	0,30	1,70	0,40	nd	nd	nd	nd	nd	0,02	nd
Setembro (2001)	1,00	0,20	1,45	0,25	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Janeiro (2002)	2,10	0,30	2,30	0,25	0,03	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Ânions							
Amostras	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Br ⁻	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻
Julho (2001)	nd	1,70	0,02	0,74	0,01	0,05	1,12
Agosto (2001)	nd	2,66	nd	0,06	0,02	0,04	1,96
Setembro (2001)	nd	1,21	0,01	1,32	nd	0,04	1,47
Janeiro (2002)	nd	4,73	0,02	1,08	nd	0,02	1,39

nd = não detectado

As análises das amostras de águas de chuva mostram que os valores obtidos estão dentro dos valores médios para o litoral de São Paulo, portanto com pouca ou nenhuma influência sobre o comportamento dos íons estudados.

5.7 - Extrações Seqüenciais

Os experimentos de extrações seqüenciais permitem a observação do mecanismo de mobilidade e fixação dos íons presentes no solo.

As tabelas 5.13 e 5.14 apresentam os resultados das análises químicas das extrações seqüenciais de amostras de solo do depósito e da lagoa de infiltração.

Tabela 5.13 – Resultados das análises químicas (mg.L⁻¹) das soluções geradas nos procedimentos de extrações sequenciais das amostras de solo do depósito de resíduos

Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
SD 1	A	0,80	nd	nd	nd
	B	4,13	0,29	0,89	0,26
	C	1,55	0,14	0,78	0,19
	D	0,42	8,73	0,75	0,18
	E	1,00	2,45	0,13	0,25
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
SD 2	A	0,03	nd	nd	0,01
	B	2,08	0,15	0,34	0,13
	C	1,38	1,36	0,26	0,51
	D	0,03	4,88	0,32	0,30
	E	5,65	17,53	0,93	7,00
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
SD 3	A	nd	nd	nd	nd
	B	2,10	0,05	0,38	0,14
	C	1,63	1,45	0,35	0,29
	D	0,13	3,83	0,33	0,27
	E	0,35	1,65	0,20	0,63
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
SD 4	A	0,08	nd	0,09	0,60
	B	0,58	0,09	0,29	0,54
	C	1,18	1,28	0,38	1,61
	D	0,20	4,45	0,68	4,02
	E	0,80	4,08	1,73	7,53
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
SD 5	A	nd	0,03	nd	0,23
	B	0,65	0,14	1,11	0,49
	C	0,83	2,28	1,04	0,90
	D	0,17	2,03	1,08	1,15
	E	0,40	1,03	0,78	1,38
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
SD 6	A	nd	nd	nd	0,16
	B	1,63	0,10	0,25	0,61
	C	1,93	1,68	0,29	0,80
	D	0,17	3,17	0,27	0,55
	E	0,25	3,42	0,35	1,33
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
SD 11a	A	0,03	0,06	nd	0,05
	B	3,30	5,75	1,15	0,29
	C	0,88	4,25	0,50	0,14
	D	0,07	4,28	0,33	0,18
	E	1,45	1,93	0,60	0,28

Tabela 5.13 – Resultados das análises químicas (mg.L⁻¹) das soluções geradas nos procedimentos de extrações sequenciais das amostras de solo do depósito de resíduos (continuação)

Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
SD 11b	A	0,03	nd	nd	0,01
	B	2,95	0,19	0,31	0,21
	C	5,63	2,39	1,36	0,53
	D	0,07	3,03	0,45	0,48
	E	1,80	2,33	0,60	0,88
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
SD 11c	A	0,50	0,05	0,04	0,01
	B	0,38	0,08	1,30	0,25
	C	0,43	0,95	0,59	0,18
	D	0,27	2,38	0,80	0,35
	E	0,40	1,45	1,13	0,78

Tabela 5.14 – Resultados das análises químicas (mg.L⁻¹) das soluções geradas nos procedimentos de extrações sequenciais das amostras da lagoa de infiltração

Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
A I	A	nd	nd	nd	0,10
	B	0,58	0,06	0,95	0,41
	C	1,15	2,54	0,74	0,58
	D	0,30	1,72	0,80	0,62
	E	0,45	1,30	0,25	0,80
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
A II	A	nd	nd	nd	0,09
	B	2,98	0,19	0,23	0,23
	C	1,40	1,28	0,24	0,35
	D	nd	2,15	0,23	0,18
	E	1,10	2,13	1,08	1,08
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
B I	A	nd	0,03	nd	0,36
	B	1,03	0,10	0,64	0,25
	C	1,80	0,85	0,38	0,38
	D	nd	3,15	0,52	0,55
	E	nd	1,63	0,83	1,23
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
B II	A	nd	0,03	nd	0,20
	B	2,05	0,14	1,14	0,54
	C	1,80	1,41	0,75	0,41
	D	nd	2,43	0,90	0,50
	E	0,65	1,40	0,85	0,93

continua

Tabela 5.14 – Resultados das análises químicas (mg.L⁻¹) das soluções geradas nos procedimentos de extrações sequenciais das amostras da lagoa de infiltração (continuação)

Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
C I	A	0,23	nd	nd	0,36
	B	1,43	0,11	1,04	0,44
	C	2,53	1,01	0,85	0,73
	D	nd	3,92	0,87	0,65
	E	nd	2,43	0,60	1,43
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
C II	A	nd	nd	nd	0,06
	B	2,15	0,10	1,13	0,38
	C	2,08	1,25	0,84	0,40
	D	nd	3,47	0,88	0,50
	E	0,45	1,70	0,90	0,85
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
D I	A	nd	nd	nd	0,20
	B	1,75	0,04	0,59	0,28
	C	1,28	0,46	0,35	0,73
	D	nd	3,20	0,52	0,68
	E	1,10	2,23	0,98	2,20
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
D II	A	nd	0,04	nd	0,38
	B	0,93	0,18	0,34	0,56
	C	0,95	0,49	0,21	0,39
	D	nd	0,22	0,37	0,57
	E	1,50	2,20	0,65	1,75
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
E I	A	nd	0,06	nd	0,20
	B	1,60	0,29	1,03	0,50
	C	2,30	1,19	0,80	0,40
	D	nd	3,23	0,97	0,82
	E	nd	0,78	0,58	0,98
Amostra	Etapas	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Pb ²⁺	Zn ²⁺
E II	A	nd	0,06	nd	0,39
	B	1,98	0,46	1,29	0,59
	C	2,40	1,78	0,88	0,60
	D	nd	3,43	0,95	0,65
	E	0,35	1,33	0,50	0,80

Os dados das análises químicas das extrações sequenciais foram projetados em gráficos (figuras 5.13 e 5.14).

(a) SD 1

(b) SD 2

(c) SD 3

(d) SD 4

(e) SD 5

(f) SD 6

(g) SD 11a

(h) SD 11b

(i) SD 11c

Figura – 5.13 – Porcentagem de Ba^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} resultado das extrações sequenciais associados aos constituintes das amostras de solo de diferentes pontos do depósito – as letras representam as etapas utilizadas nas extrações sequenciais

(a) A I

(b) A II

(c) B I

(d) B II

(e) C I

(f) C II

(g) D I

(h) D II

(i) E I

(j) E II

Figura 5.14 – Porcentagem de Ba^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} resultado das extrações sequenciais associados aos constituintes das amostras de solo da lagoa de infiltração – as letras representam as etapas utilizadas nas extrações sequenciais

Os dados das extrações seqüenciais proporcionaram melhor compreensão dos mecanismos do comportamento dos íons Mn^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} e Ba^{2+} .

Verificou-se através das extrações seletivas que os íons metálicos, de maneira geral, exibem comportamentos semelhantes para os solos do depósito e da lagoa de infiltração.

Comprovou-se que os íons Pb, Mn e Ba, encontram-se adsorvidos principalmente nas frações CO_3^{2-} , matéria orgânica e óxidos e hidróxidos.

Observa-se que o Zn foi o íon metálico mais extraído na fração percolada pela água, comportamento esperado, uma vez que dentre os cátions estudados ele é o mais móvel.

5.8 - Testes de adsorção

5.8.1 – Com Chorume

Os resultados das análises químicas do chorume coletado na lagoa de infiltração do lixão de Ilhabela - SP e das soluções geradas após os testes de adsorção com chorume ao solo não impactado são apresentados nas tabelas 5.15 e 5.16.

Tabela 5.15 – Análises químicas físico-químicas do chorume coletado na lagoa de infiltração

pH	C.E. (mS.cm ⁻¹)	Eh (mv)	OD (mg.L ⁻¹)	T °C	Ba ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Mn ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Pb ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Zn ²⁺ (mg.L ⁻¹)
7,95	31,10	-224	0,10	36,5	0,13	0,19	0,57	1,01

C.E. = condutividade elétrica

Tabela 5.16 – Análises químicas das soluções resultantes dos testes de adsorção com chorume

Tempo (dias)	Massa (g)	Ba ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Mn ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Pb ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Zn ²⁺ (mg.L ⁻¹)
00	-	0,13	0,19	0,57	1,01
01	15,60	0,20	0,89	0,29	0,26
05	15,83	0,14	0,57	0,44	0,27
07	16,09	0,14	0,51	0,53	0,29
10	15,83	0,10	0,54	0,52	0,23
15	15,56	0,14	0,41	0,53	0,20
20	15,20	0,13	0,35	0,50	0,29
30	16,12	0,35	0,31	0,46	0,20

Os valores das análises químicas (mg.L⁻¹) de cada elemento de interesse foram projetados em função do tempo de contato entre solo e chorume (figura 5.15).

O desenvolvimento dos testes de adsorção com chorume permitiu que se estudasse o comportamento geoquímico dos íons Ba^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} e Zn^{2+} .

Observou-se que o solo, quando em contato com o chorume, tende a fornecer para o líquido íons de Ba e Mn, no entanto, ele adsorveu parte da quantidade de Pb e Zn disponível no chorume.

Na figura 5.15 (a a d) são apresentados os teores de íons adsorvidos em função do tempo de contato

Figura 5.15 – Quantidade adsorvida/dessorvida dos íons Ba^{2+} (a), Mn^{2+} (b), Pb^{2+} (c) e Zn^{2+} (d) em função do tempo de contato entre solo e chorume

Verificou-se que no contato com solo com chorume, ocorre adsorção dos íons Pb e Zn. A adsorção do Pb é mais intensa nos primeiros dias e praticamente se estabiliza a partir do sétimo dia; o zinco é adsorvido de maneira constante ao longo dos dias.

O Ba é deslocado do solo com aumento do tempo de contato sendo que no 30º dia, provavelmente, devido a presença de íons em solução (força iônica), ocorrem um colapso estrutural de compostos contendo bário.

Foi constatado também que a mobilidade dos íons manganês ocorre paulatinamente em função do aumento do tempo.

5.8.2 – Testes com Soluções de Pb^{2+} e Zn^{2+}

Como constatou-se que apenas o Pb e Zn são adsorvidos, efetuaram-se experimentos utilizando soluções com várias concentrações desses íons, que foram mantidos em contato com o solo não impactado por sete dias; este tempo foi utilizado devido estabilização do sistema sólido/líquido a partir deste período. Os dados analíticos das concentrações iniciais e finais das soluções, bem como a quantidade adsorvida, acham-se na tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Valores das concentrações iniciais (Ci), finais (Cf) e ΔC das soluções utilizadas nos testes de adsorção no solo não impactado do lixão de Ilhabela

Amostras	Pb^{2+}				Zn^{2+}			
	massa (g)	Ci (mg.L ⁻¹)	Cf (mg.L ⁻¹)	ΔC (mg.L ⁻¹)	massa (g)	Ci (mg.L ⁻¹)	Cf (mg.L ⁻¹)	ΔC (mg.L ⁻¹)
BT 01	na	na	na	-	15,12	0,17	0,01	0,16
BT 02	na	na	na	-	16,04	0,35	0,05	0,30
BT 03	16,24	0,53	nd	0,53	15,59	0,53	nd	0,53
BT 04	15,24	1,10	nd	1,10	16,35	0,75	0,34	0,41
BT 05	15,27	2,13	nd	2,13	17,04	0,96	0,58	0,38
BT 06	15,48	4,08	0,95	3,13	15,85	2,07	1,95	0,12
BT 07	16,17	5,48	1,59	3,89	15,53	4,98	4,89	0,09
BT 08	16,35	10,95	5,92	5,03	15,46	10,17	9,73	0,44
BT 09	15,90	20,82	15,43	5,39	15,30	21,44	20,28	1,16

na = não analisado; nd = não detectado

Os valores das quantidades adsorvidas (Ci-Cf) foram projetadas em gráficos em função das concentrações finais (Cf), como mostra a figura 5.16 (a e b).

Figura 5.16 – Quantidade adsorvida ($C_i - C_f$) ao solo ($mg.L^{-1}$) de Pb^{2+} (a) e Zn^{2+} (b) em função da concentração final ($mg.L^{-1}$)

Figura 5.17 – Capacidade de retenção de Pb (a) e Zn (b), em função das concentrações iniciais utilizadas nos testes

Os testes de adsorção realizados com soluções com concentrações conhecidas de Pb^{2+} e Zn^{2+} permitiram verificar a capacidade de retenção do solo utilizado para a cobertura dos resíduos dispostos no lixão de Ilhabela. Este solo apresentou boa capacidade de retenção para Pb (próximo a 100%), quando em contato com solução cuja concentração é menor que 4 mg.L⁻¹; com concentrações superiores a este valor, tem-se diminuição na capacidade de retenção.

Soluções com teores de Zn próximas daquelas do chorume do lixão, obteve-se boa capacidade de retenção (100%), entretanto, com valores maiores que 1,0 mg.L⁻¹, já se observa fixação da ordem de 50%, lembrando que o limite permitido pela CONAMA (1986) é de 5 mg.L⁻¹.

6 – CONCLUSÕES

Os resíduos gerados na cidade de Ilhabela são dispostos de maneira inadequada e assim, como a maioria das cidades brasileiras, o município apresenta problemas para a implantação de aterro sanitário, principalmente devido à falta de áreas próprias para esse fim.

O solo utilizado para a cobertura dos resíduos em Ilhabela é extraído de suas áreas de empréstimo e apresenta características de alta permeabilidade devido ao predomínio da fração areia.

Especialmente em épocas chuvosas o chorume é drenado para a lagoa de infiltração onde permanece estagnado. O solo deste local, bem como aqueles utilizados para a cobertura do lixo, possui valores de ΔpH sempre positivos o que favorece o fenômeno de adsorção de cátions como chumbo, manganês, zinco e bário, de interesse neste trabalho.

Análises mineralógicas do solo mostraram constituir-se essencialmente de caulinita que possui baixa capacidade de troca catiônica, não influenciando, de maneira significativa, a adsorção dos íons metálicos. Os fenômenos de adsorção, portanto, acham-se ligados principalmente à presença de óxido-hidróxidos, matéria orgânica, carbonatos e das condições de pH e de Eh. A importância da variação de pH e Eh do sistema chorume/solo, foram evidenciadas quando o chorume sofreu diluição pelas águas de chuva.

Os exames dos resultados analíticos mostraram que o solo percolado pelo chorume adsorve chumbo e zinco e, por outro lado, facilita a disponibilidade do bário e do manganês.

O comportamento do zinco, bário, manganês e chumbo, foram estudados também através de extrações seqüenciais, constatando-se que os dois primeiros são mais móveis, tendo sido detectados em quantidades apreciáveis nas primeiras etapas da extrações seqüenciais. O manganês e o chumbo acham-se também ligados a carbonatos, óxido-hidróxidos e à matéria orgânica, entretanto em menores concentrações.

É importante ressaltar que o tempo íons/solo também tem papel decisivo nos fenômenos de adsorção o que foi comprovado experimentalmente em sistemas solo/chorume e solo/solução.

Os testes de adsorção com chorume e com soluções iônicas possibilitaram a compreensão do comportamento dos íons no solo de cobertura dos resíduos, constatando-se que o solo retém Pb e Zn, no entanto, com retenção satisfatória apenas para soluções com concentrações inferiores a 0,8 mg.L⁻¹ (Zn) e 4,0 mg.L⁻¹ (Pb). Constatou-se ainda que há uma interação entre o solo com o meio líquido (chorume) com fornecimento ao sistema dos íons Ba e Mn.

A infiltração do chorume influencia prejudicialmente a água subterrânea do local, principalmente no terminal da tubulação subterrânea, o que foi detectado como anomalia através de dados geofísicos e químicos; neste local, íons móveis, como nitrato, cloreto e sulfato apresentaram concentrações superiores aos limites de potabilidade indicados pelo Ministério da Saúde (2000).

Os resultados obtidos permitem que se apresentem, como sugestões, medidas que poderão minimizar os impactos causados pela disposição inadequada dos resíduos no lixão de Ilha-bela.

Seria interessante que o município adotasse sistema racional de coleta seletiva, tendo em vista que os resíduos gerados no município tem cerca de 30% de materiais recicláveis. O reaproveitamento dessa porção do lixo aumentará a vida útil da área de descarte o que seria bastante conveniente, uma vez que o município já está tendo dificuldades para a implantação de novo aterro devido a topografia da ilha e a grande área, maior que 83% do território, ocupada por um Parque Estadual.

Sugere-se a implantação de sistemas impermeáveis de captação de chorume com encaminhamento do efluente para estação de tratamento.

Finalmente, devido à ocupação acelerada das áreas circunvizinhas ao lixão, alerta-se para a necessidade urgente de monitoramento sistemático das águas subterrâneas no entorno do lixão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D.C. (1986) *Trace elements in terrestrial environmental*. New York, USA, Springer – Verlag. 533p.
- ALLOWAY, B.J. (1995) *Heavy metals in soil*. New York, USA, Blackie Academic & Professional. 386p.
- ALMEIDA, F.F.M de (1976) *The system of continental rifts bordering the Santos Basin - Brazil*. Suplemento da Academia Brasileira de Ciências.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA, WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION - WEF (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19 ed.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1984) *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólido urbanos*. NBR 8419. São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1985) *Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos – Procedimento*. NBR 8849. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1987) *Resíduos Sólidos – Classificação*. NBR 10004. Rio de Janeiro. 64p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1997) *Construção de poços de monitoramento e amostragem*. NBR 13895. Rio de Janeiro. 8p.
- AZIKAINEN, J.M. & NIKOLAIDIS, N.P. (1994) *Sequential extraction of chromium from contaminated aquifer sediments*. Ground water monitoring and remediation, Spring, p. 185-191.
- BADRA, R.J. (1993) *Isolamento e caracterização de bactérias metanogênicas de um aterro sanitário experimental*. São Carlos, 175p. Dissertação de Mestrado. EESC – USP.

- BAGCHI, A. (1994) *Design, construction and monitoring and landfills*. New York. 361p.
- BECKETT, P.H.T. (1989) *Use of extractants in studies on trace metal in soils, sewage sludge and sludge treated soils*. *Advances in Soil Science*. 143-176p.
- BELLIENI, G.; MONTES-LAUAR, C.R.; de MIN, A.; PICCIRILLO, E.M.; CAVAZZINI, G.; MELFI, A.J.; PACCA, I.I.G (1990) *Early and late cretaceous magmatism from São Sebastião Island (SE – Brazil): geochemistry and petrology*. In: *Geochemica Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v.4, n.1. 59-83p.
- BRADY, N.C. (1989) *Natureza e propriedades dos solos*. 7ªed. Rio de Janeiro. 878p.
- BROOKINGS, D.G. (1988) *Eh – pH Diagrams for Geochemistry*. USA, Ed. Springer – Verlag. USA. 173p.
- CALDERONI, S. (1997) *Os bilhões perdidos no lixo*. São Paulo, Humanitas. 345p.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. (1986) *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Boletim Técnico do Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, n.106, 94p.
- CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R., STEGMANN, R. (1989) *Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact*. London, Academic Press.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (2002) *Valores orientadores para solos e para águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. Apostila do curso de pós – graduação do curso biogeoquímica de aquíferos. IGc – USP.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA (1986) *Resolução CONAMA nº20*.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE – GTZ (2000) *Estudo de viabilidade para uma instalação de tratamento mecânico-biológico do lixo em Ilhabela – Brasil*. Berlim, Alemanha, projeto 97.2044.2-001.00.

- DOJLIDO, J.R.; BEST, G.A. (1993) *Chemistry of water and water pollution*. Ellis Horwood. 363p.
- ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA (1981) *Manganese*. World Health Organization. New York, WHO Publications Centre USA. 110p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1997) *Zinc and compounds (inorganic)*. CASRN 7440-66-6. Site: www.epa.gov (em 19/04/2002).
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1999) *Barium and compounds*. CASRN 7440-39-3. 24p. Site: www.epa.gov/iris/subst/0010.htm. (em 19/04/2002)
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1999) *National Primary Drinking Water Regulations – Technical Factsheet on: LEAD*. 5p. Site: www.epa.gov/OGWDW/dwh/t-ioc/lead.html. (em 19/04/2002).
- FETTER, C.W. (1993) *Contaminant Hydrogeology*. New York, Macmillan Pub. Co. 458p.
- FRANÇA, A. (1951) *A Ilha de São Sebastião - Estudo da Geografia Humana*. São Paulo, 193. Tese de Concurso - FFCL - USP.
- FREITAS, R.O. (1947) *Geologia e Petrologia da Ilha de São Sebastião*. Boletim 85, Geologia, São Paulo, boletim 85, n. 3. FFCL – USP.
- FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAADEL, A.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P.F.F. (1999) *Fundamentos do tratamento anaeróbio*. In: Tratamento de esgotos por processos anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro, ABES.
- GARDA, G.M. (1995) *Os diques básicos e ultrabásicos da região costeira entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo*. São Paulo, 156p. Tese de Doutorado - IGc - USP.

- GROSSI, M.G. de L. (1989) *Avaliação do nível de concentração de alguns metais pesados em resíduos ou produtos resultantes da disposição ou tratamento de resíduo sólido municipal*. São Paulo, 123p. Dissertação de Mestrado - IQ –USP.
- HENNIES, W.T.; HASUI, Y. (1977) *Contribuição ao Reconhecimento da Geologia da Ilha de São Sebastião*. I Simpósio de Geologia Regional. São Paulo, 199 – 209p.
- HYPOLITO, R. (1998) *Hidrogeoquímica das águas*. Apostila do curso de pós – graduação publicação interna, IGc – USP. 50p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2002) Site: www.ibge.gov.br.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2002) *Pesquisa Nacional do Saneamento Básico*. Site: www.ibge.gov.br.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT; COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE (2000) *Lixo Municipal - Manual de Gerenciamento Integrado*. 2ª ed. São Paulo. 370p.
- JAMES, B.; BARTLETT, R.J. (1983) *Behavior of chromium in soils*, In: Adsorption and reduction of hexavalents forms. Journal Environmental Quality. v.12, n.2. 177-181p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. (1984) *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton. 315p.
- LAKE, L. (1987) *Reservoir characterization*. Orlando, Academic Press. 659p.
- LECKIE, J.O.; PACEY, J. G.; HALVADAKIS, C. (1979) *Landfill management with moisture control*. Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, v. 105, n. EE2, 337-355p.
- LIMA, G.A. (2001) *Gabros estratiformes da região norte da Ilha de São Sebastião, SP*. São Paulo, 170p. Dissertação de Mestrado - IGc –USP.

- LIMA, L.M.Q. (1983) *Tratamento de lixo*. São Paulo, ed. Hemus. 240p.
- LIMA, L.M.Q. (1995) *Lixo: tratamento e biorremediação*. 3.ed. São Paulo, ed. Hemus.
- LO, I.M.C. (1996) *Characteristics and treatments of leachates from domestics landfills*. Environmental International, v.22, n.4, 433-442p.
- MALAVOLTA, E. (1994) *Fertilizantes e Seu Impacto Ambiental – Micronutrientes e metais pesados – mitos, mistificação e fatos*. São Paulo, Produquímica. 153p.
- MASON, B.; MOORE, C.B. (1982) *Principles of geochemistry*. 4thed. New York, Wiley. 344p.
- MATIAZZO-PREZOTTO, E.M. (1994) *Comportamento de cobre, cádmio, crômio, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH*. Piracicaba. Tese de Livre Docência. ESALQ – USP.
- Mc BRIDE, M. B. (1994) *Environmental Chemistry of Soils*. – New York USA, Oxford University Press. 406p.
- MERIAN, E. (1991) *Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance*. Weinheim, VCH. 1438p.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (1972) – *Mapa fotogeológico de São Sebastião*. Escala 1:100.000. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Sudeste.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (2000) *Portaria 36 GM – padrões de potabilidade de águas para consumo humano*.
- OLIVEIRA, P.C.C. de (1995) *Monitorização de concentração de metais pesados no composto cru obtido a partir de lixo doméstico produzido na usina de compostagem de Vila Leopoldina no município de São Paulo*. São Paulo, 105p. Dissertação de Mestrado - IQ – USP.
- PEREIRA, C.M. A. (2002) *Avaliação da pluma de contaminação do lixão de Ilhabela através de métodos geofísicos*. São Paulo. Trabalho de Formatura - IGc - USP.

- PIRES NETO, A.G. (1992) *O relevo de Ilhabela: suas características e suscetibilidade à ocupação humana*. Anais III Congresso, ABEQUA. 141-145p.
- POLETTE, M. (1993) *Planície do Perequê – Ilha de São Sebastião (SP) – Diagnóstico e planejamento ambiental costeiro*. São Carlos, 187p. Dissertação de Mestrado. CCBS – UFSCar.
- PULZ, R.W.; PAUL, C.J.; CLARK, D.A. (1992) *Distribution, speciation and transformation of chromium in contaminated soils and aquifer sediments*. Soil Science Soc. Am. Journal. 455-457p.
- QASIN, S.P.; CHIANG, W. (1994) *Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment*. Lancaster USA. 339p.
- ROBINSON, H.D.; MARIS, P.J. (1979) *Leachate from domestic waste: generation, composition and treatment: a review*. Technical Report TR108. Water Research Centre. 38p.
- ROBINSON, H.D.; MARIS, P. J. (1983) *The treatment of a medium-strength leachate*. Water Research, v.17, n.11, 1537-1548p.
- RUSSEL, J.B. (1982) *Química Geral*. Tradução Sanioto, D. L. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 897p.
- SCHALCH, V. (1984) *Produção e característica do chorume em processo de decomposição do lixo urbano*. São Carlos, 130p. Dissertação de Mestrado - EESC – USP.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO – SMA (1998) *Proposta de Política Estadual de Resíduos Sólidos*. São Paulo.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO – SMA (1998) *Planos de Manejo das Unidades de Conservação - Parque Estadual de Ilhabela - Fase 1 - Plano de Gestão Ambiental*. São Paulo SP. 85p.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO – SMA (1998) *A cidade e o lixo*. São Paulo.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO & INSTITUTO FLORESTAL (2000) *Plano de Gestão Ambiental - PGA - Mapa Parque Estadual de Ilhabela*. Escala 1:50000

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (2002) *Inventário de resíduos sólidos do estado de São Paulo*. São Paulo. Em preparação.

SHERPARD, F.D. (1954) *Revised Nomenclature for depositional Coastal Features*. Amer. Ass. Per. Geol. Bull., Tulsa. v. 36, n.10, 1902-1912p.

SILVA, A.; CHIODI, F.C.; CHIODI, D.K.; PINHO, F.W. (1977) *Projeto Santos - Iguape - Relatório Final - Geologia SP*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 1.

SOLOMONS, W.; FÖRSTNER, U.; MADER, P. (1995) *Heavy metals – problems and solutions*. Berlin Germany, Springer

STANFORTH, R.; HAM, R.; ANDERSON, M. (1979) *Development of a synthetic municipal landfill leachate*. Journal Water Pollution Control Federation, 51 (7), 1965-1976p.

TAN, K.H. (1994) *Principles of soil chemistry*. 2nd ed. New York, Marcel Dekker. 361p.

TEIXEIRA, E.N. (1993) *Efeito inibidor da recirculação direta de chorume na decomposição anaeróbia de resíduos*. São Carlos, 388p. Tese de Doutorado - EESC – USP.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.; BISSON, M. (1979) *Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals*. Analytical Chemistry, 51 (7), 844-850p.