

**Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos**

Tania Leme de Almeida

**IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS DOS
PROCESSOS DE ATENUAÇÃO DE
LIXIVIADO EM LOCAIS DE DISPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

São Carlos
2009

Tania Leme de Almeida

**IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS DOS
PROCESSOS DE ATENUAÇÃO DE
LIXIVIADO EM LOCAIS DE DISPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Doutor em
Hidráulica e Saneamento

Orientador: Prof. Assoc. Valdir Schalch

São Carlos
2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

A447i Almeida, Tania Leme de
Implicações ambientais dos processos de atenuação de
lixiviado em locais de disposição de resíduos sólidos
urbanos / Tania Leme de Almeida ; orientador Valdir
Schalch. -- São Carlos, 2009.

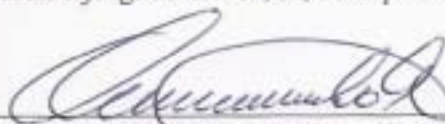
Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de
Concentração em Hidráulica e Saneamento) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2009.

1. Aterro sanitário. 2. Resíduos sólidos urbanos.
3. Lixiviado de aterro sanitário. 4. Solo. 5. Metais
pesados. 6. Processos de atenuação. 7. Atenuação natural.
8. Contaminação do solo. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira TANIA LEME DE ALMEIDA


Tese defendida e julgada em 09/04/2009 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Associado VALDIR SCHALCH (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO



Prof. Dr. NIVALDO APARECIDO CORRÊA
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) Aprovado




Prof. Dr. MARCUS CÉSAR AVEZUM ALVES DE CASTRO
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP/Campus de Rio Claro) Aprovado




Dr. RONAN CLEBER CONTRERA
(Secretaria Municipal de Serviços Públicos) APROVADO



Prof. Dr. JAIRO AUGUSTO CAMPOS DE ARAUJO
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP/Campus de Jaboticabal) APROVADO



Prof. Associado MARCELO ZAIAT
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento)



Prof. Associado GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

à minha família,
a meus pais Edelcio e Sonia,
a meus irmãos Fábio e Rodrigo,
a minha pequena Nina,
e em especial ao meu marido José Marcos

AGRADECIMENTOS

A Deus que me concedeu força e luz para trilhar esse caminho;

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, pelo acolhimento, oportunidade de meu crescimento intelectual e por proporcionar a convivência com profissionais altamente qualificados;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fornecimento da bolsa de doutorado.;

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio à pesquisa concedida;

Ao Prof. Valdir Schalch pela oportunidade, confiança e orientação durante o desenvolvimento do presente estudo; e pela grande amizade e compreensão que sempre demonstrou;

Aos funcionários da secretaria do Departamento de Hidráulica e Saneamento, em especial a Sá, Pavi e Rose, pelo excelente trabalho realizado e pela amizade;

Aos amigos Adriana Antunes Lopes e Ronan Cleber Contrera pela amizade, dedicação e orientação fornecida durante todo o desenvolvimento do estudo;

Ao técnico Níbio José Mangerona do Laboratório de Polímeros do Instituto de Física de São Carlos, pela amizade e ajuda durante os momentos difíceis;

Aos técnicos do Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Paulo Fragiaco, Júlio César Trofino, Maria Aparecida P. Viudes e, em especial, à Juliana Gonçalves dos Santos, pelo carinho e ajuda prestada durante as análises;

Ao técnico do Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Águas Antonio Wagner Lamon, pela sua atenção, carinho e ajuda prestada;

Ao técnico Valdecir Aparecido de Arruda, que sempre com muito carinho, atendeu as solicitações de impressões de trabalhos para eventos;

Ao amigo Nelson Emanuel Tessarin (CRHEA) pelo auxílio, paciência, carinho e orientação durante várias etapas deste estudo;

À Prefeitura Municipal de São Carlos-SP, que através do Sr. Paulo Mancini, da “Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia”, nos autorizou realizar este trabalho no aterro sanitário de São Carlos;

À Vega Engenharia Ambiental, responsável pela coleta de resíduos e operação do aterro, pelas informações e fotos cedidas à pesquisa;

A todos os funcionários do SHS-EESC-USP; pessoas competentes e extraordinários seres humanos: Flávia, Fernanda, Jaqueline, Valderez, Márcia, Maria Cecília, que com carinho, paciência e profissionalismo, contribuíram para a realização deste estudo;

Aos meus amigos Luciana Massukado, Érica Pugliese, Fabio Friesca, Andreza Bortolotti, Tássio Lofti, Gabriel e tantos outros que sempre me deram muita força;

Há algumas pessoas que foram fundamentais para a realização de sonhos. Eu gostaria de agradecer em especial....

Aos meus pais, Sonia e Edalcio, por tudo. Porque tudo foi o que eles fizeram para eu chegar onde cheguei;

Aos meus irmãos Fábio e Rodrigo, por me entender, apoiar e compartilhar cada momento de alegria ou tristeza;

Ao meu marido, José Marcos, o qual esteve presente me dando força e orientação. A ele dedico e ofereço este título;

E, em especial a minha Tia Normali, a qual, sempre acreditou em meu potencial. E sei que neste momento ela está torcendo e aplaudindo pela realização de meu sonho;

²⁴. *Mais ágil que todo o movimento é a Sabedoria, ela atravessa e penetra tudo, graças à sua pureza.*

²⁵. *Ela é um sopro do poder de Deus, uma irradiação límpida da glória do Todo-poderoso; assim mancha nenhuma pode insinuar-se nela.*

²⁶. *É ela uma efusão da luz eterna, um espelho sem mancha da atividade de Deus, e uma imagem de sua bondade.*

²⁷. *Embora única, tudo pode; imutável em si mesma, renova todas as coisas. Ela se derrama de geração em geração nas almas santas e forma os amigos e os intérpretes de Deus,*

²⁸. *porque Deus somente ama quem vive com a sabedoria!*

²⁹. *É ela, com efeito, mais bela que o sol e ultrapassa o conjunto dos astros. Comparada à luz, ela se sobreleva,*

³⁰. *porque à luz sucede a noite, enquanto que, contra a Sabedoria, o mal não prevalece*

(Sb 7, 24-30)

RESUMO

ALMEIDA, T.L. *Implicações ambientais dos processos de atenuação de lixiviado em locais de disposição de resíduos sólidos urbanos*. 2009. 192 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

Estudos recentes constataram a existência de processos que permitem a atenuação natural dos contaminantes presentes nos lixiviados. O adequado entendimento destes processos pode originar benefícios possíveis de serem aplicados em aterros antigos, novos ou naqueles que ainda serão concebidos. O presente estudo avaliou o comportamento e a atenuação de contaminantes dos lixiviados no solo, por meio de experimento desenvolvido em colunas de percolação e, para a avaliação da atenuação este teste é indicado por refletir as condições naturais e as características adsorptivas do solo, propiciando uma melhor simulação da atenuação. O lixiviado e o solo utilizados neste experimento são provenientes do aterro sanitário de São Carlos – SP. O solo utilizado foi caracterizado quanto à composição física, química, biológica e mineralógica para verificar o transporte do percolado nas colunas e a interação solo-contaminante. Na área do aterro foram feitas perfurações, ensaios de condutividade hidráulica e avaliação da geologia local, para conhecimento das características físicas, químicas, biológicas, mineralógicas e geológicas do solo *in situ*. Este foi classificado como arenoso, apresentando características físicas e químicas que não se enquadram nos parâmetros adequados para sua utilização em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos, pois, a capacidade de troca de cátions, superfície específica, potencial hidrogeniônico e classe textural arenosa, evidenciam que este solo possui deficiente capacidade de retenção e imobilização de contaminantes. Além disso, pela observação *in situ*, constata-se que a área de disposição de resíduos sólidos de São Carlos está situada sobre rochas da Formação Botucatu, sendo que a mineralogia do solo presente no local é composta de quartzo, caulinita, goethita, hematita, gibsitita e ilita. O ensaio de condutividade hidráulica indicou que o solo presente na base do Aterro sanitário não atende a valor de permeabilidade exigida por norma, o que poderá permitir a infiltração de água da chuva, aumentando a produção do lixiviado e sua movimentação no perfil, podendo atingir as águas subterrâneas. Assim, foram traçadas curvas características do transporte de contaminantes nas amostras efluentes monitoradas durante o processo de percolação, coletadas a cada 0,25 volume de poros até atingir 10,0 volume de poros percolados. As curvas características do transporte de contaminantes traçadas apresentaram baixas concentrações de Chumbo, Cádmiio, Ferro, Zinco, Manganês, Cálcio, Magnésio, Cobre, Cromo nas amostras fluentes. Já o Sódio, Potássio, Cloro, Níquel e Alumínio foram preferencialmente percolados com o lixiviado, evidenciando a variação da faixa de concentração de cada elemento no percolado. Os perfis de concentração dos metais pesados mostraram que existe uma frente de contaminação. As curvas de retenção de metais no solo mostraram que a preferência de sorção apresentada pelos solos nas colunas foi : Cobre > Cádmiio > Cálcio > Zinco > Magnésio > Potássio > Manganês > Fósforo > Ferro > Níquel > Alumínio. Cujos valores retidos no solo das colunas podem estar evidenciando a capacidade deste solo em reter contaminantes. O solo em questão apresentou baixo potencial para retenção dos contaminantes presentes no lixiviado, classificado como arenoso e, com características químicas que não se enquadram nos parâmetros adequados para sua utilização em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos.

Palavras-chave: Aterro sanitário, Resíduos sólidos urbanos, Lixiviado de Aterro sanitário, Solo, Metais pesados; Processos de atenuação, Atenuação natural, Contaminação do solo.

ABSTRACT

ALMEIDA, T.L. *Environmental implications from leachate's attenuation processes in places of solid urban waste's disposal*. 2009. 192 f. Thesis (Doctoral) – Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, São Paulo. 2009.

Recent studies had found the existence of processes that allow a natural attenuation of the leachate's contaminants. An adequate understanding of these processes may originate benefits, that may be applied in ancient, new or to be created landfills. This work evaluated the contaminant's behavior and attenuation, contaminants existing in soil's leaching, throughout an experiment developed in percolation columns. This is the indicated examination for evaluate the attenuation, because it reflects soil's natural conditions and adsorptive characteristics, providing a better simulation of it's attenuation. The leachate and the soil used in this experiment came from São Carlos – SP landfill. The used soil has been characterized as its mineralogical's and physical-chemical-biological's composition, looking for the percolated's transportation inside the columns, and for the interaction soil-contaminant. The landfill's area has been several times drilled, tested as it's hydraulic conductivity and assessment of local geology, in order to know the physical, chemical, biological, mineralogical and geological in situ soil's characteristics. This, has been classified as sandy, and, by presenting chemical characteristics that does not reach the adequated value for utilization on solid urban wastes, due to the values of CTC, SE, pH, and the textural sandy class, what shows a deficient buffering capacity in retaining and immobilising contaminants. By observation in situ, has been found that São Carlos's solids disposal waste is located over rocks from the Botucatu formation, and the mineralogy of it is composed of quartz, caulinith, goethith, hematith, gibsitith an ilith. The hydraulic conductivity test has indicated that the soil in the base of the sanitary landfill does not reaches the permeability values required by the standards, what may allow rain water's infiltration, and raises the amount of leachate and it's movement onto the ground, and even the leachete to reach the underground waters. So, has been drawn the characteristics curves of the contaminant's transportation in the effluents samples found during the percolation process, collected by every 0,25 VP until it reaches 10,0 VP percolated. The characteristical curves of the contaminant's transportation drawn showed low concentrations in the effluent samples of Lead, Cadmium, Iron, Zinc, Manganese, Calcium, Magnesium, Cooper, Chromium. Also, Sodium, Potassium, Chlorine, Nickel and Aluminium had been preferentially percolated within the leachate, what evidentiates the variation in the range of concentrations of every percolated element. The concentration profiles from heavy metal's had shown that there is a front of contamination. The retention curves from the soil's retaining metal showed that the preferency for the sorption was: Cooper > Cadmium > Calcium > Zinc > Magnesium > Potassium > Manganese > Phosphorus > Iron > Nickel > Aluminium, whose values may point the soil's ability in retaining contaminants. The studied soil has presented low potential in retain contaminants from the leachete, and is characterized as sandy, and it's chemical features shall not be framed according the standards parameters to be utilized in solid urban waste's disposal.

Keywords: Sanitary Landfill; Urban solid wastes; Landfill leachate; Soil; Heavy metals; Attenuation processes, Natural attenuation, Soil Contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aterro Sanitário.....	8
Figura 2 – Variação de parâmetros selecionados, indicadores das fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário.....	15
Figura 3 – Esquema representativo das reações e fluxo de elementos no solo	35
Figura 4 – Ensaio de coluna.....	48
Figura 5 – Curva de saturação do poluente em função do volume de efluente.....	48
Figura 6 – Curva de saturação do poluente em função do tempo.....	49
Figura 7 – Ensaio de difusão.....	51
Figura 8 – Esquema do permeâmetro de carga variável.....	58
Figura 9 – Localização do município de São Carlos em relação a América do Sul, Brasil, São Paulo e Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo.....	60
Figura 10 – Foto aérea do Aterro Sanitário de São Carlos/SP.....	61
Figura 11 – Local de ampliação do aterro sendo utilizado para disposição de resíduos.	63
Figura 12 – Posicionamento da quarta lagoa de estabilização de lixiviado.....	64
Figura 13 – Aterro sanitário de São Carlos: Local de coleta do solo.....	65
Figura 14 – Locais de coleta de solo.....	66
Figura 15 – Solo coletado na base do aterro (amostras deformadas).....	67
Figura 16 – Secagem do solo amostrado.....	67
Figura 17 – Solo coletado na base do aterro (amostras indeformadas).....	67
Figura 18 – Coleta do lixiviado para percolação nas colunas: Caixa de acúmulo do Aterro Sanitário de São Carlos.....	79
Figura 19 – Amostra de lixiviado coletado para ser analisado antes da percolação nas colunas.....	79
Figura 20 – Marcação das coordenadas geográficas dos poços de monitoramento.....	80
Figura 21 – Mapa Planialtimétrico do Aterro sanitário do município de São Carlos fornecido pela empresa de coleta de resíduos Vega Engenharia Ambiental S/A.	83
Figura 22 – Perfuratriz hidráulica utilizada para a sondagem a trado no Aterro Sanitário.....	84
Figura 23 – Ponto 1 de sondagem a trado : coleta de amostra deformada.....	85
Figura 24 – Ponto 2 de sondagem a trado : coleta de amostra deformada.....	86
Figura 25 – Ponto 2 de sondagem a trado : fragmento de rocha retirado.....	86
Figura 26 – Ponto 3 de sondagem a trado : coleta de amostra deformada.....	87
Figura 27 – Bulbo de saturação formando em volta do furo.....	89
Figura 28 – Permeâmetro para o início do ensaio.....	90
Figura 29 – Medidas das leituras de rebaixamento da água no tambor.....	91
Figura 30 – Instrumentação existente para o desenvolvimento do experimento de percolação de lixiviado em colunas, contendo solo do local de disposição de resíduos sólidos.....	92
Figura 31 – Desmontagem da coluna de percolação para coleta de amostras.....	96
Figura 32 – Esquema de retirada das amostras de solo na coluna de percolação.....	96
Figura 33 – Curva Granulométrica do solo amostrado.....	99
Figura 34 – Diagrama Triangular para definição da classe textural do solo.....	100
Figura 35 – Difratograma Diferencial de Raio X da Fração Argila no Ponto 1.....	111
Figura 36 – Difratograma Diferencial de Raio X da Fração Argila no Ponto 2.....	111
Figura 37 – Difratograma Diferencial de Raio X da Fração Argila no Ponto 3.....	112

Figura 38 – Respiração microbiana em solo percolado com lixiviado na coluna S(mg de CO ₂ g ⁻¹ de solo 8 dias ⁻¹).....	114
Figura 39 – Respiração microbiana em solo percolado com lixiviado na coluna E(mg de CO ₂ g ⁻¹ de solo 8 dias ⁻¹).....	114
Figura 40 – Respiração microbiana em solo percolado com lixiviado na coluna C(mg de CO ₂ g ⁻¹ de solo 8 dias ⁻¹).....	115
Figura 41 – Respiração microbiana em solo percolado com lixiviado na coluna O(mg de CO ₂ g ⁻¹ de solo 8 dias ⁻¹).....	115
Figura 42 – Ponto 1: Perfil de sondagem.....	118
Figura 43 – Ponto 2: Perfil de sondagem.....	119
Figura 44 – Ponto 3: Perfil de sondagem.....	121
Figura 45 – Formação geológica presente na área do Sanitário de São Carlos.....	124
Figura 46 – Estratificação típica da Formação Botucatu.....	124
Figura 47 – Detalhamento da estratificação típica.....	125
Figura 48 – Amostra obtida em campo do arenito Botucatu.....	125
Figura 49 – Estratificação típica da Formação Botucatu mostrada em outro ponto do aterro.....	126
Figura 50 – Depósitos de material do arenito Botucatu.....	126
Figura 51 – Afloramento do arenito Botucatu com detalhe de estratificação cruzada de grande porte.....	127
Figura 52 – Curvas de variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) em função do número de Vazios Percolados (VP) para as Colunas C,O e S,E.....	132
Figura 53 – Curvas de variação do Potencial Hidrogeniônico (pH) em função do número de Vazios Percolados (VP) para as Colunas C,O e S,E.....	134
Figura 54 – Curvas de variação da Condutividade Elétrica (CE) em função do número de Vazios Percolados (VP) para as Colunas C,O e S,E.....	135
Figura 55 – Curvas de variação do Potencial Elétrico (EH) em função do número de Vazios Percolados (VP) para as Colunas C,O e S,E.....	137
Figura 56 – Curvas de variação da Turbidez em função do número de Vazios Percolados (VP) para as Colunas C,O e S,E.....	138
Figura 57 – Diagrama de solubilidade de hidróxidos em água a 25°C.....	140
Figura 58 – Curvas de transporte para Fe versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	143
Figura 59 – Curvas de transporte para Pb versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	144
Figura 60 – Curvas de transporte para Cu versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	145
Figura 61 – Curvas de transporte para Ni versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	148
Figura 62 – Curvas de transporte para K versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	149
Figura 63 – Curvas de transporte para Na versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	150
Figura 64 – Curvas de transporte para Cl versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	151
Figura 65 – Curvas de transporte para Al versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	152
Figura 66 – Curvas de transporte para Mn versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	155
Figura 67 – Curvas de transporte para Zn versus número de Vazios Percolados (VP)	156

	versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	
Figura 68 –	Curvas de transporte para Ca versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	158
Figura 69 –	Curvas de transporte para Mg versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	159
Figura 70 –	Curvas de transporte para Cu versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	161
Figura 71 –	Curvas de transporte para Cr versus número de Vazios Percolados (VP) versus pH do lixiviado efluente nas Colunas C/O e S/E.....	162
Figura 72 –	Perfil de retenção de Fe e Al após 10,0 Volumes de Poros percolados com lixiviado nas colunas.....	165
Figura 73 –	Perfil de retenção de Mg, P, Mn, K e Ca após 10,0 Volumes de Poros percolados com lixiviado nas colunas.....	166
Figura 74 –	Perfil de retenção de Zn, Cu, Cd e Ni após 10,0 Volumes de Poros percolados com lixiviado nas colunas.....	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões no ano 2000.....	9
Tabela 2 –	Composição física dos resíduos sólidos depositados e aterrados no aterro sanitário da cidade de São Carlos.....	14
Tabela 3 –	Faixas de concentração dos principais parâmetros de percolados de aterros sanitários.....	18
Tabela 4 –	Valores do coeficiente de permeabilidade indicado para locais de disposição de resíduos sólidos de acordo com diferentes autores.....	56
Tabela 5 –	Massa coletada de RSD, por mês, do município de São Carlos, SP, no ano de 2005.....	62
Tabela 6 –	Apresentação do georreferenciamento dos poços de monitoramento de água.....	80
Tabela 7 –	Apresentação do georreferenciamento dos pontos de sondagem.....	84
Tabela 8 –	Propriedades físicas do solo amostrado.....	98
Tabela 9 –	Parâmetros físicos calculados do solo.....	101
Tabela 10 –	Resultados da análise química do solo antes da percolação e no solo presente nas colunas C, O, S e E após a percolação.....	102
Tabela 11 –	Comparação dos valores orientadores para solos do Estado de São Paulo versus solo <i>in situ</i> do aterro sanitário de São Carlos.....	106
Tabela 12 –	Teores Totais dos elementos presentes no solo <i>in situ</i> , e nas colunas C, O S e E percoladas com lixiviados.....	107
Tabela 13 –	Número de unidades formadoras de colônias (UFC x 10 ² g ⁻¹ solo) nas amostras de solo percolado com lixiviado.....	116
Tabela 14 –	Número de unidades formadoras de colônias (UFC x 10 ² g ⁻¹ solo) nas amostras de solo percolado com lixiviado enriquecido com ácido e metais.....	117
Tabela 15 –	Resultados dos parâmetros analisados no ponto 1 em função da profundidade.....	118
Tabela 16 –	Resultados dos parâmetros analisados no ponto 2 em função da profundidade.....	120
Tabela 17 –	Resultados dos parâmetros analisados no ponto 3 em função da profundidade.....	121
Tabela 18 –	Composição da água coletada do poço de uso regular do CRHEA antes do início da percolação nas colunas experimentais.....	129
Tabela 19 –	Caracterização do lixiviado percolado antes e depois da acidificação e enriquecimento com soluções salinas de Cr, Pb, Cu, Mn, Zn e Cd...	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Formas de realização de ensaios de campo segundo a ABCP (1992).....	58
Quadro 2 – Propriedades físicas do solo estudado com respectivos métodos.....	68
Quadro 3 – Parâmetros físicos calculados do solo.....	68
Quadro 4 – Propriedades Químicas analisadas do solo com respectivas metodologias utilizadas.....	69
Quadro 5 – Metodologia analítica dos parâmetros analisados.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Δ pH	Varição de Potencial Hidrogeniônico
A	Área
ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
APHA	American Public Health Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
AVT	Ácidos Voláteis Total
BHTJ	Bacia Hidrográfica Tietê Jacaré
Ce	Concentração Efluente
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
cm^3	Centímetro Cúbico
m^2	Metro Quadrado
cmol	Centimol
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
Co	Concentração Inicial ou Influyente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
C_{org}	Carbono Orgânico
CRHEA	Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DRX	Difratometria de Raio X
DTPA	Ácido dietileno triamino pentacético
e	Índice de Vazios
EAA	Espectrofotometria de Absorção Atômica
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
Eh	Potencial Redox
EPA	Environmental Protection Agency
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
FZEA	Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
g	Grama
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo
IQA	Índice de Qualidade da Água
K	Coefficiente de condutividade hidráulica
Kg	Quilograma
L	Comprimento
L	Litro
M	Molar
meq	Miliequivalente
mg	Miligrama
MINTER	Ministério do Interior
mS	Micro Simens

mV	Milivolt
n	Porosidade
N	Normalidade
NBR	Norma Brasileira Registrada
NMP	Número mais provável
OD	Oxigênio Dissolvido
PCZ	Ponto de carga zero
PESN	Ponto de efeito salino nulo
pH _{H₂O}	Potencial Hidrogeniônico medido em água
pH _{KCl}	Potencial Hidrogeniônico medido em cloreto de potássio
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
ppm	Parte por Milhão
Q	Vazão
rpm	Rotações por minuto
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
S	Siemens
SE	Superfície Específica
SE	Superfície Específica
SMDSCT	Secretaria municipal de desenvolvimento sustentável ciência e tecnologia.
Sr	Grau de Saturação
t	Tempo
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
UFC	Unidades Formadoras de Colônias
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESCO	Programa Mundial da Preservação Hídrica da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNT	Unidade de Turbidez
USP	Universidade de São Paulo
uT	Unidade de Turbidez
VP	Volume de Poros
Vv	Volume de Vazios
w	Umidade
µg	Micrograma
mmol _c	Milimol de carga
meq	Miliequivalente
cmol	Centimol

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ	Massa Específica do Solo (M/L ³)
ρ_d	Massa Específica Seca do Solo (M/L ³)
ρ_s	Massa Específica dos Sólidos do Solo (M/L ³)
Ca	Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
Cd	Cádmio
CdCl ₂	Cloreto de Cádmio
CH ₄	Metano
Cl	Cloro/Cloreto
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
H ⁺	Íon Hidrogênio
H ₂	Gás Hidrogênio
H ₂ O	Água
HCl	Ácido Clorídrico
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
N ₂	Gás Nitrogênio
Na	Sódio
Ni	Níquel
O ₂	Gás Oxigênio
OH ⁻	Hidroxila
Pb	Chumbo
SO ₄	Sulfato
Zn	Zinco
Co	Cobalto
Se	Selênio
I	Iodo
B	Boro
Mo	Molibdênio
As	Arsênio
Hg	Mercúrio
Sb	Antimônio
Ti	Titânio
U	Urânio
Ba	Bário
Al ₂ O ₃ . 2SiO ₂ . 2H ₂ O ou H ₄ Al ₂ Si ₂ O ₉	Caulinita
[(OH) ₄ Si ₈ Al ₄ O ₂₀ nH ₂ O]	Montmorilonitas
[(OH) ₄ Ky (Si _{8-y} . Al _y) (Al ₄ Fe ₄ Mg ₄ Mg ₆)O ₂₀]	Ilita
(Na ₃ PO ₄) _n	Hexametnofosfato de Sódio

HNO_3	Ácido Nítrico
HCl	Ácido Clorídrico
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
NH_4Cl	Cloreto de Amônio
KCl	Ácido Clorídrico
H_2O_2	Peróxido de Hidrogênio
BaCl_2	Cloreto de Bário
NH_4OAc	Acetato de Amônio
CaCO_3	Carbonato de Cálcio
NH_4	Amônio
$\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}, 3\text{H}_2\text{O}$	Cloridato de metilamina
CaCl_2	Cloreto de Cálcio
KCl	Cloreto de Potássio
AgNO_3	Nitrato de Prata
NaCl	Cloreto de Sódio
KH_2PO_4	Diidrogeno Fosfato de Potássio
K_2HPO_4	Hidrogeno Fosfato de Potássio
$\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de Magnésio Hepta Hidratado
NaOH	Hidróxido de Sódio
BaCO_3	Carbonato de Bário

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1. Resíduos Sólidos Domiciliares.....	6
3.2. Disposição Final.....	7
3.2.1. Aterro Sanitário.....	8
3.2.1.1. Camada de impermeabilização de Aterros Sanitários.....	12
3.2.1.2. Camada de cobertura.....	13
3.3. Biodegradação de Resíduos Orgânicos em Aterros Sanitários.....	13
3.4. Líquidos Percolados ou Lixiviados.....	16
3.5. Seleção de áreas para destinação final de resíduos sólidos.....	19
3.6. Impactos gerados pelos resíduos sólidos.....	20
3.7. Recursos Hídricos.....	22
3.8. Solo.....	23
3.8.1. Importância do solo no ecossistema.....	25
3.8.2. Contaminantes inorgânicos.....	26
3.8.3. Origem dos metais pesados no solo.....	27
3.8.4. Fatores que afetam a disponibilidade de metais no solo.....	29
3.8.5. Relação entre atributos do solo e da solução e disponibilidade de metais pesados.....	30
3.8.5.1. Atributos do solo.....	30
3.8.5.2. Atributos da solução do solo.....	33
3.8.6. Processos que controlam a disponibilidade de metais no solo.....	34
3.8.6.1. Adsorção.....	35
3.8.6.2. Modelos de Adsorção.....	36
3.8.6.3. Isotermas de Adsorção.....	37
3.9. Solo como atenuador natural.....	37
3.10. Atenuação e Transporte de poluentes no solo.....	38
3.10.1. Processos Físicos.....	39
3.10.1.1. Advecção.....	39
3.10.1.2. Dispersão Mecânica ou Hidráulica.....	40
3.10.1.2.1. Difusão Molecular.....	40
3.10.1.2.2. Dispersão Hidrodinâmica.....	41
3.10.2. Processos Bio-Físico-Químicos.....	41
3.10.2.1. Efeitos de Retardamento ou Aceleração.....	42
3.10.2.1.1. Adsorção/ Dessorção.....	42
3.10.2.1.2. Sorção hidrofóbica.....	43
3.10.2.1.3. Precipitação / Dissolução.....	43
3.10.2.1.4. Co-Solvência.....	44
3.10.2.1.5. Complexação.....	44
3.10.2.1.6. Ionização.....	45
3.10.2.1.7. Filtração.....	45
3.10.2.1.8. Reações Oxi – Redução.....	45
3.10.2.1.9. Hidrólise.....	46
3.10.2.1.10. Metabolização.....	46
3.10.2.1.11. Volatilização.....	47
3.10.2.1.12. Sorção.....	47

3.11. Ensaio de Laboratório.....	47
3.11.1. Ensaio de Coluna ou de Dispersão.....	48
3.11.2. Ensaio de Difusão.....	51
3.11.3. Ensaio de Adsorção em Lote ou Batch Equilibrium Test.....	52
3.11.4. Ensaio de Compatibilidade.....	53
3.12. Permeabilidade.....	53
3.12.1. Lei de Darcy.....	56
3.12.2. Ensaio de Permeabilidade.....	58
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	60
4.1. Caracterização da área de estudo.....	60
4.2. Aterro Sanitário de São Carlos.....	61
4.3. Coleta de Amostras.....	64
4.3.1. Solo.....	64
4.3.1.1. Caracterização Física.....	68
4.3.1.1.1. Análise Granulométrica.....	68
4.3.1.2. Caracterização Química.....	69
4.3.1.2.1. Determinação do teor de metais pesados.....	70
4.3.1.2.2. Determinação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), e Superfície específica (SE).....	71
4.3.1.2.3. Determinação do ΔpH , $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ e pH_{KCl} e $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ do solo.....	72
4.3.1.2.4. Determinação da Condutividade Elétrica.....	74
4.3.1.2.5. Determinação do Potencial Redox (Eh).....	74
4.3.1.2.6. Determinação da carga líquida.....	74
4.3.1.2.7. Determinação da matéria orgânica.....	75
4.3.1.3. Caracterização Mineralógica.....	76
4.3.1.3.1. Tratamento prévio das amostras.....	76
4.3.1.3.2. Difratometria de Raio X.....	76
4.3.1.4. Análise Microbiológica.....	77
4.3.1.4.1. Estimativa do número mais provável de bactérias totais no solo.....	77
4.3.1.4.2. Estimativa do número mais provável de fungos totais no solo.....	78
4.3.1.4.3. Estimativa do número mais provável de celulolíticos totais no solo.....	78
4.3.1.4.4. Respirimetria.....	78
4.3.2. Lixiviado.....	79
4.3.3. Monitoramento da qualidade da água.....	80
4.4. Procedimentos Experimentais.....	81
4.4.1. Sondagem a trado para caracterização do solo do aterro.....	82
4.4.2. Ensaio in situ para determinação do coeficiente de permeabilidade – condutividade hidráulica.....	88
4.4.2.1. Procedimentos operacionais.....	89
4.4.3. Caracterização geológica in situ.....	91
4.4.4. Ensaio de coluna.....	91
4.4.4.1. Montagem das colunas.....	91
4.4.4.2. Saturação do solo nas colunas.....	93
4.4.4.3. Preparo do lixiviado para início da percolação.....	94
4.4.4.4. Coleta de amostras efluentes.....	94
4.4.4.5. Desmontagem das colunas.....	95
5. Resultados Discussão.....	98
5.1. Solo.....	98
5.1.1. Caracterização física.....	98
5.1.2. Caracterização química.....	101

5.1.3. Caracterização mineralógica.....	109
5.1.4. Caracterização microbiológica.....	112
5.2. Sondagem a trado para caracterização do solo <i>in situ</i>	117
5.3. Determinação da condutividade hidráulica <i>in situ</i>	123
5.4. Caracterização geológica <i>in situ</i>	123
5.5. Monitoramento da qualidade da água.....	127
5.6. Ensaio de coluna de percolação de lixiviado.....	129
5.6.1. Caracterização da água para saturação do solo nas colunas.....	129
5.6.2. Caracterização do lixiviado para percolação nas colunas.....	130
5.6.3. Parâmetros Físico-Químicos do lixiviado efluente das colunas.....	131
5.6.3.1. Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	131
5.6.3.2. Potencial Hidrogeniônico.....	133
5.6.3.3. Condutividade Elétrica (CE).....	135
5.6.3.4. Potencial Elétrico (Eh).....	136
5.6.3.5. Turbidez.....	138
5.6.4. Curvas características de transporte de contaminantes.....	140
5.6.5. Perfil de retenção de contaminantes inorgânicos pelo solo presente nas colunas.....	164
6. Conclusões.....	171
7. Sugestões para trabalhos futuros.....	174
8. Referências Bibliográficas.....	175

ANEXOS

- 01 – Resultados das análises químicas do solo retirado durante a sondagem do aterro sanitário de São Carlos
- 02 – Relatório das atividades em campo/ Geoinvest.
- 03 – Monitoramento das águas no Aterro Sanitário de São Carlos
- 04 – Análises Microbiológica
- 05 – Análises Mineralógica
- 06 – Análises de caracterização química do solo *in situ* e o percolado com lixiviado

1. INTRODUÇÃO

As áreas contaminadas por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos constituem-se grave problema sócio-ambiental. Isto se deve, principalmente, à falta ou dificuldades na aplicação de políticas específicas para essas áreas, possibilitando a ocorrência da contaminação do solo e das águas e, conseqüentemente, a disponibilidade de metais tóxicos ou compostos orgânicos na cadeia alimentar, gerando riscos ecológicos e para a saúde humana.

O crescente processo de industrialização e crescimento populacional permitem o aumento do volume de resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente, que precisam ser gerenciados.

O gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos deve ser entendido como o conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que um órgão público ou privado desenvolve, baseada em critérios sanitários, ambientais e econômicos, para coletar, segregar, tratar e dispor os resíduos.

Dentre as ações de saneamento básico, entendidas fundamentalmente como de saúde pública, encontra-se o abastecimento de água, a coleta, tratamento e disposição dos esgotos e dos resíduos sólidos urbanos adequados (constituindo a limpeza pública), a drenagem urbana das águas pluviais e o controle de vetores de doenças. A limpeza pública é um dos serviços mais deficientes, sendo a disposição final de resíduos sólidos urbanos o componente da limpeza pública em situação crítica atualmente no Brasil.

No Brasil, existem normas e leis relacionadas aos resíduos sólidos que podem direcionar os administradores públicos, observando a necessidade de legislação específica em alguns setores. A Política Nacional de Saneamento Básico, Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, propõe uma visão integrada dos sistemas públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, bem como o manejo das águas pluviais e resíduos sólidos. No que se refere aos resíduos sólidos, a lei não apresenta diretrizes específicas para os diferentes tipos de resíduos.

A falta de uma Política Nacional de Resíduos Sólidos exige integração entre os governos nacional, estadual e municipal, e os diversos setores da sociedade em busca da prevenção e minimização dos impactos negativos.

Nos países considerados em desenvolvimento, entre eles o Brasil, a abordagem dominante à questão das áreas contaminadas ainda é negligenciada. Esta forma de abordagem caracteriza-se pelo não reconhecimento do problema e está vinculada, principalmente, às prioridades adotadas pelas jurisdições envolvidas.

A recuperação dessas áreas degradadas tem sido uma das principais preocupações nos países industrializados, sobretudo nessas últimas décadas. Este fato decorre da conscientização e pressão das comunidades para alcançar melhor qualidade de vida; do levantamento do passivo ambiental para privatização de empresas estatais ou transações entre empresas privadas; das dificuldades de avaliação econômica na incorporação de conglomerados, e do avanço das pesquisas científicas sobre a disponibilidade e bioacumulação dos metais pesados e compostos orgânicos na cadeia alimentar.

Diante deste quadro, alguns instrumentos de gestão vêm sendo empregados nas políticas corretivas de solos contaminados. Entre estas políticas destaca-se o programa de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, desenvolvido pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), representando o Governo do Estado de São Paulo conveniada com a Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ- Sociedade de Cooperação Técnica do governo da Alemanha), e tem como objetivo promover a cooperação técnica em projetos específicos dentro do tema “Áreas Contaminadas”, visando capacitar a CETESB para atuar no gerenciamento dessas áreas.

Este programa já desenvolveu o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001c), que contém a proposta para o *Protocolo analítico de preparação de amostras de solos para determinação de metais* (QUINÁGLIA, 2001) e os *Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo* (CETESB, 2001a).

Infelizmente, as áreas de disposição final de resíduos sólidos ainda não são bem construídas e operadas, e as substâncias presentes nesses resíduos podem migrar e movimentar-se pelo solo de sustentação do aterro e entorno deste, promovendo poluição e contaminação ambiental, afetando o ecossistema local e podendo comprometer a fauna e a flora, bem como a saúde da população.

A proteção do meio ambiente contra as conseqüências adversas da disposição de resíduos é um importante problema da atualidade, e envolve questões relacionadas ao estudo ambiental, uma vez que deve levar em consideração a estabilidade dos locais usados para disposição dos resíduos e com a análise da migração de contaminantes, a partir dos locais onde os resíduos são dispostos, temas abordados neste estudo.

Segundo Tressoldi e Consoni (1998), no Brasil, os requisitos para a proteção do meio ambiente envolvem muitas atividades técnicas e metodológicas, incluindo:

- Identificação e caracterização dos condicionantes geológicos, hidrogeológicos e geomorfológicos;
- Escolha do local de disposição e execução das investigações geológicas e hidrogeológicas;
- Definição e acompanhamento do monitoramento pré-operacional;
- Definição dos dispositivos de contenção e de coleta dos percolados e das plumas de contaminação;
- Definição dos tratamentos prévios dos resíduos, dos métodos e do projeto de disposição;
- Implementação e acompanhamento do monitoramento operacional e pós-operacional.

A seleção de novos locais para disposição e armazenamento de resíduos, aplicando critérios geológicos, hidrogeológicos e geotécnicos, não soluciona os problemas de disposições já efetuadas, normalmente sem considerar qualquer critério e responsáveis por muitos dos impactos negativos, requerendo a implementação de medidas de remediação ou recuperação.

Assim, os trabalhos para a remediação de áreas contaminadas por resíduos devem, necessariamente, passar pela etapa inicial de diagnóstico, quando são coletadas informações sobre o meio ambiente atingido e sobre as características da contaminação. Após a avaliação de impactos baseada em indicadores ou fatores ambientais, também são conduzidas investigações e monitoramento detalhados, para caracterizar e quantificar os impactos, e efetuar o estudo das alternativas de remediação.

Segundo Davies e Campanella (1995), a investigação ou caracterização geoambiental refere-se a uma representação sub e superficial do terreno, indicando de forma aproximada as suas condições *in situ*. Esta representação é geralmente obtida a partir de um programa de investigação que inclui tanto o reconhecimento superficial como o subsuperficial do terreno em questão.

No Brasil, estudos referentes a contaminação do solo por lixiviados em locais de disposição de resíduos sólidos urbanos não são freqüentes. Portanto, é necessário, no atual estágio de conhecimento, a obtenção de valores de referência para a avaliação da presença de contaminantes em diferentes tipos de solos, o que representa um grande desafio no Brasil, pela sua extensão e variedade de tipos de solos existentes.

As características dos lixiviados variam de acordo com características da população, do local e também do tempo de exposição. Em função de suas características, podem apresentar risco efetivo ou potencial à saúde humana, ou gerar impactos aos meios físico, biótico e sócio-econômico, exigindo cuidados especiais quanto ao manuseio, acondicionamento, coleta, transporte e disposição final.

De modo geral, a composição química dos lixiviados varia muito dependendo da idade do aterro sanitário, onde apresentam altos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), nutrientes e baixos valores de potencial Hidrogeniônico (pH) e metais pesados. Os metais pesados necessitam maior atenção, pois apresentam elevado grau de periculosidade pelo seu efeito acumulativo, principalmente no que se refere a saúde humana.

A maioria dos metais pesados ocorre naturalmente no solo em baixas concentrações e em formas não prontamente disponíveis para as plantas e organismos vivos (RESENDE et al., 1997). Entretanto, com a intensificação dos processos de produção agrícola e a utilização maciça de insumos industrializados e, mais recentemente, com a utilização dos resíduos e subprodutos de processos industriais na agricultura, tem-se observado o aumento da concentração de metais pesados nos solos.

A poluição do solo por metais pesados está ligada a processos de acúmulo e transporte dessas espécies que dependem, em grande parte, das suas interações com a fase sólida do sistema. Esta interação é bastante complexa, envolvendo reações de adsorção e dessorção, precipitação e dissolução, complexação e oxirredução, tanto com a fase inorgânica quanto com a orgânica dos mesmos. Atributos do solo, tais como acidez, teor de matéria orgânica, presença de óxidos de Fe, Al ou Mn, conteúdo de argila e húmus, potencial redox são responsáveis pelo comportamento e a disponibilidade de metais pesados no solo.

O movimento dos metais pesados no solo tem sido objeto de numerosas pesquisas, sendo abordado aqui neste estudo também. Os estudos têm demonstrado que os metais Pb, Cr e Cu apresentam baixa mobilidade, acumulando-se na superfície dos solos contaminados, enquanto Zn, Mn, Ni e, principalmente, Cd são relativamente mais móveis, apresentando maior risco de contaminação da água subterrânea (SHEPPARD e THIBAUT, 1992).

No Brasil, embora haja uma quantia considerável de informação sobre metais pesados como micronutrientes, trabalhos sobre a mobilidade deles em locais de disposição de resíduos sólidos são poucos.

Para tal, este estudo seguiu recomendações do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001c). Inicialmente, buscou-se levantar as características do meio físico e antrópico da área, o histórico do empreendimento, a identificação e avaliação das áreas potencialmente contaminadas e a investigação confirmatória da contaminação, por meio da identificação das fontes, vias e mecanismos de transformação e transferência dos poluentes no sistema solo-água do Aterro Sanitário.

Com base no exposto, as hipóteses deste estudo foram: (1) o solo do aterro sanitário tem capacidade intrínseca de reter os contaminantes oriundos da movimentação do lixiviado e (2) a qualidade do solo no entorno do aterro não está sendo alterada.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi investigar o comportamento dos contaminantes presentes no lixiviado ao percolar em solo coletado na área do Aterro Sanitário de São Carlos e, também, os processos de atenuação natural promovidos pelo solo a partir de estudos de percolação em colunas.

Objetivos específicos:

- Examinar e avaliar as características físicas, químicas, biológicas, geológicas e mineralógicas do solo que possibilitam a atenuação dos contaminantes no lixiviado;
- Determinar as interações físico químicas entre o lixiviado e o solo;
- Analisar a vulnerabilidade a que o solo e águas subterrâneas estão sujeitas no caso da migração de lixiviado;
- Identificar a existência de contaminação do solo e de águas subterrâneas e superficiais através de sondagens a trado, coleta de água em poços e córregos do entorno do aterro sanitário.