ESTUDO DOS LIXIVIADOS DAS FRAÇÕES DO ATERRO SANITÁRIO DE SÃO CARLOS – SP POR MEIO DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

ADRIANA GONÇALVES FERREIRA

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para Obtenção do título de mestre em Ciências

Orientador: Prof. Assoc. Valdir Schalch

São Carlos

2010

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

F383e

Ferreira, Adriana Gonçalves
Estudo dos lixiviados das frações do aterro sanitário de São Carlos-SP por meio da caracterização físico- química / Adriana Gonçalves Ferreira ; orientador Valdir Schalch. -- São Carlos, 2010.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

1. Resíduos sólidos. 2. Lixiviados de aterros sanitários. 3. Caracterização físico-química. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Engenheira **ADRIANA GONÇALVES FERREIRA**

Dissertação defendida e julgada em 14/05/2010 perante a Comissão Julgadora:

APROVADA

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

Aprovada

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

APROVADA

Prof. Titular **ARISTIDES DE ALMEIDA ROCHA**
(Faculdade de Saúde Pública/USP)

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

Página intencionalmente deixada em branco

Aos meus pais Douglas e Eutália e a meus irmãos Heloísa e Gabriel que sempre me apoiaram em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

Ao Prof. Dr. Valdir Schalch pela orientação e amizade cultivada durante este trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcus César Avezum Alves de Castro pelas sugestões dispensadas na realização de meu trabalho.

Ao Dr. Ronan Cléber Contrera, que praticamente me co-orientou nesta pesquisa, sempre disponível a esclarecer os mais diversos questionamentos.

Ao CNPq e Capes pelas bolsas de estudo concedidas.

À Prefeitura Municipal de São Carlos, na pessoa do Sr. Douglas Minamisako, que autorizou minhas entradas no aterro sanitário municipal e forneceu um histórico de operações da área.

À Vega Engenharia Ambiental, através do Sr. Fábio Andrade, pelas fotos aéreas e informações sobre o aterro sanitário.

Às secretárias do SHS: Rose, Sá e Pavi pela ajuda sempre que necessária.

Aos técnicos e técnicas do Laboratório de Saneamento: Paulo, Júlio, Juliana e Natália por todo carinho e dedicação em me orientar nas análises.

Ao Fernando, pela ajuda nas coletas e na finalização desta dissertação.

Aos colegas, amigos e familiares que contribuíram na realização deste trabalho.

RESUMO

FERREIRA, A.G. (2010) **Estudo dos lixiviados das frações do aterro sanitário de São Carlos – SP por meio da caracterização físico-química.** São Carlos-SP, 2010, 134 p., Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho teve como objetivo determinar as fases de decomposição das frações dos resíduos dispostos no aterro sanitário de São Carlos – SP a partir do estudo das características dos lixiviados gerados. Foram coletadas amostras do lixiviado gerado na parte mais antiga do aterro (encerrada a 10 anos) e nas 1ª, 2ª e 3ª ampliações (esta última em operação). A coleta foi dividida em dois períodos: seco (junho a setembro de 2009) e chuvoso (outubro a dezembro de 2009). As seguintes análises foram realizadas: pH, alcalinidade, ácidos voláteis totais, DQO, sólidos, metais, NTK e N amoniacal. Em todos pontos os valores de pH encontrados foram superiores a 8. A alcalinidade variou entre 4000 e 12000 mg/L$CaCO_3$ enquanto os AVT apresentaram concentrações sempre inferiores a 700 mg/L$CaCO_3$. A DQO apresentou concentrações entre 3000 e 7000 mg/L durante o período seco, decaindo para 2000 e 4000 mg/L no período chuvoso. Os resultados encontrados sugerem que o lixiviado de todos os pontos encontram-se na fase metanogênica de decomposição da matéria orgânica. A partir dos resultados de NTK e N amoniacal ficou evidente que a amônia é o poluente presente em maior concentração no lixiviado – corresponde a mais de 70% do NTK. A biodegradabilidade foi investigada através das relações AVT/DQO e STV/ST e resultaram em valores menores que 0,25 e 0,3 respectivamente, indicando que o lixiviado do aterro de São Carlos possui baixa biodegradabilidade.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, Lixiviados de aterros sanitários, Caracterização físico-química.

ABSTRACT

FERREIRA, A.G. (2010) **Study from de leachate of fractions from São Carlos landfill – SP through the physicochemical characterization**. São Carlos-SP, 2010, 134 p., Master Dissertation – São Carlos Engineering School, São Paulo University.

This work aimed to determine the stages of the decomposition of the waste disposed in São Carlos – SP landfill fractions through the study of the characteristics of the generated leachate. Samples were collected from the older area of the landfill (closed 10 years ago), and also from the first, second and third new built areas (garbage is still being dumped in the third one). The samples were collected in two periods: the dry one (from June to September 2009) and the rainy one (from October to December 2009). The concentration of pH, alkalinity, total volatile acids, COD, solids, metals, sodium and potassium, total nitrogen and ammonium-N were determined in the study. In all the points sampled the values of pH were higher than 8. The alkalinity ranged from 4000 mg/L to 12000 mg/L $CaCO_3$, while the total volatile acids concentrations were less than 700 mg/L $CaCO_3$. The COD present concentrations between 3000 e 7000 mg/L in the dry period decaying to 2000 and 4000 mg/L in the rainy period. The results found suggest that all the leachate analyzed is in the methanogenic phase of the organic matter. From the total nitrogen and ammonium N results it turned out to be evident that ammonia is the major pollutant present in the leachate – more than 70% of the total nitrogen. The biodegradability was investigated through the relations VFA/COD and VS/TS and resulted in values lower than 0,25 and 0,3 respectively, indicating that the leachate from São Carlos landfill has low biodegradability.

Key words: Solids wastes, Landfill leachates, Physicochemical characterization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1.2.1: Distribuição da disposição final dos resíduos sólidos urbanos..... 8
FIGURA 3.1.2.2: Posição da Divisão de Gestão de Resíduos Sólidos no organograma da Prefeitura..... 11
FIGURA 3.2.1.1: Desenvolvimento de um aterro sanitário (a) escavação e instalação do *liner*, (b) disposição dos resíduos no aterro, e (c) encerramento do aterro..... 13
FIGURA 3.2.1.2: Detalhe do coletor de gases..... 14
FIGURA 3.2.2.1: Variações de parâmetros selecionados, indicadores das fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário..... 17
FIGURA 3.3.3.1.1: Dinâmica de água na formação de lixiviado em um aterro..... 48
FIGURA 4.1.1: Foto aérea do aterro de São Carlos..... 54
FIGURA 4.1.2: Áreas do aterro sanitário de São Carlos..... 57
FIGURA 4.2.1: Instalações do aterro sanitário de São Carlos em 2009..... 57
FIGURA 4.2.2: Caixa de passagem 2..... 58
FIGURA 4.2.3: Lixiviado sendo coletado no aterro..... 59
FIGURA 4.2.4: Coletor utilizado durante as coletas..... 59
FIGURA 4.5.1: Localização da estação pluviométrica em relação ao aterro sanitário..... 65
FIGURA 5.1.1: Comportamento do pH..... 67
FIGURA 5.2.1: Comportamento da alcalinidade..... 68
FIGURA 5.3.1: Comportamento do AVT..... 70
FIGURA 5.4.1: Comportamento da DQO..... 73
FIGURA 5.5.1: Comportamento do NTK..... 74
FIGURA 5.6.1: Comportamento do N amoniacal..... 76
FIGURA 5.7.1: Comportamento do ST..... 78
FIGURA 5.7.2: Comportamento do STF..... 79
FIGURA 5.7.3: Comportamento do STV..... 80
FIGURA 5.8.1: Comportamento do SST..... 81
FIGURA 5.8.2: Comportamento do SSF..... 82
FIGURA 5.8.3: Comportamento do SSV..... 83
FIGURA 5.9.1: Comportamento do chumbo..... 84

FIGURA 5.9.2: Comportamento do cádmio..... 85
FIGURA 5.9.3: Comportamento do níquel..... 86
FIGURA 5.9.4: Comportamento do ferro..... 87
FIGURA 5.9.5: Comportamento do cobre..... 89
FIGURA 5.9.6: Comportamento do cromo..... 90
FIGURA 5.9.7: Comportamento do sódio..... 91
FIGURA 5.9.8: Comportamento do potássio..... 92

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1.1.1: Composição física dos resíduos sólidos da cidade de São Carlos – SP..... 7
TABELA 3.3.2.1: Composição típica de lixiviados de aterros jovens e velhos..... 32
TABELA 3.3.2.2: Características mais prováveis do lixiviado de aterros brasileiros..... 33
TABELA 3.3.2.3: Ácidos Voláteis e suas principais características..... 37
TABELA 3.3.4.1: Limites máximos permitidos de concentração de metais para lançamento em corpos d´água..... 52
TABELA 3.3.4.2: Concentrações de metais pesados em lixiviados..... 52
TABELA 4.4.1: Variáveis analisadas e métodos de análise do lixiviado..... 62
TABELA 4.5.1: Histórico das operações do aterro..... 63
TABELA 4.5.2: Quantidade de resíduos aterrada durante os anos..... 64
TABELA 5.3.1: Valores corrigidos de AVT no período seco..... 71
TABELA 5.3.2: Valores corrigidos de AVT no período chuvoso..... 72
TABELA 5.6.1: Porcentagem média do N-amoniacal em relação ao NTK e valores de N-orgânico para o período seco..... 77
TABELA 5.10.1: Valores da relação AVT/DQO para o período seco..... 94
TABELA 5.10.2: Valores da relação AVT/DQO para o período chuvoso..... 94
TABELA 5.10.3: Relação STV/ST para o período seco..... 95
TABELA 5.10.4: Relação STV/ST para o período chuvoso..... 96
TABELA B.1: Valores de pH no período seco..... 115
TABELA B.2: Valores de pH no período chuvoso..... 115
TABELA B3: Valores de alcalinidade no período seco (valores em mg/L$CaCO_3$).. 116
TABELA B4: Valores de alcalinidade no período chuvoso (valores em mg/L$CaCO_3$)..... 116
TABELA B5: Valores de ácidos voláteis totais (AVT) no período seco (valores em mg/L$CaCO_3$)..... 117
TABELA B6: Valores de ácidos voláteis totais (AVT) no período chuvoso (valores em mg/L$CaCO_3$)..... 117
TABELA B7: Valores de DQO no período seco (valores em mg/L)..... 118

TABELA B8: Valores de DQO no período chuvoso (valores em mg/L)..... 118
TABELA B9: Valores de NTK no período seco (valores em mg/L)..... 119
TABELA B10: Valores de N amoniacal no período seco (valores em mg/L)..... 119
TABELA B11: Valores de sólidos totais no período seco (valores em mg/L)..... 120
TABELA B12: Valores de sólidos totais no período chuvoso (valores em mg/L).... 120
TABELA B13: Valores de sólidos totais fixos no período seco (valores em mg/L). 121
TABELA B14: Valores de sólidos totais fixos no período chuvoso (valores em mg/L)..... 121
TABELA B15: Valores de sólidos totais voláteis no período seco (valores em mg/L)..... 122
TABELA B16: Valores de sólidos totais voláteis no período chuvoso (valores em mg/L)..... 122
TABELA B17: Valores de sólidos suspensos totais no período seco (valores em mg/L)..... 123
TABELA B18: Valores de sólidos suspensos totais no período chuvoso (valores em mg/L)..... 123
TABELA B19: Valores de sólidos suspensos fixos no período seco (valores em mg/L)..... 124
TABELA B20: Valores de sólidos suspensos fixos no período chuvoso (valores em mg/L)..... 124
TABELA B21: Valores de sólidos suspensos voláteis no período seco (valores em mg/L)..... 125

TABELA B22: Valores de sólidos suspensos voláteis no período chuvoso (valores em mg/L)..... 125

LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.2.3.1: Critérios para seleção de área de aterro sanitário..... 24
QUADRO 3.2.4.1: Probabilidade de ocorrência de acidentes decorrentes de um aterro de resíduos – Riscos Ambientais..... 27
QUADRO 3.2.4.2: Probabilidade de ocorrência de acidentes decorrentes de um aterro de resíduos – Riscos à Saúde Humana..... 28
QUADRO 4.3.1: Dias de coleta e pontos amostrados..... 61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AVT	Ácidos Voláteis Totais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MOD	Matéria Orgânica Dissolvida
N-amoniacal	Nitrogênio Amoniacal
NBR	Norma Brasileira Registrada
ND	Não Detectado
NEPER	Núcleo de Estudo e Pesquisa em Resíduos Sólidos
N-orgânico	Nitrogênio Orgânico
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
P	Precipitação
P-total	Fósforo Total
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PMSC	Prefeitura Municipal de São Carlos
PVC	Policloreto de Vinila
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta

LISTA DE SÍMBOLOS

As	Arsênio
B	Boro
Ba	Bário
Ca	Cálcio
$CaCO_3$	Carbonato de Cálcio
Cd	Cádmio
CH_4	Metano
Cl	Cloro
CN	Cianeto
Co	Cobalto
CO_2	Dióxido de Carbono
CO_3^{2-}	Carbonato
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
H_2	Gás Hidrogênio
HCl	Ácido Clorídrico
HCO^{3-}	Bicarbonato
H_2CO_3	Ácido Carbônico
Hg	Mercúrio
H_2S	Gás Sulfídrico
K	Potássio
Li	Lítio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Na	Sódio
Ni	Níquel
N_2	Gás Nitrogênio
NH_3	Amônia
NH_4	Amônio
NO_3	Nitrato

NO_2	Nitrito
O_2	Gás Oxigênio
OH^-	Hidróxido
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
Q	Vazão
Se	Selênio
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 1
2. OBJETIVOS..... 4
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL..... 4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 5
3.1 CONCEITOS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS..... 5
3.1.1 DEFINIÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO..... 5
3.1.2 SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL..... 8
3.2 ATERROS SANITÁRIOS..... 12
3.2.1 DEFINIÇÕES..... 12
3.2.2 FASES DA DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NO ATERRO SANITÁRIO..... 15
3.2.2.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ATERROS SANITÁRIOS..... 18
3.2.3 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS..... 21
3.2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDO A ATERROS SANITÁRIOS..... 25
3.3 LIXIVIADOS OU LÍQUIDOS PERCOLADOS..... 30
3.3.1 DEFINIÇÃO..... 30
3.3.2 CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO..... 30
3.3.2.1 BIODEGRADABILIDADE DO LIXIVIADO..... 43
3.3.3 TAXA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO E FATORES INFLUENTES..... 46
3.3.3.1 DINÂMICA DA ÁGUA NO ATERRO SANITÁRIO..... 46
3.3.3.2 TAXA DE GERAÇÃO..... 48
3.3.4 CONTAMINANTES DO LIXIVIADO..... 50
4. MATERIAL E MÉTODOS..... 54
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DE SÃO CARLOS..... 54
4.2 COLETA DAS AMOSTRAS..... 57
4.3 ETAPAS DO EXPERIMENTO..... 60
4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS REALIZADAS..... 61

4.5 OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE O ATERRO SANITÁRIO E DADOS PLUVIOMÉTRICOS..... 62
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 66
5.1 pH..... 66
5.2 ALCALINIDADE..... 68
5.3 ÁCIDOS VOLÁTEIS TOTAIS – AVT..... 69
5.4 DQO..... 72
5.5 NTK..... 74
5.6 N AMONIACAL..... 75
5.7 SÓLIDOS TOTAIS..... 77
5.8 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS..... 81
5.9 METAIS..... 84
5.10 BIODEGRADABILIDADE DO LIXIVIADO..... 93
5.11 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS..... 96
6. CONCLUSÕES..... 99
7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... 100
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 101
ANEXO A – ANÁLISES FÍSICO – QUÍMICAS DAS AMOSTRAS..... 106
ANEXO B – RESULTADOS DAS ANÁLISES..... 115
ANEXO C – RESULTADOS DOS METAIS..... 126

1. INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos sólidos é tema atual e relevante frente à crescente conscientização ambiental da população e os avanços da legislação. Por muitos anos os resíduos foram destinados sem que houvesse a preocupação de evitar a poluição do solo, da água e do ar.

O aterro sanitário é a única técnica de disposição final de resíduos. Quando bem construído e operado o aterro evita a contaminação do solo e os líquidos gerados no processo de decomposição são coletados e podem receber tratamento adequado. A inadequada disposição dos lixiviados dos aterros sanitários pode causar sérios problemas ao meio ambiente, especialmente aos corpos d´água.

As características dos lixiviados variam em função da localidade, da estação do ano e ao longo da vida útil de um aterro. Mudanças são observadas na vazão gerada, na concentração e composição química do lixiviado. Fatos assim tornam o lixiviado um efluente peculiar e impossibilitam o emprego de parâmetros pré-determinados em projetos semelhantes de tratamento. Um sistema de tratamento de lixiviados deve contemplar estes fatos e mostrar grande flexibilidade na operação, permitindo lidar com tais variações.

Quanto à idade do lixiviado, tem-se a diferenciação entre lixiviado “velho” e lixiviado “novo”. Nos lixiviados considerados “velhos”, a concentração de matéria orgânica é menor, pois esta já se encontra em fase adiantada de decomposição anaeróbia – fase metanogênica. No lixiviado “novo”, a concentração de matéria orgânica é maior e

são observados altos valores de poluentes orgânicos. Estes lixiviados encontram-se ainda na fase ácida da decomposição e pH baixos são característicos neste caso.

A biodegradabilidade do lixiviado pode ser avaliada por meio das relações DBO/DQO, STV/ST e AVT/DQO. Em especial a última relação oferece uma boa indicação quanto à idade do lixiviado já que lixiviados "novos" apresentam maiores relações AVT/DQO devido à grande presença de ácidos. As relações DBO/DQO e STV/ST também apresentam maiores valores para lixiviados "novos", sugerindo a presença de matéria orgânica biodegradável.

As elevadas concentrações de amônia e alcalinidade encontradas em alguns lixiviados são provavelmente, responsáveis pela toxicidade observada neste efluente.

A pesquisa aqui proposta pretende investigar e determinar as fases de decomposição dos lixiviados das diversas frações do aterro sanitário de São Carlos – SP. Para isso, procedeu-se a caracterização física e química dos lixiviados, e de posse dos resultados e com base em faixa de valores sugeridos pela literatura, definiu-se em qual fase da decomposição o lixiviado se encontra. A investigação da biodegradabilidade do lixiviado através da relação AVT/DQO também foi contemplada nesta pesquisa, pois vem proporcionar mais um subsídio na determinação da fase de decomposição do lixiviado.

Com a finalidade de complementar este estudo do lixiviado do aterro de São Carlos foram reunidos dados de precipitação pluviométrica. Estes dados são importantes à medida que a precipitação está intimamente ligada à concentração de poluentes no lixiviado. A precipitação pluviométrica atinge o aterro e pode influenciar na diluição dos poluentes nas lagoas de acumulação de lixiviado. Sendo assim, uma investigação do efeito da diluição pela precipitação nas lagoas pode indicar se as lagoas

oferecem algum tipo de tratamento ao lixiviado ou somente servem para diluir os poluentes.

Por fim, este trabalho procurou contribuir para o desenvolvimento dos estudos sobre lixiviados de aterros sanitários. Ele vem dar continuidade à linha de pesquisa "Estudo de alternativas para tratamento de chorume" locada no Núcleo de Estudo e Pesquisa em Resíduos Sólidos – NEPER, grupo de pesquisa vinculado ao CNPq, existente no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

- Determinar as fases de decomposição dos resíduos do aterro sanitário de São Carlos com base nas características dos lixiviados gerados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físico-químicas do lixiviado e sua correlação com as fases de decomposição dos resíduos do aterro sanitário de São Carlos.
- Avaliar a variação das concentrações dos parâmetros analisados em períodos distintos com diferentes precipitações.
- Investigar a biodegradabilidade do lixiviado através das relações AVT/DQO e STV/ST.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONCEITOS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS

3.1.1 DEFINIÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

Segundo a NBR 10004/04 resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento em rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A NBR 8419/92 define resíduos sólidos urbanos como os resíduos sólidos gerados num aglomerado urbano, excetuados os resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e de aeroportos e portos.

A classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que deu origem ao resíduo e seus constituintes, suas características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, NBR 10004/04).

Os resíduos são classificados em:

a) Resíduos Classe I – Perigosos
b) Resíduos Classe II – Não Perigosos
    - Resíduos Classe II A – Não Inertes
    - Resíduos Classe II B – Inertes

Os resíduos perigosos oferecem risco à saúde pública, podendo apresentar características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Os resíduos não perigosos e não inertes (Classe II A) podem apresentar características como biodegrabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e não se enquadram na Classe I ou Classe II B. Como exemplo deste tipo de resíduo tem-se os resíduos sólidos domiciliares.

Por fim, os resíduos não perigosos e inertes (Classe II B), quando submetidos a ensaios com água destilada não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exceto cor, turbidez, dureza e sabor. O exemplo mais conhecido deste tipo de resíduo é o dos resíduos de construção e demolição.

A composição dos resíduos sólidos domiciliares varia muito, principalmente em função dos hábitos culturais, sociais e da situação econômica do aglomerado populacional. Em estudos que envolvem resíduos sólidos e suas formas de tratamento e disposição final, torna-se imprescindível sua caracterização. GOMES (1989) e FRÉSCA (2007) procederam à caracterização dos resíduos domiciliares na cidade de São Carlos – SP, que se encontra na Tabela 3.1.1.1.

TABELA 3.1.1.1: Composição física dos resíduos sólidos da cidade de São Carlos – SP

Componente	**Porcentagem média em massa (base úmida)**	
	Gomes (1989)*	**Frésca (2007)**
Matéria orgânica putrescível	56,7	59,08
Papel e papelão	21,3	6,44
Plástico	8,5	10,47
Metal	5,4	1,31
Trapos	3,4	-
Madeira, couro, borracha	2,3	-
Vidro	1,4	1,67
Embalagem longa vida	-	0,94
Inertes	1,3	-
Rejeitos/outros	-	20,09
TOTAL	**100**	**100**

* Peso específico ≈ 136,40 kg/m^3 e Teor de umidade médio = 46,4%

Em relação aos dados apresentados por FRÉSCA (2007) a Prefeitura Municipal de São Carlos – PMSC (2007) infere que:

- Cerca de 80% dos resíduos sólidos encaminhados para o aterro sanitário de São Carlos são passíveis de reaproveitamento, seja via reciclagem (20%) ou compostagem (60%);
- A grande porcentagem de rejeito presente na composição gravimétrica deve-se, principalmente, pela presença de fraldas, borrachas, madeira, panos e tecidos;
- O plástico mole é constituído, em sua maioria, pelas “sacolas de supermercado” que são utilizadas para armazenar os resíduos e, posteriormente, são dispostas para a coleta;
- Com relação ao alumínio e outros metais observa-se uma baixa representatividade na quantidade global, devido principalmente ao mercado

existente para este tipo de resíduo. Desta forma, este resíduo é desviado do aterro sanitário tanto pela coleta seletiva existente no município quanto pela ação dos catadores autônomos.

3.1.2 SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

Em 2006 foi publicado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. O órgão responsável pela pesquisa foi o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS). O Diagnóstico retrata as características e a situação da prestação dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos em 247 municípios, de todos os estados brasileiros e mais o Distrito Federal.

De acordo com este estudo, o destino final dos resíduos coletados, totalizando 11,7 milhões de toneladas, está assim distribuído conforme Figura 3.1.2.1:

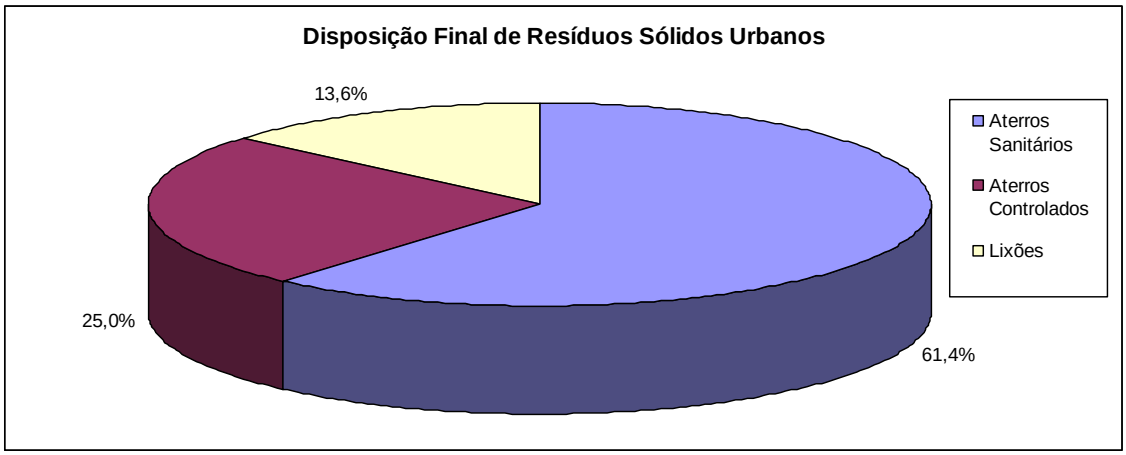


FIGURA 3.1.2.1: Distribuição da disposição final dos resíduos sólidos urbanos

Fonte: SNIS, (2006)

O estudo aponta ainda que, há coleta seletiva em 55,9% dos municípios presentes na amostra, em geral sob a forma de coleta porta-a-porta. Já a coleta seletiva

não formal – realizada por catadores – está presente em 83% dos municípios. Os catadores estão organizados em associações e cooperativas em 53% das cidades pesquisadas. A quantidade média de materiais recicláveis recuperados é de 2,8 kg por habitante a cada ano, sendo 44,3% papel ou papelão, 27,6% plásticos e 15,3% metais. Vidros representam 9,8% e outros totalizam 2,9%.

Com relação ao desempenho financeiro, 40,1% dos municípios não cobram pelos serviços de limpeza urbana, sendo que naqueles que cobram e que informaram, o valor da receita arrecadada municipal pelos serviços de limpeza urbana, o valor médio verificado é de R$31,00/habitante/ano. Mesmo tendo avançado significativamente, ao se comparar com os dados do "Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2002", é possível perceber, na nova edição, que ainda há muito a ser feito para se chegar aos padrões realmente ideais (SNIS, 2006).

Assim sendo, os conceitos de gestão e gerenciamento são importantes para o entendimento e resolução da problemática dos resíduos. O conceito de gestão de resíduos sólidos abrange atividades referentes à tomada de decisões estratégicas e à organização do setor para esse fim, envolvendo instituições, políticas, instrumentos e meios (LEITE, 1997). Gerenciamento de resíduos sólidos pode ser definido como o controle da geração, estocagem, coleta, transferência, transporte, processamento e disposição dos resíduos sólidos, de acordo com princípios de saúde pública, econômicos, de engenharia, de conservação, estéticos, e de proteção ao meio ambiente, sendo também responsável pelas atitudes públicas (TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL, 1993).

Segundo LEITE (1997), modelo de gestão de resíduos sólidos é um "conjunto de referências político-estratégicas, institucionais, legais e financeiras capaz de orientar a

organização do setor”. Os elementos indispensáveis na composição de um modelo de gestão são:

- Reconhecimento dos diversos agentes sociais envolvidos, identificando os papéis por eles desempenhados e promovendo a sua articulação;
- Consolidação da base legal necessária e dos mecanismos que viabilizem a implementação das leis;
- Mecanismos de financiamento para a auto-sustentabilidade das estruturas de gestão e do gerenciamento;
- Informação à sociedade, empreendida tanto pelo poder público, quanto pelos setores produtivos envolvidos, para que haja um controle social;
- Sistema de planejamento integrado orientando a implementação das políticas públicas para o setor.

A composição de modelos de gestão envolve, portanto, fundamentalmente três aspectos, que devem ser articulados: arranjos institucionais, instrumentos legais e mecanismos de financiamento.

Uma vez definido o modelo básico de gestão deve-se criar uma estrutura para o gerenciamento que se adéque ao modelo. Dessa forma, o gerenciamento de resíduos exige o emprego das melhores técnicas na busca do enfrentamento da questão. A solução do problema dos resíduos pode envolver uma complexa relação interdisciplinar, abrangendo os aspectos políticos e geográficos, o planejamento local e regional, elemento de sociologia e demografia, entre outros (CASTRO, 2001).

Gerenciar os resíduos de forma integrada é articular ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve, apoiada em critérios sanitários, ambientais e econômicos, para coletar, tratar e dispor o lixo de uma cidade, ou seja, é acompanhar de forma criteriosa todo

ciclo dos resíduos, da geração à disposição final, empregando as técnicas e tecnologias mais compatíveis com a realidade local (LEITE, 1997).

Em São Carlos, a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos estão sob responsabilidade da Prefeitura Municipal de São Carlos – PMSC, especificamente a cargo do Departamento de Política Ambiental, vinculado à Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia. Desde 2001 existe uma divisão dedicada especialmente à gestão de resíduos sólidos da cidade, conforme ilustra a Figura 3.1.2.2.

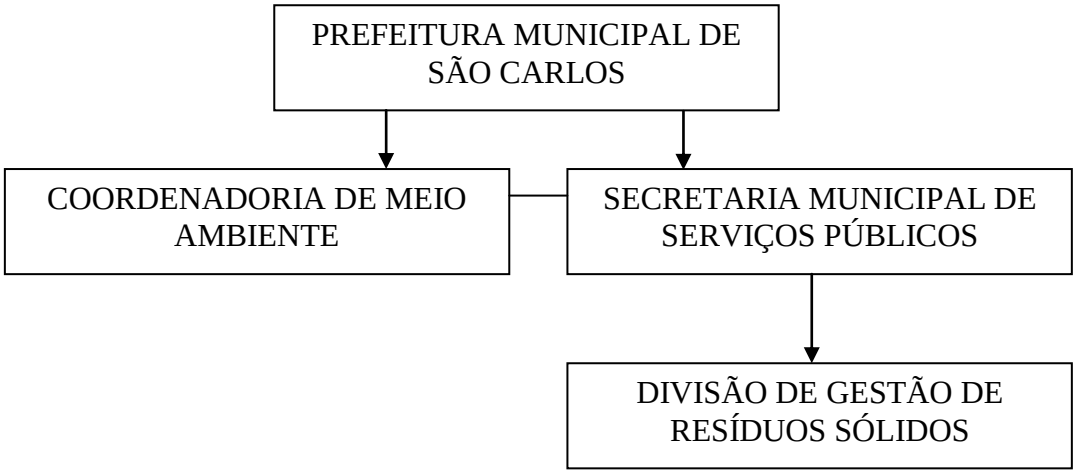


FIGURA 3.1.2.2: Posição da Divisão de Gestão de Resíduos Sólidos no organograma da Prefeitura

Fonte: PMSC (2010)

Embora a gestão dos resíduos sólidos urbanos seja de responsabilidade da Coordenadoria de Meio Ambiente e da Secretaria Municipal de Serviços Públicos, a operacionalização dos serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) e Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) são terceirizadas.

3.2 ATERROS SANITÁRIOS

3.2.1 DEFINIÇÕES

Os resíduos sólidos são gerados continuamente e sua disposição de forma adequada torna-se necessária. Historicamente, os aterros têm sido o método mais aceito de disposição de resíduos sólidos, em termos econômicos e ambientais (TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL, 1993). O aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais. Esses critérios de engenharia mencionados materializam-se no projeto de sistemas de drenagem periférica e superficial para afastamento de águas de chuva, de drenagem de fundo para coleta do lixiviado, do sistema de tratamento para o lixiviado drenado, de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica (BIDONE & POVINELLI, 1999).

A Figura 3.2.1.1 ilustra os principais componentes de um aterro sanitário.

Os principais gases gerados nos aterros sanitários são o CH_4, CO_2, N_2, H_2 e H_2S. Maiores cuidados deverão ser dispensados ao metano, que pode representar até 60% do gás gerado em aterros. De acordo com LEITE (1991), o controle da geração e migração desses gases é realizado através de um adequado sistema de drenagem, constituído por drenos verticais colocados em diferentes pontos do aterro. Estes drenos são construídos com a superposição de tubos perfurados de concreto ou de PVC revestidos de brita, que atravessam no sentido vertical o aterro, desde o solo até a camada superior, como se fossem chaminés, interligadas em suas bases com os drenos de lixiviados.

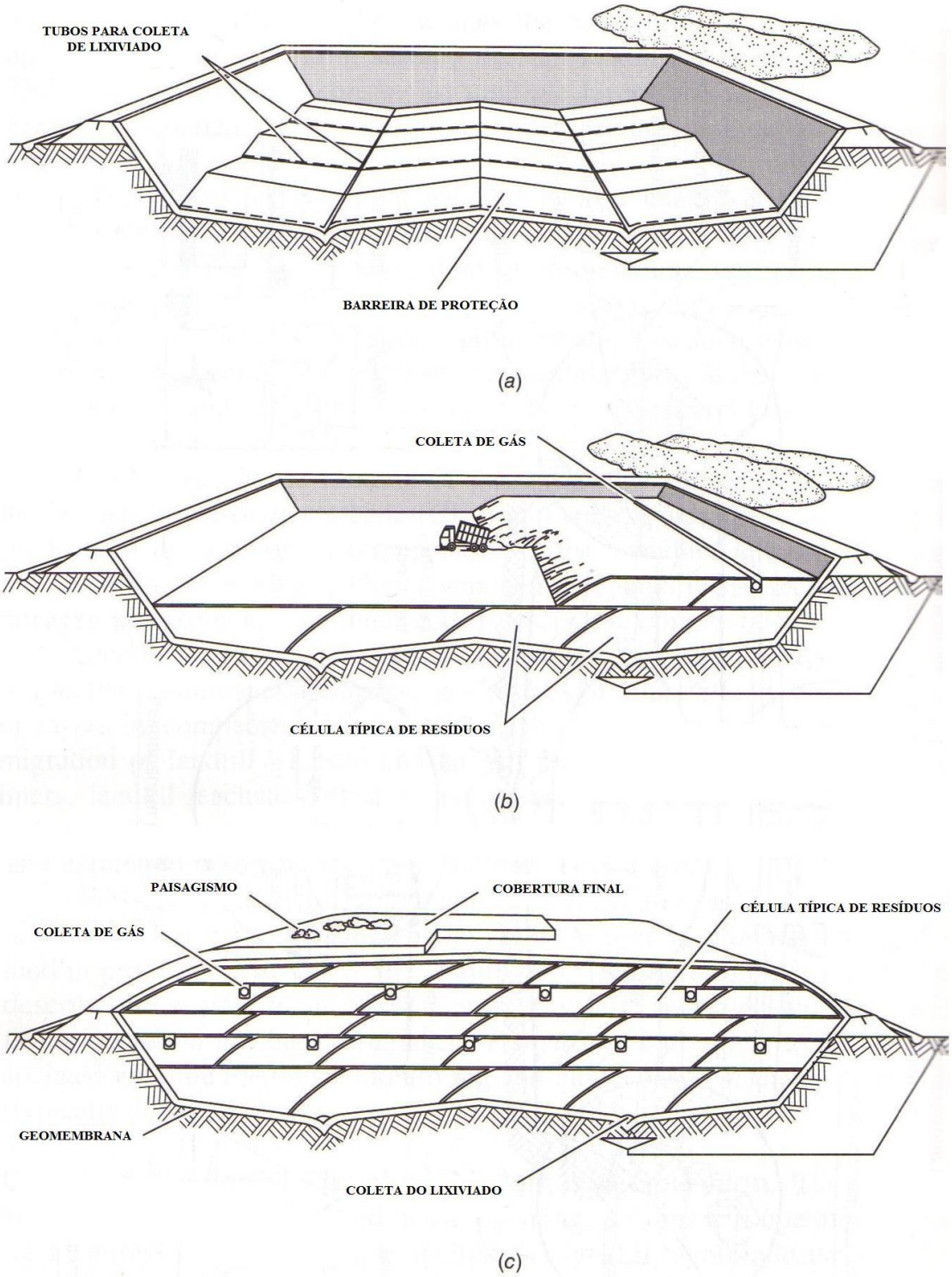


FIGURA 3.2.1.1: Desenvolvimento de um aterro sanitário (a) escavação e instalação do *liner*, (b) disposição dos resíduos no aterro, e (c) encerramento do aterro

Fonte: TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL (1993)

A Figura 3.2.1.2 mostra o detalhe do coletor de gases do aterro sanitário de São Carlos. Este estava sendo construído com tela de arame e preenchido com brita.

FIGURA 3.2.1.2: Detalhe do coletor de gases

São necessários para aterros dois sistemas de drenagem: superficial e sub-superficial.

LEITE (1991) explica que o sistema de drenagem superficial e do entorno tem como finalidade básica desviar as águas da bacia de contribuição para fora da área do aterro, diminuindo dessa forma o volume de lixiviado, durante e após a fase de execução do aterro, além de possibilitar a sua operação inclusive em dias de chuva. Este sistema requer a construção de canais de superfície livre a meia encosta, ou canaletas envolvendo toda a área do aterro. Toda água recolhida por esse sistema deverá ser conduzida para um ponto distante, onde não cause danos ao aterro, durante e após a fase de operação.

Já o sistema de drenagem sub-superficial visa coletar e conduzir o lixiviado para uma unidade de tratamento, evitando o comprometimento do lençol freático. É constituído basicamente de estruturas drenantes com escoamento em meio poroso (LEITE, 1991).

3.2.2 FASES DA DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NO ATERRO SANITÁRIO

FARQUHAR & ROVERS (1973) apresentaram uma evolução temporal da transformação anaeróbia em um aterro sanitário. Este modelo foi aperfeiçoado por REES (1980) e POHLAND & GOULD (1986).

De acordo com POHLAND & GOULD (1986), a transformação da matéria orgânica em um aterro é um processo de cinco fases:

- Fase 1 – ajustamento inicial ou aeróbia: disposição dos resíduos, acúmulo de umidade, subsidência inicial e cobertura da área. Essa umidade acumulada auxilia a realização das reações que intervém na produção de gás e líquidos percolados. Segundo BIDONE (2008), nessa fase as bactérias aeróbias iniciam a estabilização da matéria orgânica, com consequente e predominante geração de CO_2. A atividade metabólica desses microrganismos é exotérmica, o que justifica a elevação de temperatura verificada no âmbito da massa sólida neste estágio;
- Fase 2 – transição: formação do lixiviado e transição da fase aeróbia para a anaeróbia ou anóxica. Estabelecimento das condições de óxido-redução. Aparecimento de compostos intermediários (ácidos voláteis);
- Fase 3 – formação de ácidos: predominância de ácidos orgânicos voláteis de cadeia longa (propiônico, butírico). Oxidação dos ácidos voláteis e dos ácidos graxos de cadeia longa para ácido acético e hidrogênio, precursores diretos do

metano. Decréscimo do pH com consequente mobilização e possível complexação de compostos metálicos. Aumento da concentração da DQO do lixiviado. Liberação de nutrientes com N e P que serão utilizados como nutriente para o crescimento da biomassa;

- Fase 4 – fermentação metanogênica: produtos intermediários que aparecem durante a fase de formação de ácidos são convertidos em CH_4 e CO_2. Retorno do pH à condição de tampão, controlado pelos ácidos voláteis. Potencias redox nos valores mais baixos. Precipitação e complexação de metais. Redução na intensidade de formação de lixiviado. Drástica redução de DQO (medida no lixiviado) com correspondente aumento na produção de gás;
- Fase 5 – maturação final: estabilização da atividade biológica, com relativa inatividade. Escassez de nutrientes e paralisação da produção de gás. Predominância de condições ambientais naturais. Aumento do valor do potencial redox com aparecimento de O_2 e espécies oxidadas. Conversão lenta dos materiais orgânicos resistentes aos microrganismos em substâncias húmicas complexadas com metais.

A Figura 3.2.2.1 representa estas fases.

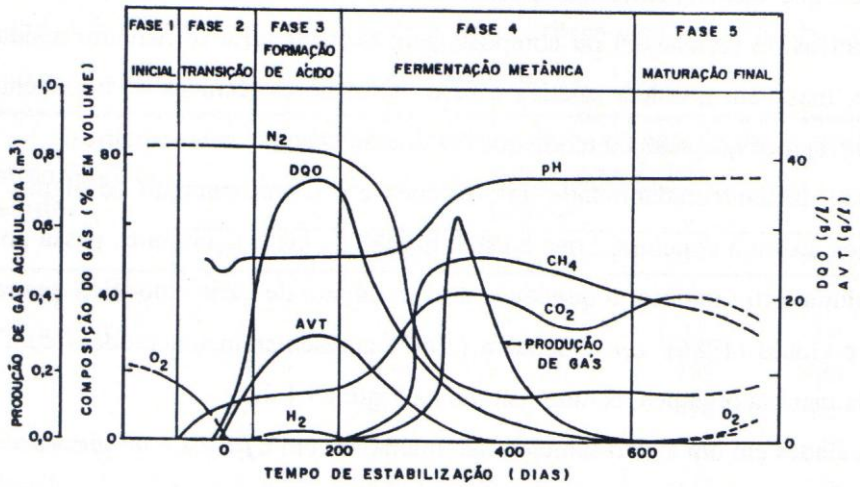


FIGURA 3.2.2.1: Variações de parâmetros selecionados, indicadores das fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário

Fonte: POHLAND & GOULD (1986)

Pode-se observar na Figura acima que a curva de DQO dos lixiviados sugere uma influência marcante de degradação da matéria orgânica na transformação dos substratos, enfatizando o papel fundamental que exercem as fases 3 e 4 no processo global de estabilização em aterros sanitários (CASTRO, 2001).

Do ponto de vista dos resíduos, as diversas fases da decomposição ocorrem simultaneamente, mas em pontos diferentes do aterro. Os resíduos recém dispostos, assim como aqueles localizados próximo à superfície, estão ainda submetidos a processos aeróbios. As camadas mais antigas e profundas já se encontram na fase metanogênica (SOUTO, 2009).

Nenhum aterro sanitário apresenta uma única fase distinta ou uma seqüência perfeitamente ordenada de fases. O que se verifica, é a presença de um conjunto de diferentes fases e idades associadas às várias células de um aterro. Igualmente, observa-se que a taxa de desenvolvimento através dessas fases pode variar em função do tempo de disposição, e das condições físicas, químicas e biológicas desenvolvidas dentro de

cada célula. Assim, a presença de substâncias tóxicas pode produzir uma inibição da atividade microbiana enquanto uma compactação exagerada pode limitar a percolação da área e dos nutrientes através da massa de resíduos de uma célula, dificultando a bioconversão dos materiais orgânicos (SCHALCH, 1992).

Como explanado acima, a disposição dos resíduos sólidos urbanos em lixões, nos aterros controlados ou nos aterros sanitários, não evita a formação de subprodutos como gases (CO_2, H_2S e CH_4), de lixiviados/percolados (mistura de chorume gerado pela degradação do material orgânico com água de chuva), que exigem um tratamento adequado, sob pena de criarem impactos ambientais e efeitos estéticos indesejados (BIDONE & POVINELLI, 1999).

3.2.2.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ATERROS SANITÁRIOS

Tanto fatores de ordem operacional (material de cobertura, compactação dos resíduos, profundidade do aterro, chuvas, composição dos resíduos) quanto fatores intrínsecos à atividade microbiológica, contribuem para alteração dos três parâmetros principais: temperatura, teor de umidade e pH dos resíduos aterrados. A toxicidade de metais também é um parâmetro relevante (CASTRO, 2001).

- **Temperatura**

De acordo com BORZANI *et al*. (1975) nos aterros sanitários ocorrem sucessivamente dois processos biológicos: o aeróbio e o anaeróbio. Pelo fato de ser grande a quantidade de matéria sólida, por melhor que seja compactado o lixo, existe sempre certa quantidade de ar nos espaços intersticiais, responsável pela atividade respiratória durante certo tempo. Essa fase aeróbia pode ser dividida em etapas; a

primeira dessas etapas realiza-se em ambiente ácido, havendo digestão de carboidratos simples, tais como os açúcares em geral.

A temperatura ideal desta fase situa-se em torno de 35ºC. A etapa seguinte, ainda aeróbia, realiza-se com temperaturas entre 60 e 65ºC, ocorrendo aí a decomposição das proteínas e de outros compostos orgânicos nitrogenados. Acompanha essa fase uma elevação de pH do meio, devido a formação de significativas quantidades de compostos amoniacais.

Finalmente, quando se verificar o decréscimo da temperatura, haverá condições para o desenvolvimento de bactérias e fungos anaeróbios, que promovem a decomposição da celulose e outros carboidratos mais resistentes. Durante o processo aeróbio de respiração ocorre uma forte redução da concentração de oxigênio – uma vez que o resíduo aterrado encontra-se isolado do ar atmosférico – e da produção de gás carbônico. Da redução da concentração resulta o aparecimento das condições de anaerobiose, dando lugar a uma nova seqüência biológica (CASTRO, 2001).

- **pH**

Durante o processo de digestão anaeróbia uma das mais importantes exigências do meio ambiente para que o processo ocorra de forma satisfatória é o controle de pH. A maioria dos pesquisadores considera que um pH com amplitude entre 6,8 e 7,2 corresponde a uma condição ótima de digestão (CASTRO, 2001).

POHLAND (1975) diz que as reações químicas e biológicas que ocorrem em aterros sanitários são função do pH. Durante os estágios particulares da digestão anaeróbia a estabilização do pH depende da relação entre o ácido volátil, a alcalinidade do percolado e do dióxido de carbono contido no gás total produzido no processo.

Portanto, a estabilização de resíduos em aterros sanitários ocorre de forma semelhante à da digestão anaeróbia.

Da atividade bacteriana aeróbia resulta a produção de CO_2, o qual se dissolve na fase aquosa infiltrada, produzindo o ácido carbônico (H_2CO_3), impondo um meio ácido.

Com a redução da concentração de oxigênio na massa de resíduos aterrada inicia-se, então, a primeira fase da digestão anaeróbia com formação de ácidos, com a predominância do ácido acético. Embora os ácidos produzidos sejam comumente fracos, eles contribuem significativamente para a acidez, especialmente se estiverem em altas concentrações.

Já na segunda fase da digestão anaeróbia, as bactérias metanogênicas metabolizam o acetato e a sua existência e o meio propício para sua reprodução garantem a manutenção de uma baixa concentração de ácidos orgânicos. O pH elevado, observado nos lixiviados velhos, é resultado da formação do bicarbonato de amônio.

- **Teor de umidade**

De todos os fatores que influenciam a decomposição de resíduos em aterros sanitários, a umidade é o mais importante, já que disponibiliza um meio aquoso para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo processo de degradação e serve também como meio de transporte de nutrientes no interior do aterro.

Os resíduos domiciliares contêm naturalmente certo grau de umidade, que varia em função da composição, das condições climáticas e das práticas de coleta. Em decorrência da influência destes fatores observa-se uma variação acentuada nos valores do teor de umidade apresentados pela literatura.

POHLAND & KANG (1971) afirmam que as taxas das reações químicas e biológicas que ocorrem nos aterros aumentam com a elevação do teor de umidade encerrado nos resíduos.

- **Metais pesados**

Se por um aspecto a diminuição da carga orgânica presente no lixiviado ao longo do tempo é justificada pela degradação anaeróbia dos resíduos, o abrandamento dos metais presentes no lixiviado ao longo do tempo se deve ao aumento do pH em lixiviados velhos.

SCHALCH (1992) estudou a correlação com a concentração da DQO com a concentração de manganês e de ferro, e verificou um abrandamento da concentração dos metais à medida que a matéria orgânica era decomposta.

3.2.3 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS

Na escolha de uma área para implantação de aterros sanitários deve-se ter em conta a importância das características do meio físico. Uma área adequada significa menor gasto com preparo, operação e encerramento do aterro, significando também menores riscos ao meio ambiente e à saúde pública (IPT/CEMPRE, 2000).

O estudo para identificação de áreas que apresentem viabilidade ambiental para a instalação de um aterro sanitário pressupõe o atendimento do binômio tipologia-localização, ou seja, parte do princípio de que é necessário identificar, por um lado, as características inerentes ao empreendimento e, por outro, a capacidade de suporte do ambiente para recebê-lo. No caso do aterro sanitário, é possível assumir que a combinação de fatores como conformação do relevo, tipos de solos, formações geológicas, recursos hídricos, entre outros, determinam a capacidade (ou aptidão) do

meio em acomodar certas atividades humanas de forma que os impactos dessas atividades não ultrapassem os níveis aceitos pela sociedade e/ou impostos pela legislação. Por outro lado, outros fatores como infra-estrutura de transporte ou presença de aglomerados urbanos são encarados como elementos que potencializam ou restringem a aptidão do meio para tais atividades.

De acordo com JARDIM (1995) os seguintes dados devem ser levantados na orientação da escolha de área para o aterro:

Dados gerais:

- Dados populacionais: número de habitantes atuais e projeção da população futura;
- Caracterização dos resíduos: quantidade e qualidade dos resíduos que se pretende dispor no aterro;
- Informações sobre gerenciamento de resíduos no município: dados sobre varrição, acondicionamento, coleta e transporte dos resíduos.

Dados geológicos e geotécnicos:

- Declividade: inclinações inferiores a 2% estão sujeitas a infiltração das águas de chuva enquanto valores superiores a 10% estão sujeitas a erosões;
- Textura do solo: o material deve possuir pelo menos 25% de finos (material passando na peneira de 0,075mm);
- Permeabilidade: são indicados coeficientes entre 10^{-6} e 10^{-7}cm/s;
- Nível do lençol freático: ideal é que a base do aterro se localize 3m acima do ponto mais alto do lençol freático para os solos argilosos e uma distância maior para os solos arenosos;

- Substrato rochoso: solos com rochas calcáreas, dolomitas e rochas de cimentação carbonácea devem ser evitadas, pois possuem alto coeficiente de permeabilidade nas fraturas;

Dados sobre águas superficiais:

- Identificar principais mananciais, bacias e corpos de água;
- Identificar a qualidade e os usos dessas águas;
- Verificar áreas de proteção de mananciais.

Dados sobre o clima:

- Série histórica do regime de chuvas;
- Direção e intensidade dos ventos.

Dados sobre legislação:

- Pesquisar legislação nos níveis federal, estadual e municipal.

Dados sócio-econômicos:

- Aspectos políticos;
- Valor da terra;
- Uso e ocupação do solo;
- Distância do centro produtor de resíduos;
- Integração à malha viária;
- Aceitabilidade da população.

Uma sugestão de classificação das áreas investigadas é proposta por JARDIM (1995). Estas são classificadas em três categorias:

- Recomendada: quando a área reúne condições para ser utilizada com segurança e baixo investimento;

- Recomendada com restrições: quando a área poderá ser utilizada conforme as normas vigentes necessitando, porém, de medidas complementares de médio investimento;
- Não recomendada: neste caso, a área necessita de medidas complementares de alto investimento.

O Quadro 3.2.3.1 resume o modelo:

QUADRO 3.2.3.1: Critérios para seleção de área de aterro sanitário

Dados	**Classificação das áreas**		
	Recomendada	**Recomendada com restrições**	**Não recomendada**
Vida útil	Maior que 10 anos	Menor que 10 anos (a critério do órgão ambiental)	
Distância do centro atendido	Maior que 10km	10-20km	Maior que 20km
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrição no zoneamento ambiental		Unidades de conservação ambiental
Zoneamento urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento máximo
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e ocupação do solo	Áreas pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valorização da terra	Baixa	Média	Alta
Aceitação da população	Boa	Razoável	Inaceitável
Declividade do terreno	3 ≤ declividade ≤ 20	20 ≤ declividade ≤ 30	declividade < 3 ou declividade > 30
Distância dos cursos de água	Maior que 200m	Menor que 200m com aprovação do órgão ambiental responsável	

Fonte: IPT/CEMPRE (2000)

De acordo com IPT/CEMPRE (2000), depois da seleção da área deverão ser conduzidas investigações de superfície e subsuperfície, divididas em:

1) Técnicas de investigação indireta: interpretação de fotografias aéreas, métodos geofísicos (sísmica, sondagem elétrica vertical, e outras).
2) Técnicas de investigação direta: sondagens manuais ou mecânicas, ensaio de bombeamento e infiltração no local, ensaios em laboratório como análises físico-químicas da água, granulometria, permeabilidade e compactação do solo.

3.2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDO A ATERROS SANITÁRIOS

Segundo da Resolução CONAMA 01/86, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia, resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam a saúde, a segurança e o bem estar da população; atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e as qualidades dos recursos ambientais.

De acordo com BIDONE & POVINELLI (1999), as comunidades microbianas presentes em sistemas de disposição final de resíduos sólidos urbanos incluem bactérias hidrolíticas e fermentativas, acidogênicas, acetogênicas e arqueas metanogênicas, além de bactérias redutoras de sulfato e protozoários. Apenas na fase inicial, durante e logo após a deposição dos resíduos nos aterros, observam-se condições adequadas de crescimento de microrganismos aeróbios. O restante da degradação se dá sob ambiente anaeróbio.

A poluição das águas subterrâneas é um dos graves danos associados à desativação de empreendimentos das áreas de disposição de resíduos sólidos, que deve prever a recuperação das áreas degradadas com o objetivo de minimizar os danos ambientais, os quais devem ser reparados para que seja mantida a qualidade ambiental do local (SANCHEZ, 2001).

Líquidos que contêm elevada carga orgânica, microrganismos, metais e outros compostos são formados durante a digestão da matéria orgânica. Se estes líquidos entrarem em contato com águas subterrâneas através da infiltração no solo ou com águas superficiais pelo escoamento superficial, podem alterar sua qualidade. Além disso, podem contaminar o solo no entorno, comprometendo o desenvolvimento da flora e conseqüentemente afetando a fauna (LOPES, 2007).

Outra fonte de contaminação é o metano, gás liberado na decomposição da matéria orgânica. Ele pode ser explosivo quando confinado em concentração de 5 a 15% no ar. Além disso, é um dos gases que contribui para o efeito estufa, sendo e 20 a 25 vezes mais efetivo que o dióxido de carbono.

Com o intuito de mitigar os impactos ambientais causados pela disposição dos resíduos sólidos urbanos em lixões, alguns procedimentos técnicos tornaram-se obrigatórios na implantação dos aterros sanitários. São eles: dispositivos de drenagem e tratamento de gases gerados, dispositivos de drenagem e tratamento de lixiviados, recobrimento diário e sistemático dos resíduos compactados com solo, selamento e impermeabilização mínima das células de aterro após alcance de sua altura útil (BIDONE & POVINELLI, 1999).

Os Quadros 3.2.4.1 e 3.2.4.2 mostram a análise de riscos ambientais e à saúde humana realizado por PIVATO[1] *apud* FERREIRA (2008), indicando a probabilidade de ocorrência de acidentes em um aterro sanitário.

---

[1] PIVATO, A. (2003) **An overview of the fundamentals of risk assessment applied to the aftercare landfill impact.** In: Proceedings of the 9th international landfill symposium. Cagliari, Itália, 2003

QUADRO 3.2.4.1: Probabilidade de ocorrência de acidentes decorrentes de um aterro de resíduos – Riscos Ambientais

Probabilidade de ocorrência de acidentes decorrentes de um aterro de resíduos – Riscos Ambientais						
Meio de contaminação	Evento principal	Contaminante	Evento	Probabilidade de ocorrência de um acidente		
				Durante a operação do aterro (20 anos)	Pós – fechamento do aterro (de 21 até 50 anos)	Longo período (após 50 anos)
Gasoso	Fluxo de biogás	Biogás	Concentração perigosa de contaminantes	3	2	1
			Inibição do crescimento da vegetação	3	2	1
			Inibição do crescimento animal	2	1	0
Líquido	Fluxo de percolados	Contaminação da água subterrânea	Exceder as concentrações limites	3	3	2
		Contaminação da água superficial	Exceder as concentrações limites	2	2	2
			Inibição do crescimento da vegetação	2	2	2
			Inibição do crescimento animal	1	1	1
Sólido	Solos	Solos contaminados	Exceder as concentrações limites	0	2	3
			Inibição do crescimento da vegetação	1	1	3
			Inibição do crescimento animal	1	1	3
Legenda: (3) – muito provável; (2) – provável; (1) – pouco provável; (0) – não constitui perigo						

Fonte: PIVATO (2003)

QUADRO 3.2.4.2: Probabilidade de ocorrência de acidentes decorrentes de um aterro de resíduos – Riscos à Saúde Humana

Probabilidade de ocorrência de acidentes decorrentes de um aterro de resíduos – Riscos à Saúde Humana						
Meio de contaminação	Evento principal	Contaminante	Evento	Probabilidade de ocorrência de um acidente		
				Durante a operação do aterro (20 anos)	Pós – fechamento do aterro (de 21 até 50 anos)	Longo período (após 50 anos)
Gasoso	Fluxo de biogás	Biogás	Inalação de gás no interior das residências	3	2	0
			Inalação de gás no exterior das residências	3	2	0
		Poeira	Inalação de gás no interior das residências	2	1	0
			Inalação de gás no exterior das residências	2	1	0
Líquido	Fluxo de percolados	Contaminação da água subterrânea	Ingestão de água subterrânea contaminada	3	3	0
			Contato dérmico com água subterrânea contaminada (durante banhos)	3	3	2
			Inalação de vapores d´água contaminada no exterior das residências	3	3	2
			Inalação de vapores d´água contaminada no interior das residências	3	3	2
			Ingestão de vegetais irrigados com água contaminada	2	2	1
			Ingestão de água de irrigação	2	2	1
			Contato dérmico com água de irrigação contaminada	1	1	1
		Contaminação da água superficial	Ingestão de água de superfície (durante a natação)	1	1	1

Continuação do Quadro 3.2.4.2:

Probabilidade de ocorrência de acidentes decorrentes de um aterro de resíduos – Riscos à Saúde Humana						
Meio de contaminação	Evento principal	Contaminante	Evento	Probabilidade de ocorrência de um acidente		
				Durante a operação do aterro (20 anos)	Pós – fechamento do aterro (de 21 até 50 anos)	Longo período (após 50 anos)
Líquido	Fluxo de percolados	Contaminação da água superficial	Contato dérmico com água de superfície	1	1	1
			Ingestão de vegetais irrigados com água contaminada	2	2	1
			Ingestão de água de irrigação	1	1	1
			Contato dérmico com água de irrigação contaminada	1	1	1
			Risco microbiológico	1	0	0
		Vapores contaminados	Inalação de vapores contaminados no exterior das residências	1	1	1
			Inalação de vapores contaminados no interior das residências	1	1	1
Sólido	Solos	Solos contaminados	Contato dérmico com solos contaminados	1	1	3
			Ingestão de solos contaminados	0	1	2
			Ingestão de vegetais plantados em solos contaminados	1	1	3
			Risco microbiológico	1	0	0
Legenda: (3) – muito provável; (2) – provável; (1) – pouco provável; (0) – não constitui perigo						

Fonte: PIVATO (2003)

3.3 LIXIVIADOS OU LÍQUIDOS PERCOLADOS

3.3.1 DEFINIÇÃO

A NBR 8419/92 define sumeiro ou chorume como sendo o líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (demanda bioquímica de oxigênio). A mesma norma delibera que lixiviação é o deslocamento ou arraste, por meio líquido, de certas substâncias contidas nos resíduos sólidos urbanos.

Após a precipitação pluviométrica sobre a massa de resíduos, o fluxo de água pelos vazios da massa sólida determina o seu contato e mistura com o chorume, resultando em um líquido que apresenta vários tipos de poluentes: compostos orgânicos biodegradáveis e não biodegradáveis, compostos nitrogenados, sólidos em suspensão e, em alguns casos, metais pesados e compostos tóxicos, entre outros. Este líquido, ou essa mistura de líquidos, conceitua-se modernamente como lixiviado (BIDONE, 2008).

Os líquidos percolados ocupam, juntamente com os gases, os interstícios existentes na fase sólida do aterro sanitário. Eles são produzidos como conseqüência de uma complexa gama de interações entre fatores relacionadas com o local de disposição do lixo (geológicos, hidrogeológicos, hidrometeorológicos, topográficos, composição do rejeito, compactação das células, impermeabilização e cobertura vegetal) (SCHALCH, 1992).

3.3.2 CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO

A qualidade do lixiviado é resultado da interação entre tipo e intensidade de decomposição, o balanço hídrico e umidade do resíduo (EHRIG, 1983). As características do lixiviado mudam com o passar do tempo, porque, à medida que o aterro envelhece, ocorre uma mudança de breve período aeróbio para um longo período

de decomposição anaeróbia, que apresenta duas fases distintas: uma fase ácida seguida por uma fase metanogênica (DIAMADOPOULOS, 1994).

O lixiviado da fase ácida, lixiviado “novo”, é caracterizado por altos valores de poluentes orgânicos. Uma grande porção da matéria orgânica consiste em ácidos voláteis (AV). Esses ácidos orgânicos de baixo peso molecular (PM < 20) constituem a maioria da matéria orgânica do lixiviado com valores que atingem até 95% do COT (DIAMADOPOULOS, 1994). Amostras coletadas durante a fase ácida da decomposição apresentaram valores de pH baixo e concentrações de DBO_5, DQO , nutrientes e metais pesados altas.

Na fase metanogênica da decomposição anaeróbia, arqueas produtoras de metano degradam os AV e reduzem a carga orgânica do lixiviado. O carbono orgânico que permanece após essa degradação é devido a substâncias de alto peso molecular. Estas substâncias são menos susceptíveis à degradação microbiológica e tendem a permanecer em lixiviados “velhos” (DIAMADOPOULOS, 1994). Amostras coletadas nesta fase mostram valores de pH entre 6,5 e 7,5, enquanto os valores de DBO_5, DQO e nutrientes são menores quando comparados aos da fase ácida. A concentração de metais também será menor porque a maioria dos metais não é solúvel em pH neutro. O pH do lixiviado não depende somente da concentração de ácidos presentes, mas também da pressão parcial de CO_2 no gás do aterro que está em contato com o lixiviado (TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL, 1993).

A biodegradabilidade do lixiviado varia com a idade do aterro e pode ser verificada pela relação DBO_5/DQO. Inicialmente esta relação é igual ou maior a 0,5, e valores entre 0,4 e 0,6 dão um indicativo que a matéria orgânica presente no lixiviado é altamente biodegradável. Em aterros “velhos” a razão se mostra na faixa de 0,05 a 0,2. A taxa cai porque lixiviados de aterros “velhos” contêm quantidades de ácidos fúlvicos

e húmicos, que não são facilmente biodegradáveis (TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL, 1993).

O lixiviado pode apresentar na sua composição compostos tóxicos, como amônia e metais, entre outros (DACANAL & BEAL, 2007). Com relação às concentrações de nitrogênio, verificou-se, tanto no lixiviado bruto quanto nos efluentes dos filtros, que a quase totalidade encontra-se na forma N-amoniacal (BIDONE *et al*, 2007).

TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL (1993) expõem algumas características dos lixiviados de aterros jovens e velhos na Tabela 3.3.2.1.

TABELA 3.3.2.1: Composição típica de lixiviados de aterros jovens e velhos

Constituinte	**Aterro jovem (menos que 2 anos)**		**Aterro velho (mais que 10 anos)**
	Valor médio	Valor típico	
DBO_5 (mg/L)	2000 – 30000	10000	100 – 200
DQO (mg/L)	3000 – 60000	18000	100 – 500
Sólidos suspensos totais (mg/L)	200 – 2000	500	100 – 400
N-orgânico (mg/L)	10 – 800	200	80 – 120
N-amoniacal (mg/L)	10 – 800	200	20 – 40
Nitrato (mg/L)	5 – 40	25	5 – 10
P-total (mg/L)	5 – 100	30	5 – 10
Ortofosfato (mg/L)	4 – 80	20	4 – 8
Alcalinidade ($mgCaCO_3/L$)	1000 – 10000	3000	200 – 1000
pH	4,5 – 7,5	6	6,6 – 7,5
Cálcio (mg/L)	200 – 3000	1000	100 – 400
Magnésio (mg/L)	50 – 1500	250	50 – 200
Potássio (mg/L)	200 – 1000	300	50 – 400
Sódio (mg/L)	200 – 2500	500	100 – 200
Ferro total (mg/L)	50 – 1200	60	20 – 200

Fonte: Adaptado de TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL, 1993

Nos aterros de países tropicais, a transição entre “lixiviado novo” e “lixiviado velho” parece acontecer dentro de um a dois anos após o início da operação, e não após cerca de cinco anos como acontece no clima temperado. Isto pode ser devido tanto à decomposição mais rápida dos resíduos em função das temperaturas mais elevadas e incidências de chuvas.

Em alguns casos o uso de sistemas de drenagem com brita na forma de colchões drenantes funcionam como filtros anaeróbios incorporados no aterro, removendo a carga orgânica facilmente biodegradável e colaborando para que o lixiviado rapidamente adquira características recalcitrantes (SOUTO & POVINELLI, 2007).

A Tabela 3.3.2.2 mostra o levantamento realizado por SOUTO & POVINELLI (2007) das características mais prováveis do lixiviado de aterros brasileiros.

TABELA 3.3.2.2: Características mais prováveis do lixiviado de aterros brasileiros

Variável	**Faixa máxima**	**Faixa mais provável**	**FVMP**
pH	5,7 – 8,6	7,2 – 8,6	78%
Alcalinidade total (mg/L de $CaCO_3$)	750 – 11400	750 – 7100	69%
Dureza (mg/L de $CaCO_3$)	95 – 3100	95 – 2100	81%
Condutividade (μS/cm)	2950 – 25000	2950 – 17660	77%
DBO (mg/L)	< 20 – 30000	< 20 – 8600	75%
DQO (mg/L)	190 – 80000	190 – 22300	83%
Óleos e graxas (mg/L)	10 – 480	10 – 170	63%
Fenóis (mg/L de C_6H_5OH)	0,9 – 9,9	0,9 – 4,0	58%
NTK (mg/L)	80 – 3100	Não há	-
N-amoniacal (mg/L)	0,4 – 3000	0,4 – 1800	72%
N-orgânico (mg/L)	5 – 1200	400 – 1200	80%
N-nitrito (mg/L)	0 – 50	0 – 15	69%
N-nitrato (mg/L)	0 – 11	0 – 3,5	69%

Continuação da Tabela 3.3.2.2:

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável	FVMP
P-total (mg/L)	0,1 – 40	0,1 – 15	63%
Sulfeto (mg/L)	0 – 35	0 – 10	78%
Sulfato (mg/L)	0 – 5400	0 – 1800	77%
Cloreto (mg/L)	500 – 5200	500 – 3000	72%
Sólidos totais (mg/L)	3200 – 21900	3200 – 14400	79%
Sólidos totais voláteis (mg/L)	630 – 20000	630 – 5000	60%
Sólidos totais fixos (mg/L)	2100 – 14500	2100 – 8300	74%
Sólidos suspensos totais (mg/L)	5 – 2800	5 – 700	68%
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	5 – 530	5 – 200	62%
Ferro (mg/L)	0,01 – 260	0,01 – 65	67%
Manganês (mg/L)	0,04 – 2,6	0,04 – 2,0	79%
Cobre (mg/L)	0,005 – 0,6	0,05 – 0,15	61%
Níquel (mg/L)	0,03 – 1,1	0,03 – 0,5	71%
Cromo (mg/L)	0,003 – 0,8	0,003 – 0,5	89%
Cádmio (mg/L)	0 – 0,26	0 – 0,065	67%
Chumbo (mg/L)	0,01 – 2,8	0,01 – 0,5	64%
Zinco (mg/L)	0,01 – 8,0	0,01 – 1,5	70%

FVMP: freqüência de ocorrência dos valores mais prováveis

Fonte: SOUTO & POVINELLI, 2007

Um lixiviado coletado durante a fase ácida de decomposição do aterro apresentará valores baixos de pH e altas concentrações de DBO, COT, DQO, nutrientes e metais pesados. Já o lixiviado da fase metanogênica apresentará pH entre 6,5 - 7,5, e menores valores de DBO, COT, DQO e nutrientes. As concentrações de metais pesados também serão menores porque a maioria dos metais é menos solúvel em pH neutro ou alcalino (TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL, 1993).

Se um lixiviado apresenta características de lixiviado “novo”, tanto tratamentos biológicos aeróbios como anaeróbios podem reduzir a alta concentração de matéria orgânica facilmente degradável. Se o lixiviado apresenta características de lixiviado “velho”, ou mesmo após o lixiviado sofrer tratamento biológico, uma significante parte da matéria orgânica biodegradável já foi consumida. Sendo assim, tratamentos físico-químicos podem ser empregados, antes do descarte do efluente (DIAMADOPOULOS, 1994).

De acordo com KJELDEN & CHRISTENSEN (2001) e KJELDSEN *et al*. (2002), os constituintes dos líquidos percolados podem ser divididos em quatro grupos:

1) Matéria Orgânica dissolvida (MOD), expressa como Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Carbono Orgânico Total (COT), incluindo CH_4, ácidos graxos voláteis (em particular na fase ácida) e muitos compostos recalcitrantes, por exemplo, compostos húmicos e fúlvicos;

2) Macronutrientes Inorgânicos: cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), amônio (NH_4^+), ferro (Fe), manganês (Mn), cloretos (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-), fósforo (P);

3) Metais potencialmente tóxicos: cádmio (Cd^{2+}), cromo (Cr^{3+}), cobre (Cu^{2+}), chumbo (Pb^{2+}), níquel (Ni^{2+}) e zinco (Zn^{2+});

4) Compostos Orgânicos Xenobióticos: que incluem uma variedade de hidrocarbonetos halogenados, compostos fenólicos, alcoóis, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, além de outras substâncias caracteristicamente tóxicas.

Outros compostos podem ser encontrados em menor concentração, como boro (B), arsênio (As), selênio (Se), bário (BA), lítio (Li), mercúrio (Hg) e cobalto (Co).

Alguns constituintes e características dos lixiviados são apresentados a seguir.

- **Matéria Orgânica Dissolvida – DQO**

A DQO é normalmente considerada como o total de contaminantes no lixiviado, e o entendimento da subdivisão da DQO é um importante pré-requisito na decisão do processo de tratamento do lixiviado (ZIYANG *et al.*, 2009).

É uma medida da concentração de matéria orgânica em resíduos domésticos ou industriais. Esta análise permite a medida de um resíduo orgânico em termos da quantidade de oxigênio requerida para oxidação até dióxido de carbono e água. Ela baseia-se no fato de que toda matéria orgânica, com poucas exceções, pode ser oxidada através da ação de um forte agente oxidante sob condições ácidas. Os valores de DQO são quase sempre maiores que os valores de DBO e essa diferença tende a tornar-se cada vez maior quando se tem quantidades significativas de matéria orgânica resistente à oxidação biológica. A maior vantagem da análise de DQO é o curto período de tempo requerido para sua avaliação, pois enquanto para obtenção do valor da DBO são necessários pelo menos 5 dias, a DQO pode ser obtida em aproximadamente 3 horas. De acordo com o APHA, AWWA & WPCF (2005), espécies inorgânicas reduzidas tais como íons ferrosos, manganosos, sulfetos, etc. também são oxidados na análise de DQO e amônia e seus derivados não são oxidados (CONTRERA, 2008).

Como já explicado anteriormente a DQO varia em função da idade do aterro. Maiores valores de DQO são encontrados em lixiviados “novos”, enquanto valores menores são observados em lixiviados “velhos”.

A composição da DQO em lixiviados de aterros sanitários pode variar de acordo com o tempo de disposição dos resíduos. A porcentagem de matéria orgânica no lixiviado decresce quanto maior for o tempo de disposição (ZIYANG *et al.*, 2009).

Os componentes inorgânicos que podem contribuir para DQO são Fe^{2+}, Mn^{2+}, sulfetos e cloretos.

- **Ácidos Voláteis Totais – AVT**

Correspondem à fração dos ácidos graxos de cadeia curta e pequeno peso molecular, ou seja, com menos de 6 carbonos em sua cadeia. Podem ser destilados à pressão atmosférica. A Tabela 3.3.2.4 apresenta os ácidos voláteis e algumas de suas características:

TABELA 3.3.2.4: Ácidos Voláteis e suas principais características

Ácido	**Fórmula química**	**Massa molar (g/mol)**	**Densidade (g/cm^3)**	**Pressão de vapor a 100ºC (atm)**	**Ponto de ebulição (ºC)**	**pK_a**	**Solubilidade em água (g/L)**
Metanóico (fórmico)	CH_2O_2	46,03	1,220 (20ºC)	0,99	101	3,75 (25ºC)	Muito solúvel
Etanóico (acético)	$C_2H_4O_2$	60,05	1,045 (25ºC)	0,55	117,9	4,76 (25ºC)	Muito solúvel
Propanóico (propiônico)	$C_3H_6O_2$	74,08	0,988 (25ºC)	0,24	141,15	4,87 (25ºC)	Muito solúvel
Butanóico (butírico)	$C_4H_8O_2$	88,11	0,953 (25ºC)	0,092	163,75	4,83 (25ºC)	Muito solúvel
Isobutanóico (isobutírico)	$C_4H_8O_2$	88,11	0,968 (20ºC)	-	154,45	4,84 (20ºC)	Muito solúvel
Pentanóico (valérico)	$C_5H_{10}O_2$	102,13	0,934 (25ºC)	0,037	186,1	4,83 (20ºC)	25 (20ºC)
Isopentanóico (isovalérico)	$C_5H_{10}O_2$	102,13	0,931 (20ºC)	-	176,5	4,77 (25ºC)	43 (20ºC)
Hexanóico (capróico)	$C_6H_{12}O_2$	116,16	0,921 (25ºC)	0,014	205,2	4,85 (25ºC)	9,67 (20ºC)

Fonte: SAWYER *et al*. (2003) e CRC (2007) *apud* CONTRERA (2008)[2]

[2] SAWYER, C. N,; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. (2003) Chemistry for environmental enginnering and science. 5th ed. Internacional edition. McGraw-Hill, Mew York, USA, 752p.; CRC (2007) Handbook of chemistry and hysics. Internet version 2007, 87th ed.

Estes ácidos são produto final de processos fermentativos e hidrolíticos de gorduras, proteínas e carboidratos que constituíam a matéria orgânica. As concentrações de AVT nos lixiviados podem variar de acordo com a idade do aterro. Os lixiviados de aterros “jovens” costumam apresentar elevadas concentrações de AVT, porém a concentração desses ácidos pode ser muito baixa ou mesmo até inexistir em lixiviados de aterros mais velhos (CONTRERA, 2008).

A determinação e o acompanhamento das concentrações de ácidos voláteis são de extrema importância em processos de digestão ou tratamento anaeróbio, pois acúmulos de ácidos voláteis podem indicar um desequilíbrio do sistema. Além do que, podem acabar consumindo praticamente toda alcalinidade a bicarbonato do sistema, causando queda no valor do pH, que poderá até ficar fora da faixa ótima para os sistemas anaeróbios (CONTRERA, 2008).

- **pH**

O pH é uma medida da concentração de íons hidrogênio presentes na fase líquida. Ele é o resultado da interação entre as diversas substâncias dissolvidas na massa líquida. Como muitas dessas substâncias são produzidas ou consumidas pelos microrganismos, a biota presente no meio também age sobre o pH. A recíproca é verdadeira, ou seja, a condição de pH também afeta processos químicos e biológicos. A condição de pH pode definir as rotas metabólicas que serão usadas pelos microrganismos, bem como quais microrganismos que podem estar predominando. Então, o pH pode ser usado como um indicativo das condições predominantes no meio em estudo (SOUTO, 2009).

O pH afeta a atividade das enzimas e a toxicidade de muitos compostos. As formas não ionizadas costumam ser muito mais tóxicas que as formas ionizadas, pois

atravessam com mais facilidade a membrana celular. O exemplo mais típico é a amônia (SOUTO, 2009).

Em aterros velhos ou com elevadas concentrações de N-amoniacal, o tamponamento devido à amônia que possui pK em torno de 9,25, tende a levar os valores de pH para faixas alcalinas.

Um meio ácido aumenta a solubilidade de muitos constituintes, diminui a adsorção e aumenta a troca iônica entre o lixiviado e a matéria orgânica. Porém, valores de pH menores que 5,5 causam inibição total da produção de todos os gases no aterro, devido a inibição total da atividade biológica (MC BEAN, ROVERS E FARQUHAR, 1995).

- **Alcalinidade**

Segundo METCALF & EDDY (2003) a alcalinidade em águas residuárias é resultado da presença de hidróxicos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO^{3-}) de elementos como cálcio, magnésio, sódio, potássio e amônia. Boratos, silicatos, fosfatos e ácidos fracos, com pK_a superiores a 4,3 também contribuem com a alcalinidade. CONTRERA (2008) afirma que no caso específico dos lixiviados de aterros sanitários, a alcalinidade total está intimamente ligada às concentrações de N-amoniacal, pois nos lixiviados a amônia aparece predominantemente na forma de bicarbonato de amônio.

POHLAND & HARPER (1985) estudaram o comportamento da alcalinidade através do levantamento de dados da sua variação e sugerem que se possa associar as fases do aterro de acordo com a medida de alcalinidade:

Transição: 200-2500 mg/L$CaCO_3$

Formação de ácidos: 140-9650 mg/L$CaCO_3$ (aumento esperado para formação de ácido volátil e dissolução de bicarbonato)

Fermentação metanogênica: 760-5050 mg/L$CaCO_3$ (diminuição esperada para remoção de ácido volátil)

Maturação final: 200-3520 mg/L$CaCO_3$

Variação total das fases: 140-9650 mg/L$CaCO_3$

- **Nitrogênio**

De acordo com METCALF & EDDY (2003) as principais fontes dos compostos de nitrogênio são os compostos nitrogenados de origem animal e vegetal, nitrato de sódio de depósitos minerais e nitrogênio atmosférico. As formas mais comuns e importantes de nitrogênio em águas residuárias e seus correspondentes estados de oxidação no meio ambiente são: amônia (NH_3, -III), amônio (NH_4^+, -IV), gás nitrogênio (N_2, 0), nitrito (NO_2^-, +III) e nitrato (NO_3^-, +V).

Em lixiviados de aterros sanitários a forma predominante de nitrogênio é o N-amoniacal, na forma de bicarbonato de amônio e N-amônia livre. O bicarbonato de amônio se forma no interior do aterro em meio anaeróbio quando a amônia formada pela decomposição da matéria orgânica é neutralizada pelo ácido carbônico formado pela reação entre a unidade do lixo e o dióxido de carbono também resultante da decomposição da matéria orgânica (CONTRERA, 2008).

Sendo o nitrogênio constituinte das proteínas, suas concentrações em lixiviados estão diretamente relacionadas aos percentuais de matéria orgânica presentes nos resíduos sólidos. Outras fontes menores são os fertilizantes, produtos de limpeza e para preservação da madeira (SOUTO, 2009).

O NTK pode ser usado como substituto bastante prático da concentração de nitrogênio total presente no lixiviado de um aterro sanitário. O nitrogênio total engloba, além do nitrogênio orgânico e do nitrogênio amoniacal (medidos como NTK), o nitrito, o nitrato e eventuais outras formas oxidadas. Entretanto, as formas oxidadas só ocorrem em concentrações muito baixas, graças ao ambiente anaeróbio do aterro. O aporte de nitritos e nitratos é mínimo, a não ser que seja feita recirculação de lixiviado após este ter passado por um processo efetivo de nitrificação. Perdas na fase gasosa só aconteceriam na forma de N_2, que é formado a partir de nitritos e nitratos (SOUTO, 2009).

- **Fósforo**

O fósforo é um elemento fundamental aos processos energéticos dos seres vivos, sendo o nutriente limitante no caso de tratamento de lixiviados devido a suas concentrações máximas não serem superiores a poucas dezenas de miligramas por litro (EHRIG, 1983).

Praticamente todo o fósforo encontrado em lixiviados está na forma de ortofosfatos. Eles provêm principalmente da matéria orgânica (SOUTO, 2009).

- **Metais**

Sempre existiu um mito de que lixiviados de aterros sanitários apresentavam sempre elevadas concentrações de metais dissolvidos. Em lixiviados com pH ácido, realmente podem ocorrer concentrações mais elevadas de alguns metais, mas nos lixiviados provenientes de aterros com mais de 2 anos de operação não se costuma observar valores baixos de pH, principalmente por já estarem na fase metanogênica e

por, geralmente, apresentarem elevadas concentrações de N-amoniacal, que faz com que o pH se eleve (CONTRERA, 2008).

A saída de metais no lixiviado depende do balanço entre os mecanismos que concorrem para a sua solubilização e os que agem para o seu aprisionamento no interior do maciço. Entre estes mecanismos estão reações de oxidação e redução, precipitação e dissolução, a formação de complexos com substâncias orgânicas e íons inorgânicos, metilação, adsorção e biosorção. Todos esses processos, porém, dependem das condições de equilíbrio químico do meio de reação (SANTOS[3] *apud* SOUTO, 2009).

Os metais encontrados no lixiviado não são necessariamente um sintoma de que há resíduos industriais sendo dispostos clandestinamente. Metais estão presentes em todos os materiais, inclusive nos próprios seres vivos. Os resíduos domésticos, ainda mais quando não separados de forma adequada na origem, podem ser uma fonte significativa de metais. Além disso, outra fonte importantíssima de metais, em especial o ferro, é o solo argiloso usado nas camadas de cobertura e nos sistemas de impermeabilização (SOUTO, 2009).

- **Sólidos**

A maior parte dos sólidos em lixiviados encontra-se na forma dissolvida. Elevadas concentrações de STF em lixiviados de aterros sanitários podem ser um indicativo de elevada salinidade, o que em concentrações muito elevadas pode até ter algum efeito inibitório para microrganismos, devido ao efeito osmótico. Por outro lado, elevadas concentrações de STV é um indicativo de elevadas concentrações de matéria orgânica (CONTRERA, 2008).

---

[3] SANTOS, A. F. M. S. (2003) **Caracterização, avaliação da biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia e tratamento em reator UASB do chorume do aterro Muribeca.** Recife, 2003. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

- **Condutividade**

Contribui para uma melhor compreensão das fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário. Varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas em um meio aquoso, com a temperatura, com a mobilidade e a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon (SCHALCH, 1992).

Estudos de POHLAND & HARPER (1985) sugerem que se possam associar as fases do aterro sanitário de acordo com a medida de condutividade:

Transição: 2450-3310 μmho/cm

Formação de ácidos: 1600-17100 μmho/cm (aumento esperado para mobilização de metais)

Fermentação metanogênica: 2900-7700 μmho/cm (diminuição esperada para complexação de metais com sulfetos)

Maturação final: 1400-4500 μmho/cm

Variação total das fases: 1400-17100 μmho/cm

3.3.2.1 BIODEGRADABILIDADE DO LIXIVIADO

A biodegradabilidade inerente (ou potencial) do lixiviado deve ser verificada sob condições ideais – microbiota adaptada, inibição do crescimento microbiano (por compostos tóxicos), falta de microrganismos, condições ambientais inadequadas, recalcitrância (resistentes à ação microbiana) (SOUTO, 2009).

- **Razão DBO/DQO**

A razão DBO/DQO muitas vezes é usada como um indicativo da biodegradabilidade do lixiviado. Isto, porém, é uma abordagem simplista. Quando o

valor desta razão é alto, significa que a maior parte da matéria oxidável pode sê-lo por ação microbiana. Ou seja, razões DBO/DQO altas são de fato sinônimos de elevada biodegradabilidade do efluente em questão. Por outro lado, uma razão DBO/DQO baixa não necessariamente significa que os compostos ali presentes são pouco biodegradáveis, mas apenas que os microrganismos que atuaram no ensaio não foram capazes de consumi-los. Dentro desse quadro, é importante que sejam feitas análises complementares quando um efluente apresenta baixas razões DBO/DQO (SOUTO, 2009).

A estabilização da taxa DBO/DQO depende da degradação do resíduo e não do processo de lixiviação (KJELDEN & CHRISTOPHERSEN, 2001).

- **Razão STV/ST**

Baixas razões STV/ST não são indicativas de dificuldade de biodegradação. Uma vez que a matéria orgânica corresponde exatamente aos sólidos voláteis, a biodegradabilidade corresponde à fração dos sólidos voláteis que é consumida, independentemente da concentração de sólidos fixos. Além disso, não há necessariamente relação direta entre sólidos voláteis, DQO e DBO. A DBO será alta se os sólidos voláteis forem facilmente biodegradáveis, mas será baixa se eles forem recalcitrantes. Se não houver substâncias inorgânicas que conferem DQO, como metais reduzidos e cloretos, o valor da DQO estará ligado quase que unicamente aos sólidos voláteis e sua remoção implicará na remoção quase total da DQO (SOUTO, 2009).

- **Razão SSV/SST**

Alguns autores usam a razão SSV/SST como estimativa do potencial de degradação biológica de um efluente. Esta idéia está baseada em um conceito advindo

dos sistemas de lodos ativados, em que os flocos (biológicos) são suficientemente grandes para entrar na categoria de sólidos suspensos, ao passo que o material a ser degradado está predominantemente na forma dissolvida. Nesse caso, a medida de sólidos suspensos voláteis serve como uma boa estimativa da biomassa presente no reator. Já quando se faz caracterização de um efluente isto não é adequado. Como (em tese) ele ainda não passou por nenhum processo ou operação de tratamento, ele pode conter matéria orgânica na forma suspensa que não corresponde à biomassa. Caso haja microrganismos, eles dificilmente estarão agregados em flocos ou grânulos, pois não tiveram condições para tal. Estarão, na prática, numa condição de crescimento disperso. Quando o crescimento é disperso, as bactérias não são quantificadas como sólidos suspensos. Para reter bactérias é preciso usar membranas de 0,22 μm. A membrana para sólidos suspensos deve ter poros com abertura inferior a 2 μm. Na prática se usa membranas com aberturas de 0,45 ou 1,2 μm, que permitem a passagem das bactérias. Assim sendo, não é correto estimar a biomassa presente no lixiviado com o uso da análise de sólidos suspensos (SOUTO, 2009).

- **Relação AVT/DQO**

A relação AVT/DQO talvez seja a melhor relação para representar a biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários. CONTRERA (2008) apresentou a relação entre biodegradabilidade obtida através de DQO e a relação a AVT/DQO do lixiviado do aterro de São Carlos, que resultou numa fiel distribuição dos pontos ao longo de uma reta, não deixando dúvidas de que além da relação AVT/DQO ser uma boa relação para estimar a biodegradabilidade, esta relação pode ser linear com a biodegradabilidade, o que é mais um ponto positivo do ponto de vista prático.

A relação AVT/DQO tem a vantagem de ser obtida em um período de tempo menor em relação a DBO/DQO e STV/ST. Enquanto a DBO/DQO demora cerca de 5 dias e a STV/ST 26 horas para ser concluída, a AVT/DQO pode ser obtida em 3 horas (CONTRERA, 2008).

3.3.3 TAXA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO E FATORES INFLUENTES

3.3.3.1 DINÂMICA DA ÁGUA NO ATERRO SANITÁRIO

A água tem papel fundamental, já que é a responsável pela integração dos fenômenos que acontecem no aterro, seja transportando materiais de um ponto a outro ou promovendo reações químicas. Por isso, tanto a quantidade de água disponível quanto as características do seu escoamento (retornando ou não ao topo do aterro pelo sistema de recirculação) são determinantes para o desempenho da degradação dos resíduos sólidos.

A água no aterro tem origem tanto externa quanto interna. As fontes externas de água correspondem à infiltração das águas de chuva, do escoamento superficial e mesmo das águas subterrâneas. As fontes internas são a umidade natural dos resíduos e água resultante do processo de decomposição (CHEN E BOWERMAN , 1974).

Em um aterro sanitário a precipitação é o fator mais importante ao se considerar as entradas de água. As saídas são evaporação, escoamento superficial e escoamento de lixiviado. Parte da infiltração é armazenada no aterro – e o restante escoa na forma de lixiviado (EHRIG, 1983).

A precipitação infiltra-se pela camada de superfície do local da disposição. A porção que se infiltra na superfície, satisfaz às necessidades de retenção da água, a serem empregadas na evaporação do solo e transpiração da planta, e o excesso, filtra-se

através das camadas inferiores de resíduo sólido, representando a infiltração propriamente dita (SCHALCH, 1984).

Os resíduos sólidos, inicialmente, agem como uma esponja e simplesmente absorvem a água. Entretanto, o material atinge um teor de umidade, conhecido como capacidade de campo (L ld capacity), onde qualquer acréscimo de água adicional, resulta na percolação de igual quantidade de massa. Alguma percolação poderá formar-se, antes que a capacidade de retenção tenha sido atingida, porque o lixo, não sendo homogêneo, apresenta canais, e alguns dos resíduos, também não absorvem a água prontamente (SCHALCH, 1984).

A água carrega consigo oxigênio dissolvido. Isso faz com que em períodos de precipitação intensa a concentração de microrganismos aeróbios aumente. Com isso, a decomposição aeróbia da matéria orgânica se intensifica. Essas alterações nas populações de microrganismos podem interferir na velocidade de degradação dos resíduos. Entretanto, não são suficientes para eliminar a predominância dos processos anaeróbios nas células de aterramento (MONTEIRO, JUCÁ E RÊGO, 2001).

Em períodos chuvosos se verifica uma diminuição das concentrações das diversas variáveis físico-químicas do lixiviado. Isso é causado essencialmente pela simples diluição causada pelos maiores volumes de água infiltrada. Cabe ressaltar que essa diluição não é função direta da precipitação. O aterro, como qualquer sistema natural, converte precipitação em vazão de tal maneira que o hidrograma é amortecido em relação ao hietograma. (MONTEIRO, JUCÁ E RÊGO, 2001). A Figura 3.3.3.1.1 ilustra a dinâmica da água em um aterro sanitário.

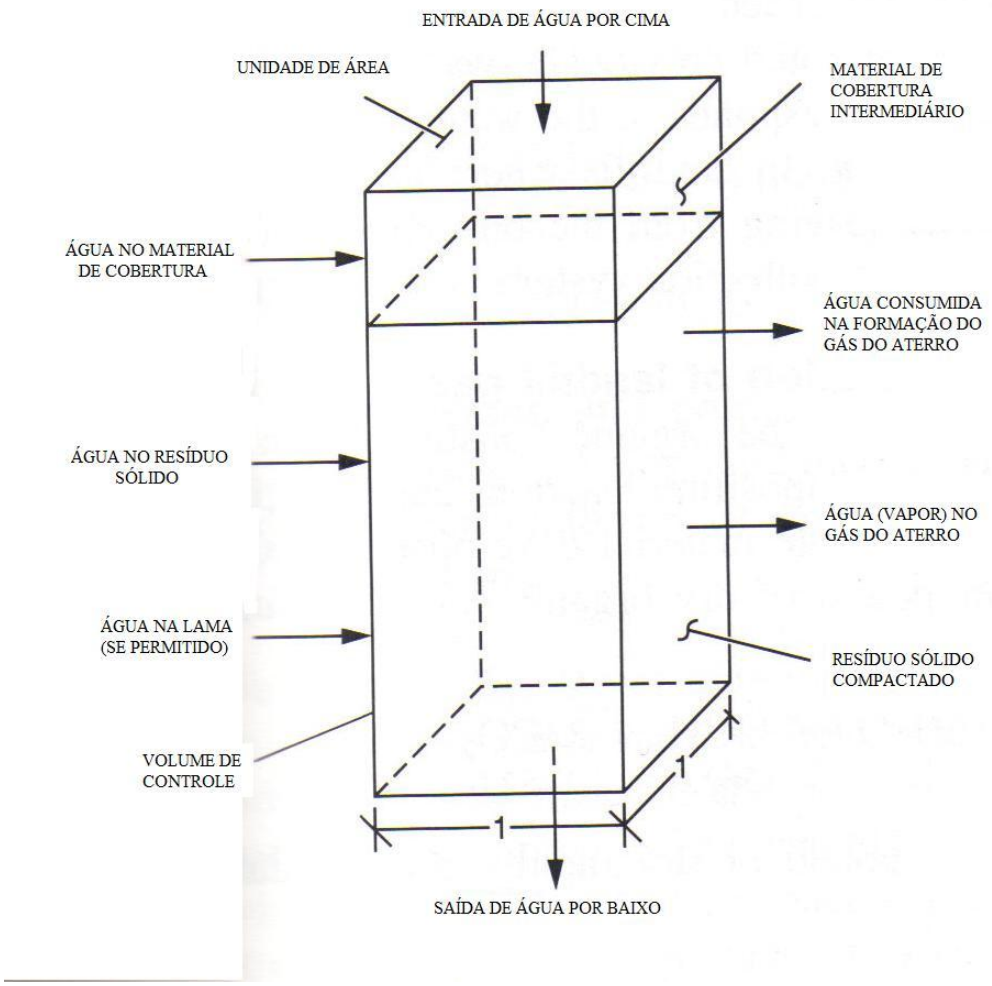


FIGURA 3.3.3.1.1: Dinâmica de água na formação de lixiviado em um aterro

Fonte: TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL (1993)

3.3.3.2 TAXA DE GERAÇÃO

Segundo IPT/CEMPRE (2000), durante a vida ativa de um aterro sanitário, a geração do lixiviado é influenciada por uma série de fatores, dos quais podemos ressaltar três grupos principais:

- Fatores climatológicos e correlatos:

- regime de chuvas e precipitação pluviométrica anual;

- escoamento superficial;

- infiltração;

- evapotranspiração e temperatura.

➢ Fatores relativos ao resíduo sólido:

- composição;

- densidade;

- teor de umidade inicial.

➢ Fatores relativos ao tipo de disposição:

- características de permeabilidade do aterro;

- idade do aterro;

- profundidade do aterro.

O volume de percolado que será produzido em um aterro sanitário depende da precipitação sobre a área do aterro, do escoamento superficial, da infiltração subterrânea, da umidade natural dos resíduos, do grau de compactação e da capacidade do solo em reter umidade. Na prática observa-se que a determinação “in loco” ou mesmo a estimativa segura de certos parâmetros, como grau de compactação, capacidade de retenção de umidade do material de cobertura e grau de umidade dos resíduos após seu aterramento, é difícil e imprecisa já que dependem fundamentalmente da forma de operação de cada aterro (CASTRO, 2001).

A produção de lixiviado em um aterro sanitário pode ou não ocorrer imediatamente após a disposição do resíduo. No caso de resíduos muito úmidos ou saturados de água a produção de lixiviado pode ocorrer imediatamente.

Um método simples para determinar a geração do lixiviado é adotado na Suíça. Segundo LIMA (1995), este método aplica coeficientes empíricos, que dependem do grau de compactação do lixo ou de seu peso específico:

➢ Para aterros pouco compactados, com o resíduo aterrado apresentando um peso específico entre 4kN/m^3 (0,4tf/m^3) e 7kN/m^3 (0,7tf/m^3), espera-se que 25 a 50%

da precipitação média anual que incide sobre a área do aterro transforme-se em lixiviado;

- Para aterros mais compactados, com peso específico maior que 7kN/m^3 (0,7tf/m^3), espera-se que 15 a 25% da precipitação média anual que incide sobre a área do aterro transforme-se em lixiviado.

EHRIG (1988) reporta produções de lixiviados na faixa de 15 a 20% das precipitações registradas em diferentes aterros em diferentes épocas do ano.

3.3.4 CONTAMINANTES DO LIXIVIADO

Lixiviado de aterro sanitário é uma complexa mistura de poluentes; por isso é difícil mensurar o risco potencial de poluição aquática usando apenas técnicas comuns de identificação de poluentes. Ele é formado pela percolação de água de chuva no aterro. Enquanto a água passa por um aterro, compostos dissolvidos e sólidos suspensos são incorporados ao lixiviado. Muitos desses elementos são tóxicos aos organismos. A toxicidade de um lixiviado é produto do tipo de resíduo aterrado, o tipo de operação do aterro e do estágio de degradação da matéria orgânica dentro do aterro (THOMAS *et L.*, 2009).

Amônia e alcalinidade são as fontes mais prováveis de contribuição de toxicidade do lixiviado. A toxicidade causada por esses fatores pode mascarar os efeitos tóxicos de xenobióticos (KJELDSEN *et L.*, 2002). THOMAS *et L.*(2009) confirmaram esta afirmação e acrescentaram que metais pesados e compostos recalcitrantes são a causa de respostas adversas em testes com microrganismos.

As concentrações de poluentes nos lixiviados geralmente decrescem com o passar da idade do aterro sanitário. Entretanto, a concentração de amônia não decai na

mesma proporção, constituindo o maior poluente no lixiviado (KJELDEN & CHRISTOPHERSEN, 2001).

As rotas de destino de diferentes compostos químicos não são somente governadas por propriedades da matéria orgânica, mas também pelas características do aterro. Sugere-se que a emissão de lixiviado e gás são rotas de destino desses compostos. Os compostos orgânicos também podem ser transportados para fora do aterro por difusão de gás através da cobertura do solo superficial do aterro (KJELDEN & CHRISTENSEN, 2001).

Estudos envolvendo lixiviados e sedimentos de aqüífero contaminado com lixiviado mostraram que não há degradação de hidrocarbonetos sob condições metanogênicas. Alguns compostos químicos como alcanos, cloreto de vinilo, diclorometano e freon-12 são emitidos juntamente com o gás do aterro por vários anos depois da disposição, enquanto outros compostos químicos como fenóis e clorobenzenos serão liberados no lixiviado. Compostos químicos com baixa solubilidade e baixa pressão de vapor, como o naftaleno podem permanecer no aterro por décadas (KJELDEN & CHRISTENSEN, 2001).

Metais pesados presentes no lixiviado também são preocupantes devido à alta toxicidade. Eles estão geralmente presentes em baixas concentrações em lixiviados de aterros sanitários, porém podem possivelmente constituir um problema ambiental se o lixiviado atingir a água superficial ou subterrânea (BAUN & CHRISTENSEN, 2004).

De acordo com as Resoluções CONAMA 357/05 e 397/08, os limites máximos permitidos de metais para lançamento de efluentes em corpos d´água estão na Tabela 3.3.4.1 e a Tabela 3.3.4.2 apresenta alguns metais pesados e suas respectivas concentrações observadas em lixiviados de aterros sanitários.

TABELA 3.3.4.1: Limites máximos permitidos de concentração de metais para lançamento em corpos d´água

Metais pesados	**Valor máximo (mg/L)**
Arsênio	0,5
Bário	5,0
Boro	5,0
Cádmio	0,2
Chumbo	0,5
Cianeto	1,0
Cromo trivalente	1,0
Cromo hexavalente	0,1
Cobre	1,0
Ferro	15,0
Manganês	1,0
Mercúrio	0,01
Níquel	2,0
Prata	0,1
Zinco	5,0

Fonte: CONAMA 357/05 e CONAMA 397/08

TABELA 3.3.4.2: Concentrações de metais pesados em lixiviados

Metais pesados	**Concentração (mg/L)**
Arsênio	0,01 - 1
Cádmio	0,0001 - 0,4
Cromo	0,02 - 1,5
Cobalto	0,005 - 1,5
Cobre	0,005 - 10
Chumbo	0,001 - 5
Mercúrio	0,00005 - 0,16
Níquel	0,015 - 13
Zinco	0,03 - 1000

Fonte: KJELDSEN *et al.*, 2002

A atenuação de metais pesados durante a fase metanogênica do aterro é devido ao seqüestro da maioria das espécies solúveis de metais. Eles estão geralmente quelados à substâncias húmicas e ácidos fúlvicos, mais esta quelação pode ser alterada por mudanças no pH (THOMAS *et al.*, 2009).

O balanço de metais pesados em aterros tem mostrado que menos de 0,02% dos metais recebidos nos aterros são lixiviados do aterro após 30 anos. Acredita-se que sorção e precipitação são mecanismos significantes na imobilização do metal (KJELDSEN *et al.*, 2002).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO DE SÃO CARLOS

O aterro sanitário do município de São Carlos está localizado a noroeste da área urbana, na Fazenda Guaporé, distante 15 km do centro da cidade. O acesso dá-se pela SP-310, Rodovia Washington Luiz, km 243, e por uma estrada de terra vicinal. A área total do aterro é 10,63 hectares. A Figura 4.1.1 é uma foto aérea do aterro e data de julho de 2009.

FIGURA 4.1.1: Foto aérea do aterro de São Carlos

Fonte: VEGA Engenharia Ambiental S.A.

De acordo com PMSC (2007), o aterro sanitário foi projetado para receber os resíduos sólidos de origem domiciliar coletados pelos serviços de coleta regular do município. Resíduos de origem industrial ou comercial que apresentam potencial

periculosidade não são recebidos para disposição final no aterro sanitário. Resíduos de origem comercial podem ser recebidos até o volume de 100L, de construção civil até o volume de 50L e alguns resíduos especiais como animais mortos de pequeno porte e restos de móveis e colchões e ainda resíduos provenientes de serviços de varrição, poda e capina. São dispostos em média 6000m^3 mensais, cerca de 145ton/dia, na operação do aterro.

No entorno do empreendimento verifica-se ocupação por plantação de cana-de-açúcar e pastagens. Nas proximidades do empreendimento encontram-se dois cursos d'água com pequena vazão: o Córrego Galdino (500 m de distância) e da Fazenda, ambos afluentes do rio Chibarro, o qual é afluente do rio Jacaré-Guaçu.

No local, existe uma infraestrutura, composta basicamente por:

- portaria com guarita e sanitário;
- água potável encanada; não há poço, o SAAE transporta a água em caminhão pipa e abastece a caixa d'água que tem capacidade de 5.000 L;
- energia elétrica na portaria e na edificação próxima às lagoas de chorume;
- balança rodoviária para pesagem de caminhões, junto à portaria;
- cerca em todo o perímetro do aterro;
- via de acesso externo em bom estado de conservação;
- vias internas de serviço;
- sistema de drenagem de águas pluviais;
- sistema de contenção de percolados;
- coletores de gás com queimador na extremidade;
- três lagoas para armazenamento de líquidos percolados.;
- fossa séptica para tratamento dos efluentes sanitários; à medida que há necessidade a fossa é esgotada.

Ainda de acordo com a PMSC (2007), o aterro foi inaugurado em junho de 1989 e desde 1995 é operado por uma empresa. Em 1997, a primeira célula teve sua capacidade de recebimento de resíduos esgotada, ampliando-se o aterro com a construção de uma área emergencial junto à primeira célula. Esta primeira área do aterro foi denominada "aterro antigo" para os fins desta pesquisa. Em 2002, iniciaram-se as atividades de outra célula devido ao esgotamento da célula anterior. Esta área foi denominada "1ª ampliação". As primeiras células construídas receberam como impermeabilização apenas uma camada de argila em sua base e taludes. Em 2004 começou a ser operada uma nova área, chamada de "2ª ampliação". Por fim, em 2005, houve nova ampliação no aterro mediante a assinatura do Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) junto a CETESB e ao Ministério Público. A nova célula foi impermeabilizada com manta de polietileno de alta densidade (PEAD) de 2,0mm de espessura.

Em 2008 deram-se início as obras da terceira ampliação do aterro. Esta será a última célula, com previsão de vida útil de 25 meses. Após o esgotamento desta célula o aterro será encerrado. Em todas as ampliações foi construído um "colchão drenante", ou seja, uma camada de brita de cerca de 30 cm foi disposta no fundo de cada ampliação. A Figura 4.1.2 exemplifica essas áreas do aterro.

Ao final das atividades do aterro será executada uma camada final de cobertura, com espessura mínima de 60 cm para maior proteção do maciço do aterro, seguido do plantio de gramíneas. Para o monitoramento geotécnico serão observados marcos a serem implantados, placas de recalque e inclinômetros. Durante a operação e após a desativação do aterro é previsto o monitoramento das águas superficiais e subterrâneas, realizando-se para tanto, coletas a montante e a jusante do corpo receptor para análises de parâmetros físico-químicos. O lixiviado também será avaliado.

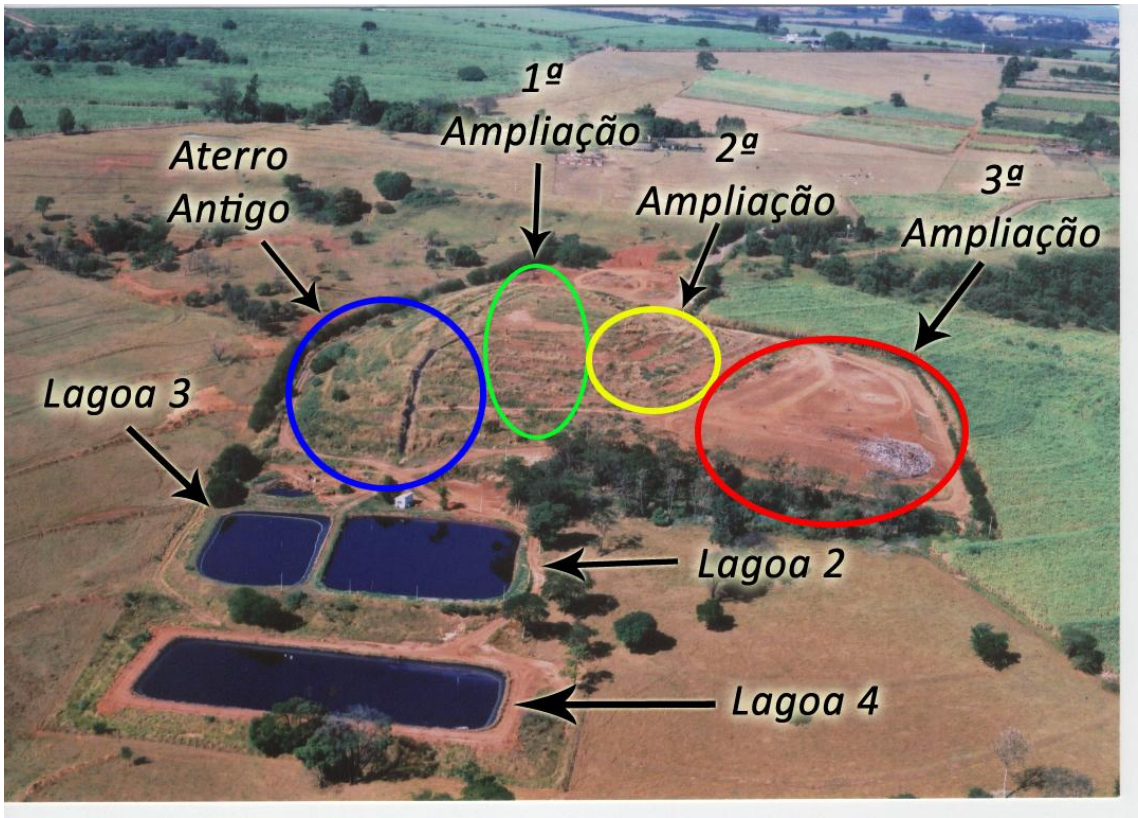


FIGURA 4.1.2: Áreas do aterro sanitário de São Carlos

4.2 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras de lixiviado foram coletadas no aterro sanitário de São Carlos. A Figura 4.2.1 apresenta um esquema das instalações do aterro sanitário em 2009.

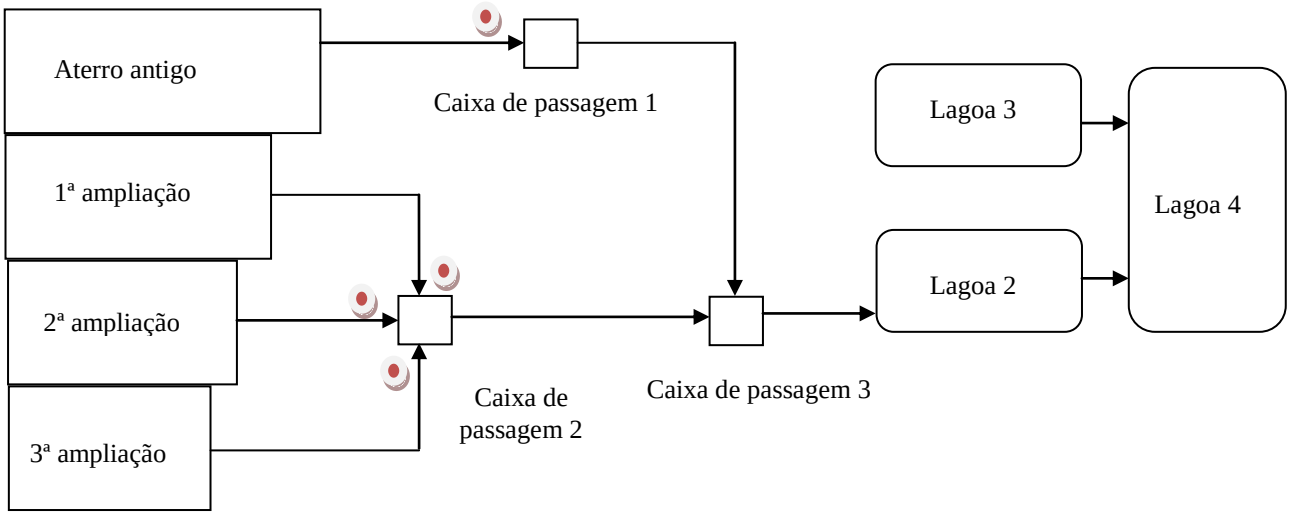


FIGURA 4.2.1: Instalações do aterro sanitário de São Carlos em 2009

Como já mencionado durante a caracterização do aterro (item 4.1), a terceira ampliação ainda está em operação, com previsão de encerramento das atividades em outubro de 2010. As amostras foram coletadas em vários pontos do aterro.

Na caixa de passagem 2 foram amostrados os lixiviados das 1ª, 2ª e 3ª ampliações, já que estes chegam à caixa por canalizações separadas. Esta caixa é ilustrada na Figura 4.2.2.

FIGURA 4.2.2: Caixa de passagem 2

Na caixa de passagem 1 foi coletado o lixiviado do aterro antigo. A Figura 4.2.3 exemplifica o lixiviado sendo coletado.

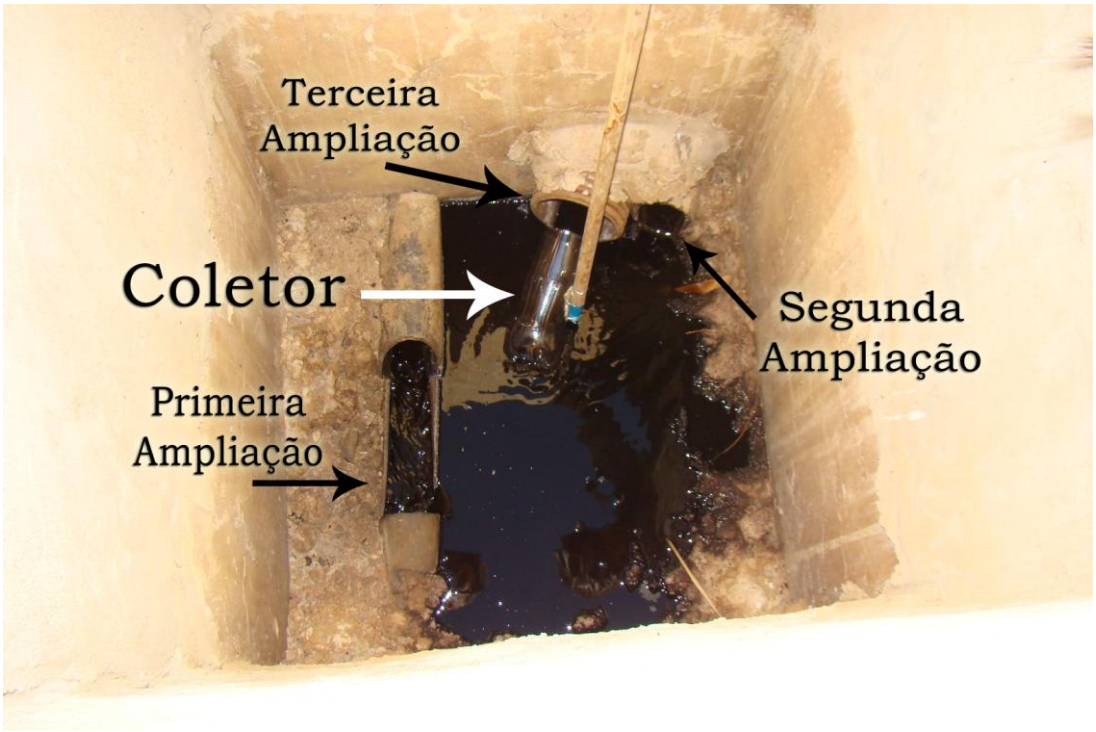


FIGURA 4.2.3: Lixiviado sendo coletado no aterro

O coletor foi concebido utilizando-se um cabo de vassoura com extensor. Isto foi necessário devido às grandes profundidades das canalizações dentro das caixas de passagem. A Figura 4.2.4 ilustra o coletor.

FIGURA 4.2.4: Coletor utilizado durante as coletas

As amostras foram pontuais e simples. Em cada ponto foi coletado cerca de 1L do lixiviado. Todas as amostras foram identificadas e armazenadas em recipiente isolante térmico até a chegada ao laboratório.

Não existem protocolos para amostragem, filtração e armazenamento de amostras de lixiviados (KJELDSEN *et. al.*, 2002). Sendo assim, empregaram-se as recomendações para conservação de amostras aplicadas ao esgoto sanitário. Neste caso, a refrigeração foi suficiente, pois todas as análises eram realizadas em um prazo de 48 horas. Sabe-se por outros estudos e pela prática que o lixiviado não é tão facilmente degradado como o esgoto sanitário.

4.3 ETAPAS DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em 2 etapas:

Na **1ª etapa** foram coletadas amostras durante 11 semanas, uma vez por semana, totalizando 11 amostragens. Esta etapa foi realizada entre junho e setembro de 2009, período de seca e com menor vazão de lixiviado, devido a pouca precipitação.

Durante a 2ª **etapa** amostrou-se lixiviado entre o fim de outubro até dezembro de 2009, período caracterizado pelo aumento da precipitação e conseqüente aumento da vazão de lixiviado.

O Quadro 4.3.1 apresenta os dias de coleta e quais pontos foram amostrados. Havia previsão de coleta no dia 08/12/09, mas devido às chuvas ficou impossível o acesso ao aterro.

QUADRO 4.3.1: Dias de coleta e pontos amostrados

	Data	**1ª ampliação**	**2ª ampliação**	**3ª ampliação**	**Aterro Antigo**
PERÍODO SECO	03.06.09	x	x	x	
	17.06.09	x	x	x	
	25.06.09	x	x	x	x
	01.07.09	x	x	x	x
	07.07.09	x	x	x	x
	14.07.09	x	x	x	x
	04.08.09	x	x	x	x
	11.08.09	x	x	x	x
	18.08.09	x	x	x	x
	24.08.09	x	x	x	x
	01.09.09	x	x	x	x
	Data	**1ª ampliação**	**2ª ampliação**	**3ª ampliação**	**Aterro Antigo**
PERÍODO CHUVA	27.10.09	x	x	x	x
	10.11.09	x	x	x	x
	17.11.09	x	x	x	x
	24.11.09	x	x	x	x
	01.12.09	x	x	x	x

Não foram realizadas coletas entre setembro e o meio do mês de outubro porque se esperou que as chuvas começassem.

4.4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS REALIZADAS

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da USP em São Carlos.

Com exceção dos ácidos voláteis, que foi determinado pela metodologia de DILALLO & ALBERTSON (1961), todas as demais análises foram feitas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WPCF (2005).

A Tabela 4.4.1 apresenta as variáveis consideradas na execução da parte experimental. A descrição dos métodos e de suas adaptações e modificações, para se adaptarem aos lixiviados são apresentadas no anexo A.

Na 2ª etapa o destilador de nitrogênio quebrou e não foi possível dar continuidade aos exames de NTK e N amoniacal.

TABELA 4.4.1: Variáveis analisadas e métodos de análise do lixiviado

Variável	**Método**
pH	Potenciometria
Alcalinidade total	Titulometria
Ácidos voláteis totais	Titulometria
DQO total	Digestão e espectrofotometria
Sólidos (série completa)	Filtração e gravimetria
Metais (Zn, Pb, Cd, Ni, Fe, Mn, Cu, Cr, Na e K)	Absorção atômica e fotômetro de chama
N amoniacal	Destilação e titulometria
NTK	Digestão, destilação e titulometria

4.5 OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE O ATERRO SANITÁRIO E DADOS PLUVIOMÉTRICOS

As informações sobre o aterro sanitário foram obtidas junto à Prefeitura Municipal de São Carlos através do Sr. Douglas Minamisako e da VEGA Engenharia Ambiental S.A. pelo Sr. Fábio Andrade.

Um breve histórico das operações do aterro é apresentado na Tabela 4.5.1.

TABELA 4.5.1: Histórico das operações do aterro

Ano	**Informações**
1988	Confecção de EIA/RIMA
Junho 1995 a 2000	Obra inicial, construção da lagoa 1
Julho 2003	1ª Ampliação
Julho 2005	2ª Ampliação
Outubro 2008	3ª Ampliação

A Tabela 4.5.2 mostra a quantidade de resíduos aterrada durante os anos. Durante o ano de 1996 nem tudo que foi coletado chegou a ser disposto no aterro. Em todos os outros anos, exceto 1997 e 1998, a quantidade de resíduo aterrada foi maior que a quantidade coletada. Isto se deve ao fato de que o aterro também recebe resíduos de particulares.

O levantamento do histórico de operações do aterro bem como da quantidade de resíduos aterrada ano a ano serviu para confirmar que o volume de resíduos dispostos no aterro tem aumentado ao longo do tempo, porém este aumento é discreto. Considera-se para todas as ampliações que o tipo de resíduo aterrado foi o mesmo e a forma de operação da área também.

TABELA 4.5.2: Quantidade de resíduos aterrada durante os anos

Ano	Total Anual Coletado (kg)	Média Mensal Coletada (kg)	Total Anual Disposto no Aterro (kg)	Média Mensal Aterrada (kg)	Área de operação
1995			22423,26	3203,32	
1996	41744,53	3478,71	20962,23	3493,71	
1997	45064,04	3755,34	45064,04	3755,34	
1998	45794,13	3816,18	45794,13	3816,18	ATERRO
1999	46826,23	3902,19	55578,14	4631,51	ANTIGO
2000	48423,79	4035,32	57478,23	4789,85	
2001	49210,39	4100,87	57954,02	4829,50	
2002	50118,10	4176,51	56291,08	4330,08	
2003	46218,69	3851,56	51987,27	3999,02	1ª AMPLIAÇÃO
2004	47818,10	3984,84	52965,23	4074,25	
2005	49280,12	4106,68	53899,85	4146,14	2ª
2006	52389,18	4365,77	55782,57	4290,97	AMPLIAÇÃO
2007*	34944,73	4368,09	50508,26	4591,66	
2008*	18714,51	4678,63	22270,82	4454,16	3ª
2009**	46410,96	4641,10	52539,27	5253,93	AMPLIAÇÃO

* De setembro de 2007 à agosto de 2008, o aterro sanitário não recebeu resíduos, sendo utilizado somente como estação de transbordo. O resíduo era encaminhado para o aterro sanitário de Guatapará.
** Até outubro de 2009

Os dados pluviométricos foram obtidos na Estação Pluviométrica da Embrapa Pecuária Sudeste na Fazenda Canchim em São Carlos. A localização da estação pluviométrica em relação ao aterro sanitário é apresentada na Figura 4.5.1.

FIGURA 4.5.1: Localização da estação pluviométrica em relação ao aterro sanitário

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

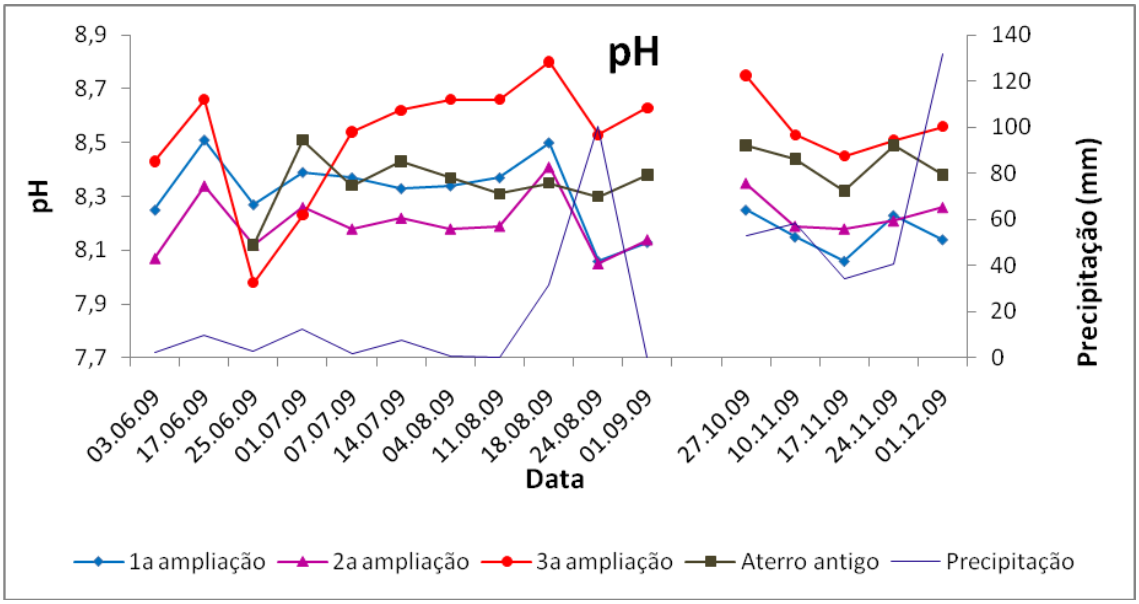
Como descrito no capítulo 4, foram amostrados os lixiviados durante o período de seca e o período chuvoso.

Em todos os gráficos é possível visualizar as concentrações dos parâmetros e a precipitação acumulada durante a semana anterior ao dia da coleta, ou seja, na coleta do dia 25.06.09 a precipitação plotada é referente à precipitação acumulada no período de 18.06.09 à 25.06.09 e assim por diante. Optou-se por proceder assim porque a precipitação que atinge o aterro não tem um efeito somente momentâneo, perdurando durante certo período.

A discussão dos resultados foi feita considerando-se a influência da precipitação e o tempo de disposição dos resíduos. Em todas as figuras é possível visualizar as médias obtidas para cada ponto, sendo o número entre parênteses os respectivos desvios padrões.

5.1 pH

O comportamento do pH é apresentado na Figura 5.1.1.



Média	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	8,32 (0,14)	8,20 (0,11)	8,52 (0,23)	8,35 (0,11)
Chuvoso	8,17 (0,08)	8,24 (0,07)	8,56 (0,11)	8,42 (0,07)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.1.1: Comportamento do pH

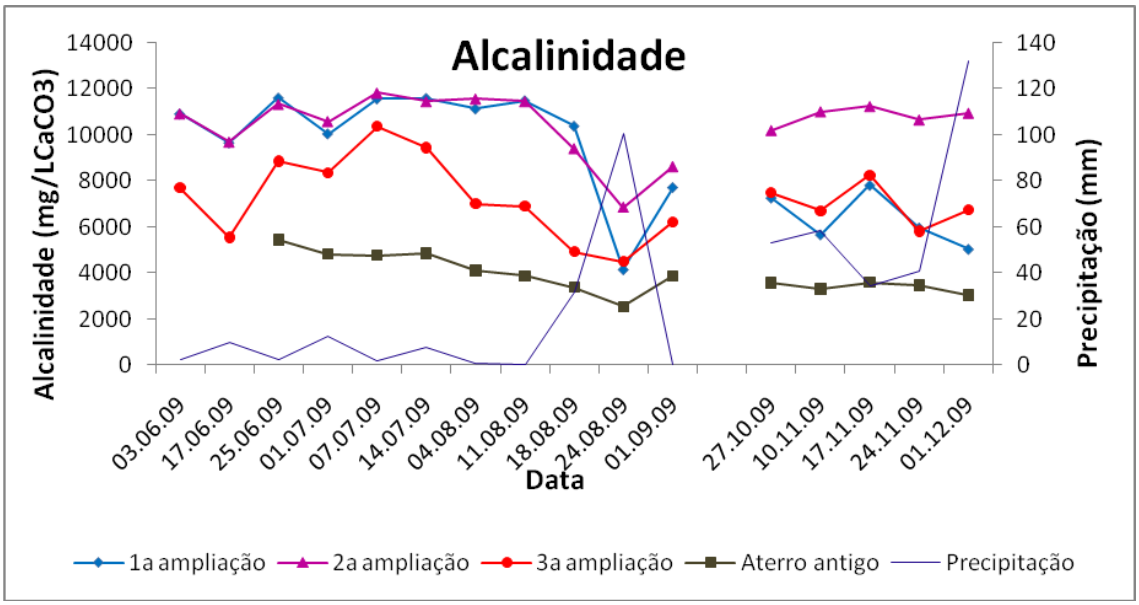
Em todos os pontos de amostragem o pH variou entre 8 e 9. Valores de pH acima de 8 são característicos de lixiviados em estágio avançado de degradação da matéria orgânica. É interessante ressaltar que o pH da 3ª ampliação, apesar desta célula ainda receber resíduos, apresentou comportamento semelhante aos dos outros pontos de coleta.

A precipitação acumulada na semana anterior a coleta do dia 24.08.09 interferiu somente nos valores de pH medidos nas ampliações. Estes pontos apresentaram diminuição no valor do pH enquanto o aterro antigo não teve seu pH alterado pela precipitação, talvez por se tratar da parte mais estabilizada do aterro, em termos de decomposição da matéria orgânica.

No período chuvoso, os valores de pH encontrados foram todos superiores a 8. Este valor alto de pH pode ser justificado pela presença do bicarbonato de amônio, substância com caráter altamente alcalino. Nem mesmo a alta precipitação acumulada na semana da coleta do dia 01.12.09 provocou variação significativa nos pontos amostrados.

5.2 ALCALINIDADE

Os resultados da alcalinidade são apresentados na Figura 5.2.1.



Média (mg/LCaCO3)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	10021 (2268)	10328 (1552)	7250 (1887)	4180 (886)
Chuvoso	6350 (1152)	10802 (404)	6997 (916)	3394 (227)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.2.1: Comportamento da alcalinidade

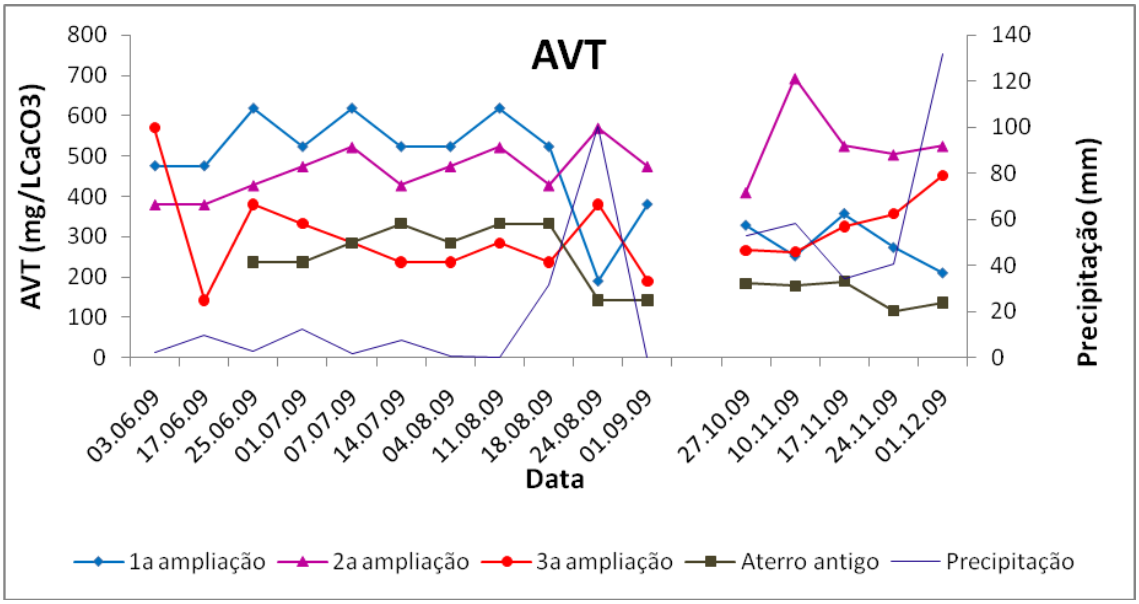
Valores maiores de alcalinidade são esperados em lixiviados de aterros jovens. No período seco as 1ª e 2ª ampliações apresentaram valores médios de alcalinidade

muito próximos (10021 mg/L$CaCO_3$ e 10328 mg/L$CaCO_3$ respectivamente), enquanto a 3ª ampliação resultou em um valor um pouco menor (7250 mg/L $CaCO_3$). Novamente, pode-se observar que na data 24/08/09 os valores de alcalinidade apresentaram um decréscimo nas ampliações, provavelmente devido a alta precipitação acumulada na semana anterior.

Através da figura é possível verificar que no período chuvoso a curva de alcalinidade do aterro antigo manteve-se com comportamento semelhante ao apresentado no período seco. A 2ª ampliação apontou os maiores valores de alcalinidade enquanto a 1ª ampliação foi o ponto que apresentou o decréscimo mais acentuado nos valores de alcalinidade. A precipitação provavelmente contribuiu na diluição do lixiviado.

5.3 ÁCIDOS VOLÁTEIS TOTAIS – AVT

A Figura 5.3.1 traz os resultados encontrados para ácidos voláteis totais.



Média (mg/LCaCO3)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	497 (125)	462 (60)	298 (117)	259 (76)
Chuvoso	284 (59)	531 (102)	333 (78)	161 (33)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.3.1: Comportamento do AVT

A baixa quantidade de AVT encontrada nos lixiviados está intimamente ligada aos altos valores de pH. Quando a concentração de AVT é menor, o pH eleva-se e o sistema dióxido de carbono – bicarbonato torna-se predominante. Ao se relacionar os resultados de pH e AVT conclui-se que as células do aterro de São Carlos já se encontram na fase de fermentação metanogênica, onde o pH retorna à condição de tampão, controlado pelos ácidos voláteis.

No período seco, na data da maior precipitação registrada no período, a concentração de AVT na 2ª e 3ª ampliações aumentou, sugerindo que nestas células ainda há material há ser lixiviado.

Assim como no período seco, os valores encontrados no período chuvoso para AVT foram baixos. Como já dito na análise de AVT no período seco, CONTRERA

(2008) sugere que estes resultados não representam necessariamente a presença de AVT no lixiviado. Estes valores podem, simplesmente, se tratar de interferência de substâncias com caráter ácido (ácido húmico, fúlvico). Seria necessária uma investigação mais profunda, através de análise de AVT na cromatografia gasosa, que comprovaria ou não a real presença destas substâncias no lixiviado.

Durante seu trabalho de doutorado CONTRERA (2008) estudou a adaptação do método de DILALLO & ALBERTSON (1961) para o caso específico de lixiviado. A equação sugerida no trabalho tenta minimizar a interferência de substâncias de caráter ácido (ácidos húmicos, fúlvicos, fosfórico e outros) na análise de AVT.

$$AVT_{corrigido} = 1{,}8542.AVT - 427 \quad (5.3.1)$$

A Tabela 5.3.1 apresenta os valores corrigidos de AVT para o período seco.

TABELA 5.3.1: Valores corrigidos de AVT no período seco

Data	**1ª ampliação**	**2ª ampliação**	**3ª ampliação**	**Aterro Antigo**
03.06.09	454	278	630	
17.06.09	454	278	0	
25.06.09	718	366	278	13
01.07.09	542	454	190	13
07.07.09	718	542	101	101
14.07.09	542	366	13	190
04.08.09	542	454	13	101
11.08.09	718	542	101	190
18.08.09	542	366	13	190
24.08.09	0	630	278	0
01.09.09	278	454	0	0
MÉDIA	**494**	**430**	**125**	**53**

Para as 1ª e 2ª ampliações esta correção não alterou significantemente a média obtida. Esta correção sugerida por CONTRERA (2008) tem como finalidade mostrar que os valores de AVT encontrados no lixiviado não representam somente a presença destes ácidos, e sim a presença de várias substâncias de caráter ácido, pois o método não faz diferenciações. Sendo assim, como não houve mudanças significativas entre as médias obtidas e corrigidas, concluiu-se que não se trata da presença de AVT e sim da presença de substâncias de caráter ácido.

A Tabela 5.3.2 apresenta os valores corrigidos de AVT para o período chuvoso.

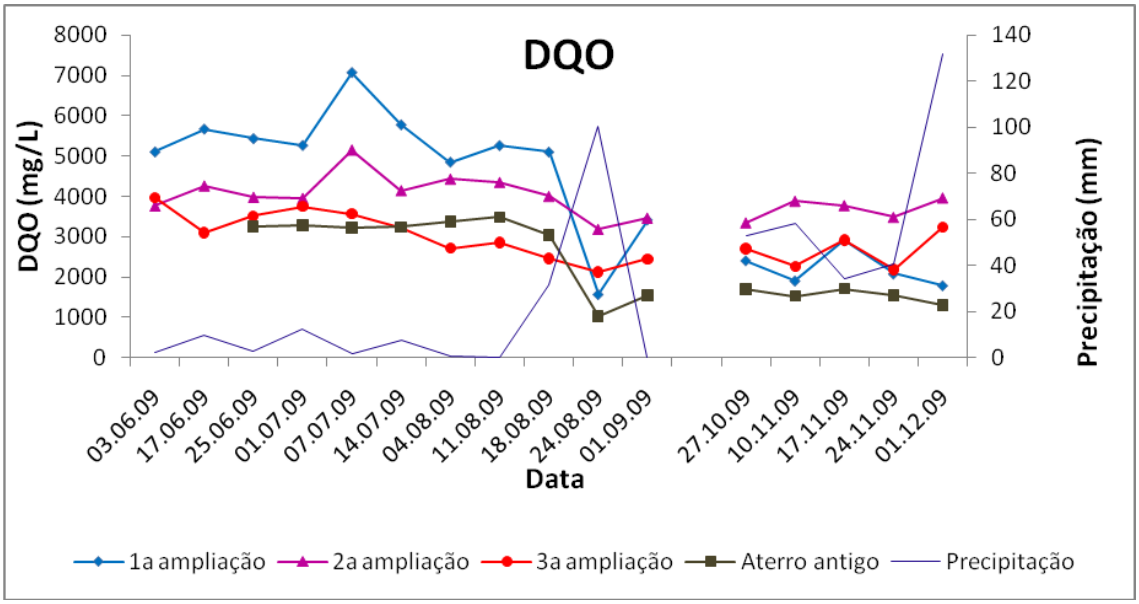
TABELA 5.3.2: Valores corrigidos de AVT no período chuvoso

Data	**1ª ampliação**	**2ª ampliação**	**3ª ampliação**	**Aterro Antigo**
27.10.09	184	337	70	0
10.11.09	43	865	62	0
17.11.09	239	552	180	0
24.11.09	82	513	239	0
01.12.09	0	552	416	0
MÉDIA	**102**	**564**	**193**	**0**

Esta correção também não afetou a média da 2ª ampliação. Nos demais pontos, a correção pela equação diminuiu o valor médio da concentração de AVT, sendo que no aterro antigo a concentração foi sempre zero. Mais uma vez, não se trata da presença de ácidos voláteis e sim de substâncias com caráter ácido.

5.4 DQO

A Figura 5.4.1 apresenta os valores de DQO.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	4957 (1410)	4067 (519)	3069 (598)	2832 (891)
Chuvoso	2221 (448)	3694 (265)	2665 (443)	1560 (166)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.4.1: Comportamento da DQO

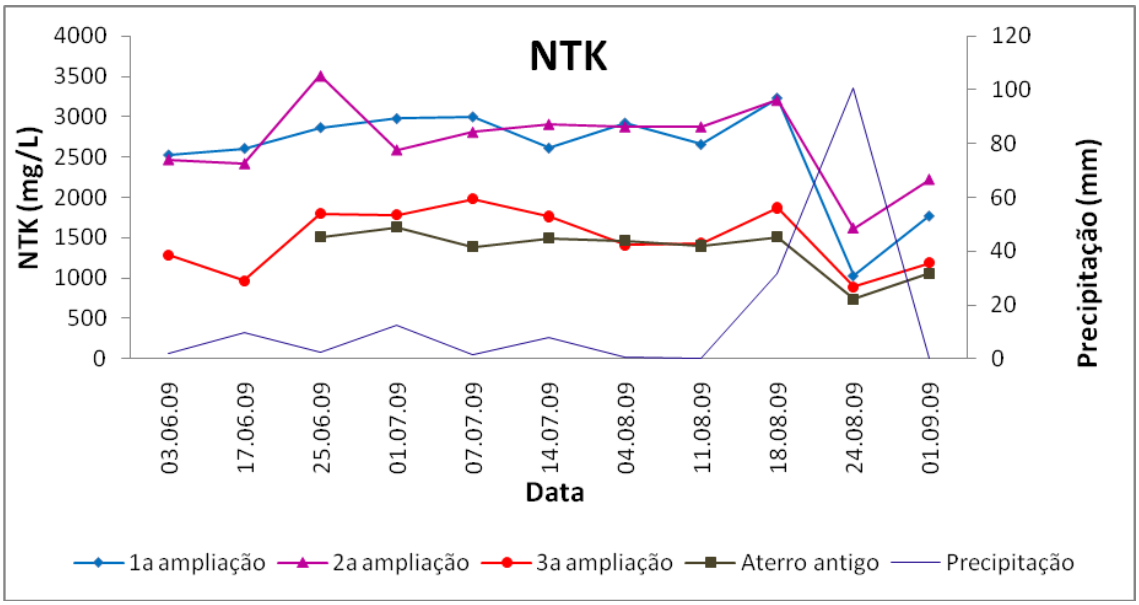
As tabelas de composição de lixiviados mostradas no item 3.3.2 da revisão bibliográfica, apresentam faixas de valores muito amplas quando se trata de DQO. Porém, é sabido que lixiviados de aterros jovens, usualmente, apresentam altos valores de DQO, devido principalmente a grande quantidade de matéria orgânica degradável. O valor mais baixo encontrado na 3ª ampliação no período seco pode ser devido a maior infiltração de chuva pois não há cobertura final, o que dilui mais o lixiviado.

Novamente na data 24/08/09, verifica-se um decréscimo nos valores de DQO, devido à alta precipitação. Este decréscimo fica mais acentuado na 1ª ampliação.

Já no período chuvoso os valores de DQO sofreram decréscimo. Valores da ordem de 4000 – 5000 mg/L encontrados no período seco nas ampliações foram reduzidos a 2000 – 3000 mg/L. O aterro antigo também apontou menores valores.

5.5 NTK

Os resultados obtidos para NTK estão na Figura 5.5.1.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	2564 (632)	2683 (506)	1489 (377)	1354 (281)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.5.1: Comportamento do NTK

Os valores encontrados na 3ª ampliação (ainda em funcionamento), estão mais próximos dos encontrados no aterro antigo (encerrado há 10 anos). Talvez, isto esteja ocorrendo porque o resíduo disposto na 3ª ampliação esteja sujeito a incidência de chuva devido a falta de cobertura final desta célula do aterro.

Observa-se pela curva do aterro antigo que o NTK tende a se manter constante na falta de precipitação. Entretanto, no dia 24/08/09, após a forte precipitação, o NTK decai, devido à diluição proporcionada pela chuva. No dia 01/09/09 nota-se que o valor

de NTK obtido ainda é menor do que aquele encontrado durante todo o período seco. Sugere-se que a precipitação ainda estava influenciando esta variável.

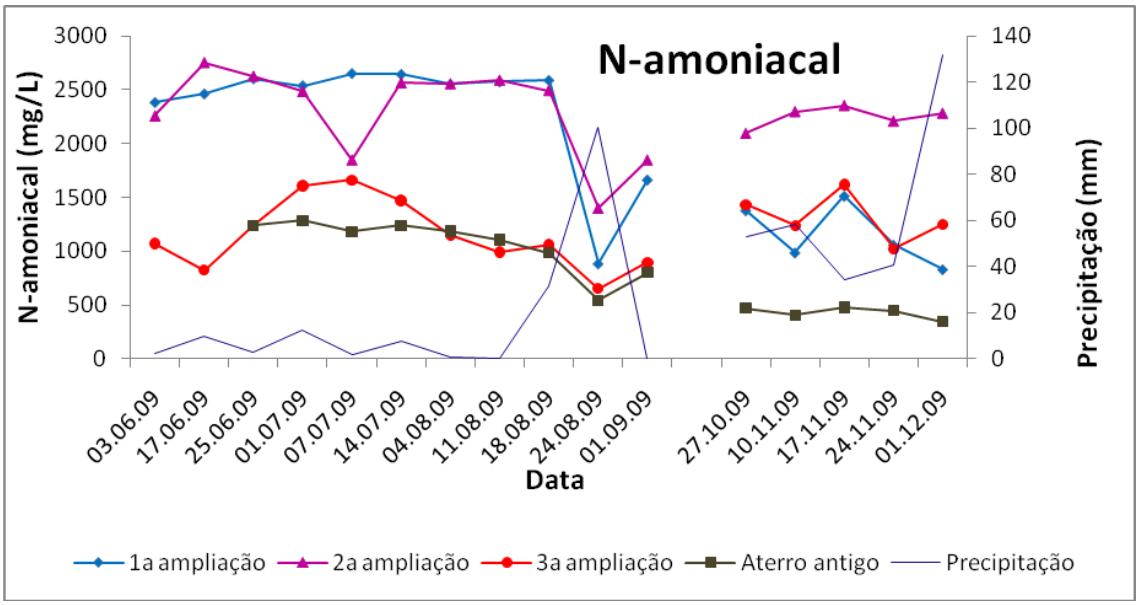
5.6 N-AMONIACAL

CONTRERA (2008) diz que existe uma relação linear entre a alcalinidade total dos lixiviados de aterros sanitários e as concentrações de N-amoniacal, devido ao fato do N-amoniacal estar na forma de hidrogenocarbonato de amônio (bicarbonato de amônio). Esta relação pode ser equacionada para estimativa das concentrações de N-amoniacal a partir da alcalinidade total do lixiviado, quando este possuir pH superior a 7,0. O N-amoniacal e a alcalinidade se correlacionam muito bem, o que se justifica pelo fato de que, o N-amoniacal é o maior contribuinte para geração de alcalinidade nos lixiviados, uma vez que, quando a amônia é formada através dos processos de digestão da matéria orgânica, ela se combina com o ácido carbônico formando bicarbonato de amônio.

Como durante o período chuvoso não foi possível realizar a análise de NTK e N amoniacal, devido a problemas com o destilador de nitrogênio, optou-se por utilizar a relação entre alcalinidade e N amoniacal para prever possíveis resultados de N amoniacal. Primeiro, tentou-se obter a relação entre alcalinidade e N amoniacal para cada ponto de amostragem a partir dos dados coletados durante o período seco. Entretanto, esta maneira não se mostrou satisfatória, resultando em equações que não representavam o comportamento real entre estes parâmetros. Sendo assim, optou-se por utilizar a equação obtida por CONTRERA (2008). De acordo com o autor, esta equação pode ser aplicada somente no caso do lixiviado de São Carlos.

$$Namoniacal = 0{,}2456.Alc - 404{,}6 \text{ com } r^2 = 0{,}952 \quad (5.6.1)$$

Os valores obtidos por esta equação são apresentados na Figura 5.6.1 que mostra os resultados para o N-amoniacal.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	2290 (552)	2267 (425)	1148 (322)	1063 (248)
Chuvoso	1155 (283)	2248 (99)	1314 (225)	429 (56)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.6.1: Comportamento do N-amoniacal

Assim como o NTK, o N-amoniacal apresenta maiores concentrações nas 1ª e 2ª ampliações no período seco. Apesar dos valores de N amoniacal no período chuvoso não resultarem de análise de amostra, estes foram menores para a 1ª ampliação e aterro antigo.

A Tabela 5.6.1 mostra a porcentagem do N-amoniacal em relação ao NTK e os valores de N-orgânico calculados pela diferença entre NTK e N-amoniacal para o período seco.

TABELA 5.6.1: Porcentagem média do N-amoniacal em relação ao NTK e valores de N-orgânico para o período seco

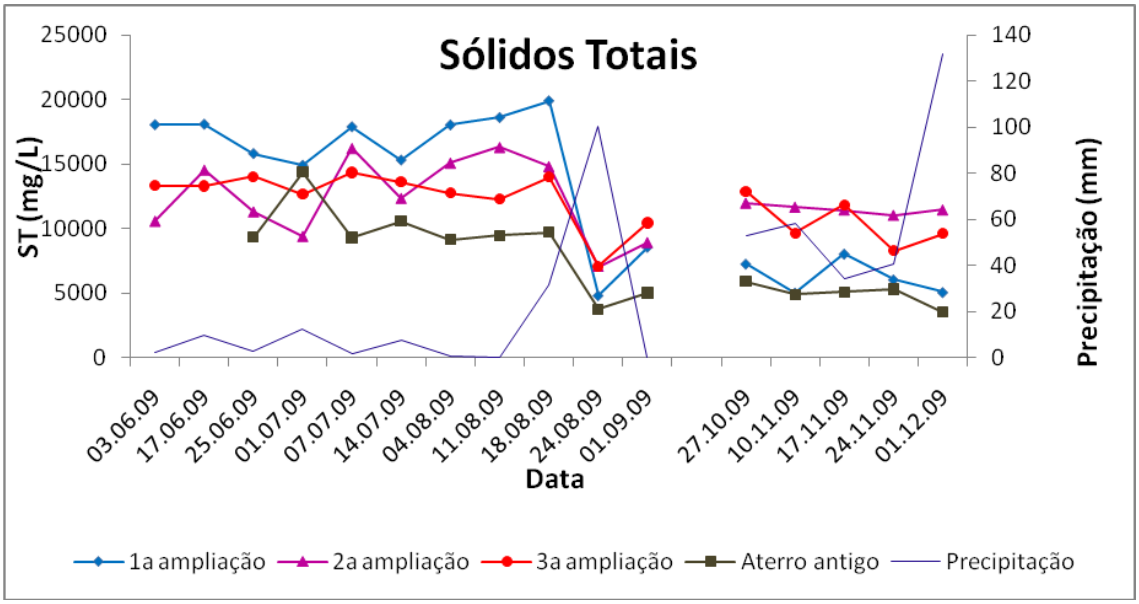
Ponto de amostragem	**NTK (mg/L)**	**N-amoniacal (mg/L)**	**Porcentagem do N-amoniacal em relação ao NTK**	**N orgânico (mg/L)**
1ª ampliação	2564	2290	89%	274
2ª ampliação	2683	2267	85%	416
3ª ampliação	1489	1148	77%	341
Aterro antigo	1354	1063	79%	291

No caso específico do lixiviado, os valores do N-amoniacal correspondem a mais de 70% do NTK. Dessa forma, fica claro que a maior parte do nitrogênio está sob a forma de amônia, constituindo um dos maiores poluentes do lixiviado.

Os valores de N-orgânico da 1ª ampliação e aterro antigo foram próximos. O maior valor encontrado foi na 2ª ampliação.

5.7 SÓLIDOS TOTAIS

A Figura 5.7.1 mostra os resultados dos sólidos.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	15454 (4642)	12424 (3197)	12543 (2108)	8976 (3077)
Chuvoso	6314 (1335)	11521 (346)	10464 (1861)	4942 (872)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.7.1: Comportamento do ST

De acordo com a Tabela 3.3.2.2 da revisão bibliográfica, nos aterros sanitários do Brasil a faixa mais provável de concentração de ST é 3200 – 14400 mg/L. No período seco as ampliações apresentaram valores maiores que esta faixa, enquanto o aterro antigo variou entre 5000 e 10000 mg/L.

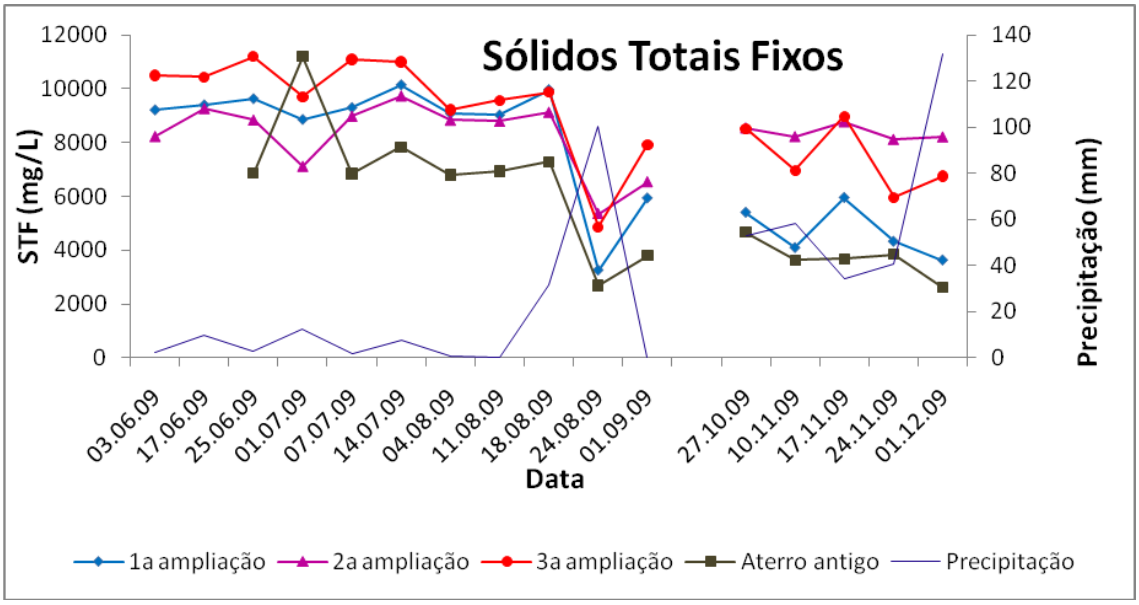
TCHOBANOGLOUS, THEISEN & VIGIL (1993) afirmam que lixiviados de aterros jovens apresentam maiores concentrações de ST. O aterro antigo resultou em menor valor médio de ST quando comparado às ampliações. Pela figura verifica-se um decréscimo da concentração dos ST devido a precipitação acumulada na semana do dia 24.08.09.

Os ST não apresentaram muita variação durante o período chuvoso. Os resultados obtidos durante este período foram um pouco menores dos obtidos no

período seco. A 1ª ampliação e o aterro antigo tiveram as maiores reduções (15454 para 6314 mg/L e 8976 para 4942 mg/L) respectivamente.

- SÓLIDOS TOTAIS FIXOS

A Figura 5.7.2 traz os resultados dos sólidos totais fixos.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	8524 (2072)	8257 (1345)	9585 (1837)	6694 (2411)
Chuvoso	4675 (965)	8374 (278)	7435 (1263)	3686 (733)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.7.2: Comportamento do STF

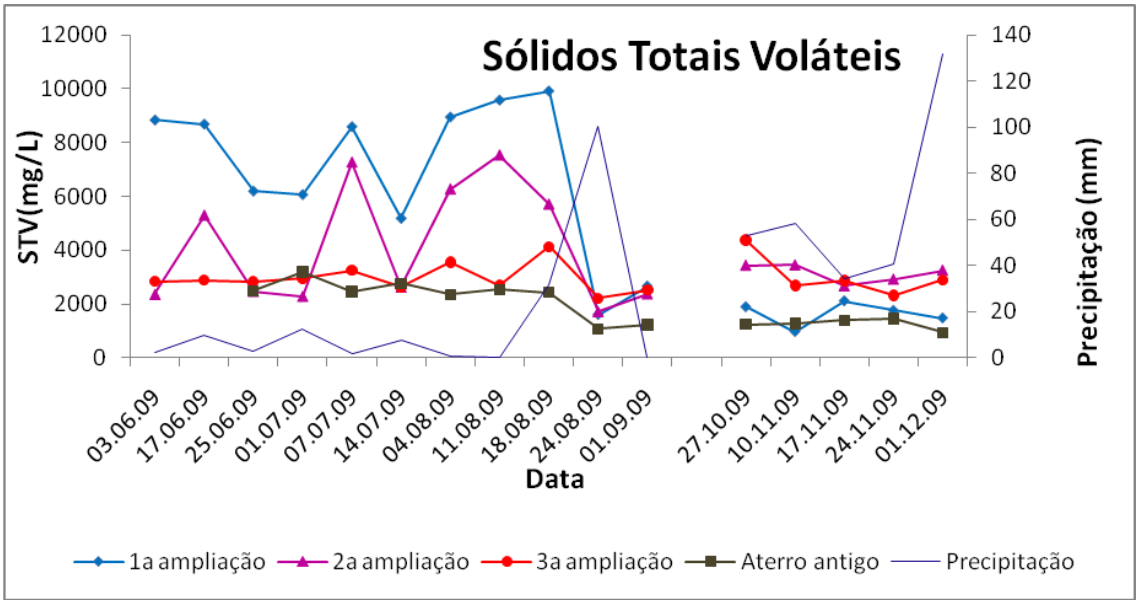
No caso do lixiviado do aterro de São Carlos, os STF representam cerca de metade da concentração dos ST. Os lixiviados do aterro apresentaram altas concentrações de STF em todos os pontos de amostragem durante o período seco. As 1ª e 2ª ampliações resultaram em valores médios muito próximos (8524 e 8257 mg/L

respectivamente), enquanto a 3ª ampliação teve o maior observado entre todos os pontos. Altas concentrações de STF sugerem também alta salinidade do lixiviado.

O STF foi um parâmetro que não mostrou grandes variações entre os períodos seco e chuvoso. Na época de chuvas a 2ª ampliação apresentou os maiores valores enquanto o aterro antigo apresentou os menores. Além disso, o aterro antigo teve uma redução de 50% nos valores de STF, quando comparado ao período seco.

- SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS

A Figura 5.7.3 apresenta os resultados dos sólidos totais voláteis.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	6930 (2836)	4167 (2245)	2958 (528)	2282 (688)
Chuvoso	1639 (440)	3146 (340)	3029 (787)	1256 (203)

* ( ) Desvio padrão

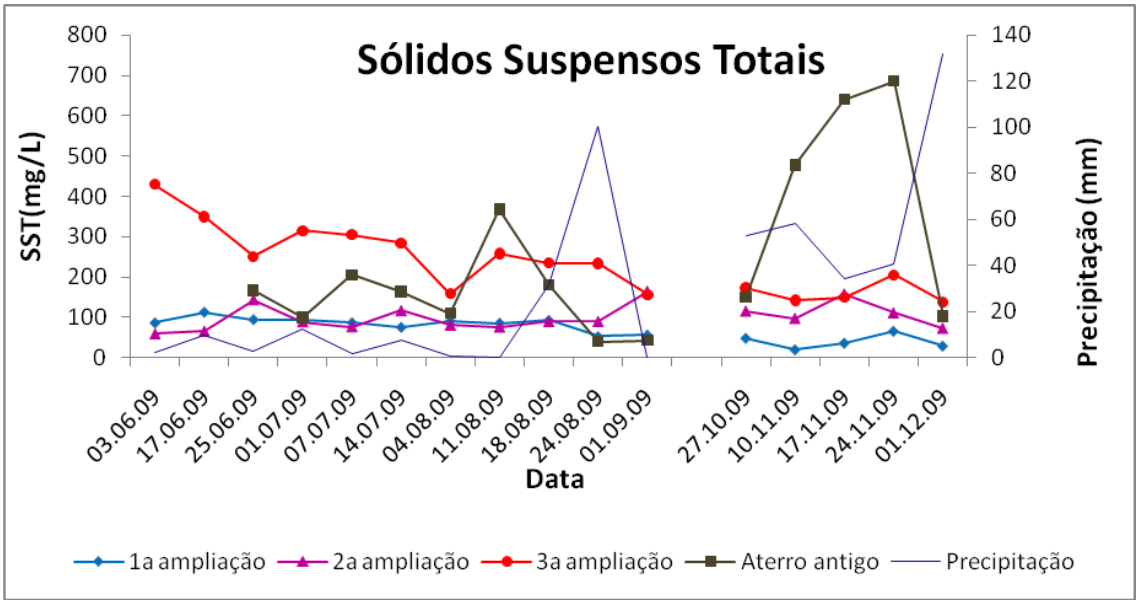
FIGURA 5.7.3: Comportamento do STV

Elevadas concentrações de STV sugerem a altas concentrações de matéria orgânica. No período seco, mais uma vez, a precipitação ocorrida no dia 24/08/09 alterou o comportamento da variável. Pode ser verificado tanto no comportamento do ST, STF e STV que houve um decréscimo destas variáveis em todos os pontos.

Durante o período chuvoso o comportamento do STV apontou muitas variações. A 1ª ampliação resultou na maior diferença entre período seco e chuvoso – 6930 para 1639 mg/L. As 2ª e 3ª ampliações pouco variaram entre os períodos, assim como as lagoas.

5.8 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS

A Figura 5.8.1 apresenta os valores de sólidos suspensos totais.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	85 (17)	96 (33)	271 (80)	153 (100)
Chuvoso	41 (18)	111 (31)	162 (28)	411 (272)

* ( ) Desvio padrão

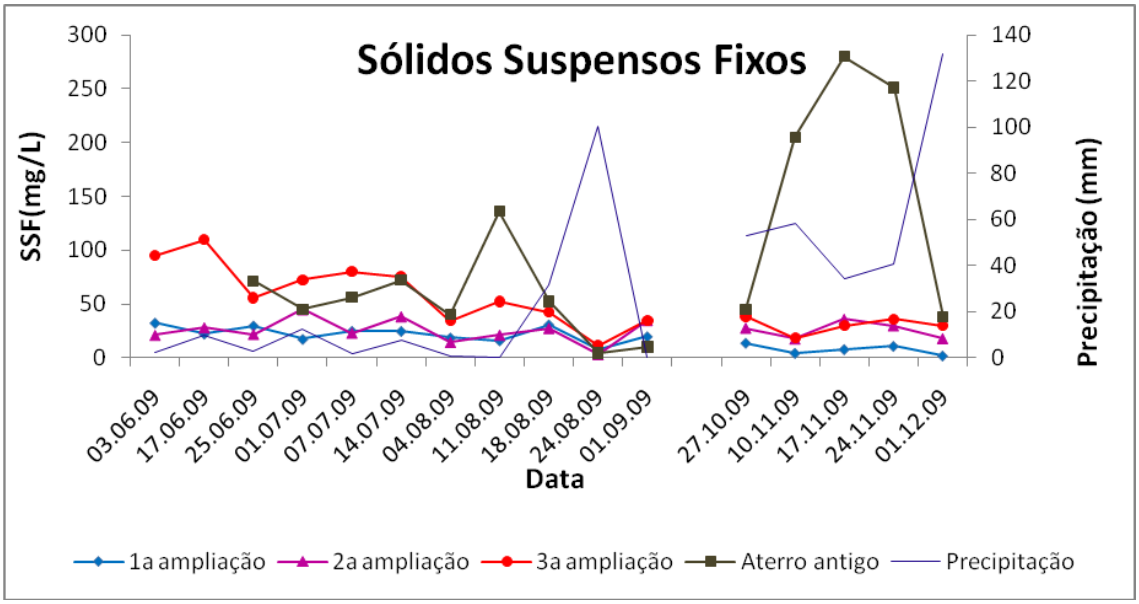
FIGURA 5.8.1: Comportamento do SST

No período seco o maior valor médio de SST foi encontrado na 3ª ampliação, porém ainda foi um valor relativamente baixo, sugerindo que todo o lixiviado gerado no aterro encontra-se na fase metanogênica de degradação da matéria orgânica. A precipitação de 24/08/09 influenciou o comportamento do SST do aterro antigo.

Na época de chuvas, enquanto todos os pontos de coleta mostraram valores menores que 200 mg/L, o aterro antigo apontou alguns valores superiores a 600 mg/L. Isto pode ser devido a dificuldade de coleta neste ponto (o que pode ter contaminado a amostra com sólidos).

- SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS

A Figura 5.8.2 mostra os resultados dos sólidos suspensos fixos.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	22 (7)	25 (12)	60 (29)	54 (39)
Chuvoso	8 (5)	26 (8)	31 (8)	164 (115)

* ( ) Desvio padrão

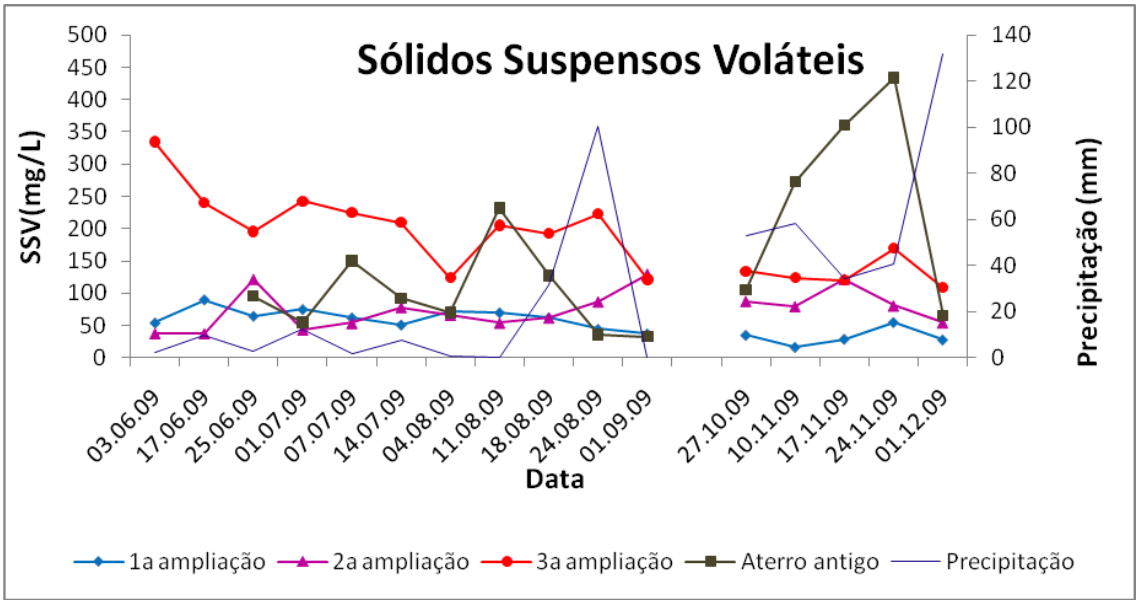
FIGURA 5.8.2: Comportamento do SSF

Assim como ocorreu no comportamento do SST, o SSF também variou bastante durante o período de seca, exceto pela 1ª ampliação, que apresentou comportamento mais constante. A precipitação de 24/08/09 afetou profundamente todos os pontos.

Na época de chuvas a presença de SSF foi menor que a observada no período seco. Novamente os maiores valores foram obtidos no aterro antigo, provavelmente por causa de contaminação da amostra.

- SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS

Os resultados obtidos de sólidos suspensos voláteis estão na Figura 5.8.3.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	62 (15)	70 (32)	210 (58)	99 (64)
Chuvoso	33 (14)	85 (24)	132 (23)	247 (159)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.8.3: Comportamento do SSV

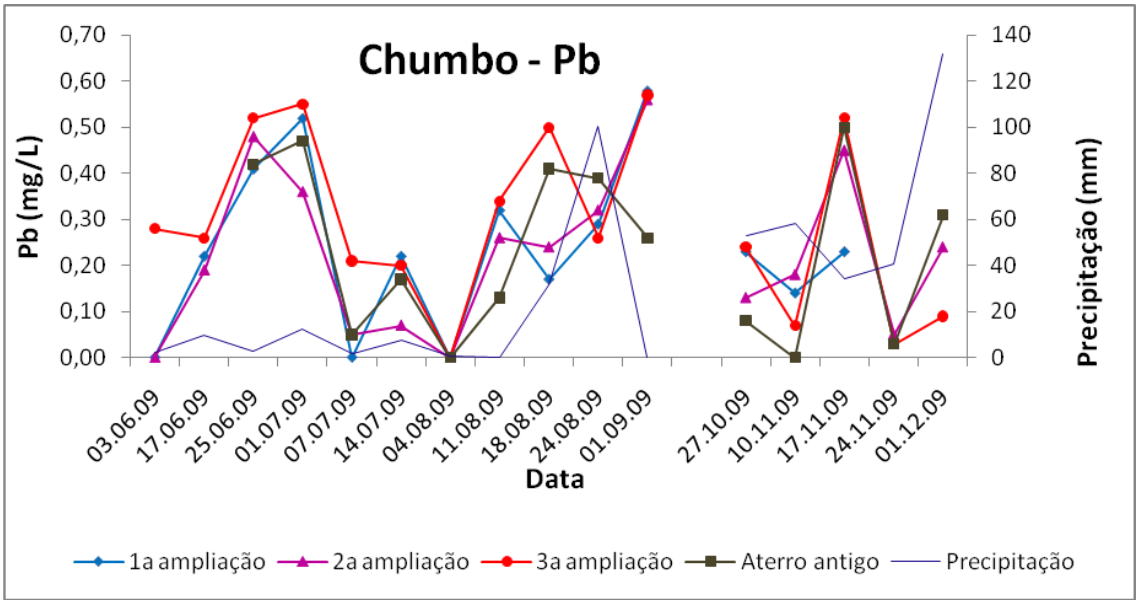
A maior parte dos SST encontra-se na forma de SSV. Novamente, exceto pela 1ª ampliação, o SSV apresentou uma grande variação durante o período seco.

Em comparação ao período seco, o aterro antigo teve maiores concentrações, enquanto os outros pontos mantiveram o comportamento observado antes.

5.9 METAIS

- **Chumbo - Pb**

A Figura 5.9.1 apresenta os resultados encontrados para o chumbo.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	0,25 (0,20)	0,23 (0,19)	0,34 (0,18)	0,26 (0,18)
Chuvoso	0,20 (0,05)	0,21 (0,15)	0,19 (0,20)	0,18 (0,21)

* ( ) Desvio padrão

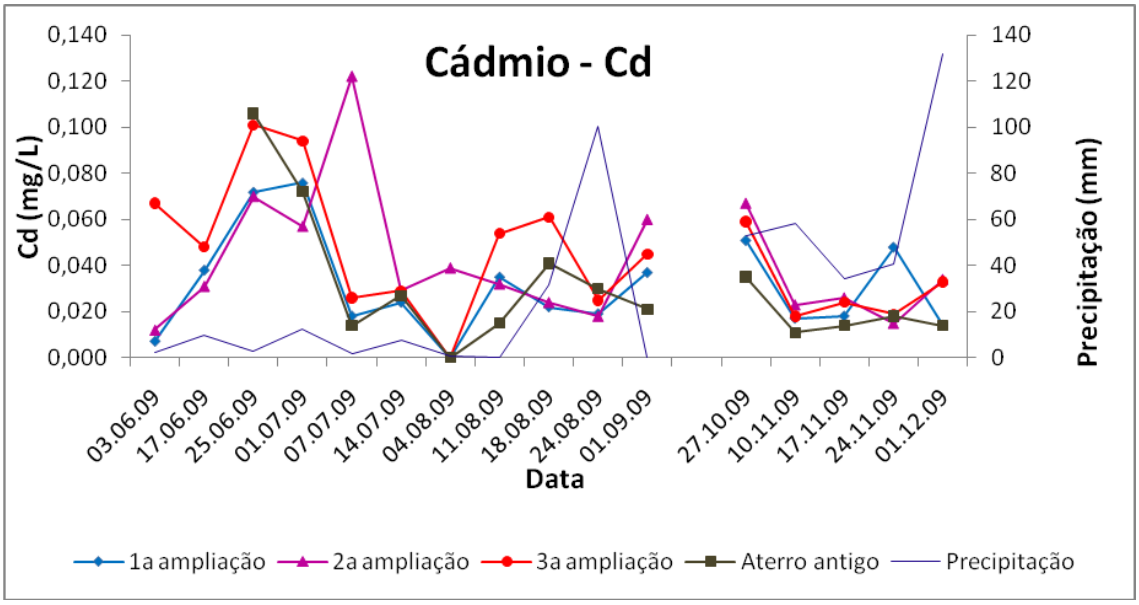
FIGURA 5.9.1: Comportamento do chumbo

De acordo com a CONAMA 357/05 o limite máximo de concentração de chumbo em efluentes para lançamento em corpos d´água é 0,5 mg/L. Tanto no período seco como no chuvoso, a média encontrada foi menor que o valor estabelecido pela norma.

Durante o período seco a maior concentração foi encontrada na 3ª ampliação e no período chuvoso foi encontrada na 2ª ampliação. Pela figura não é possível estabelecer relação entre precipitação acumulada e concentração de chumbo.

- **Cádmio – Cd**

O comportamento do cádmio observado no aterro é mostrado na Figura 5.9.3.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	0,032 (0,024)	0,045 (0,031)	0,050 (0,030)	0,036 (0,033)
Chuvoso	0,030 (0,018)	0,033 (0,020)	0,031 (0,017)	0,018 (0,010)

* ( ) Desvio padrão

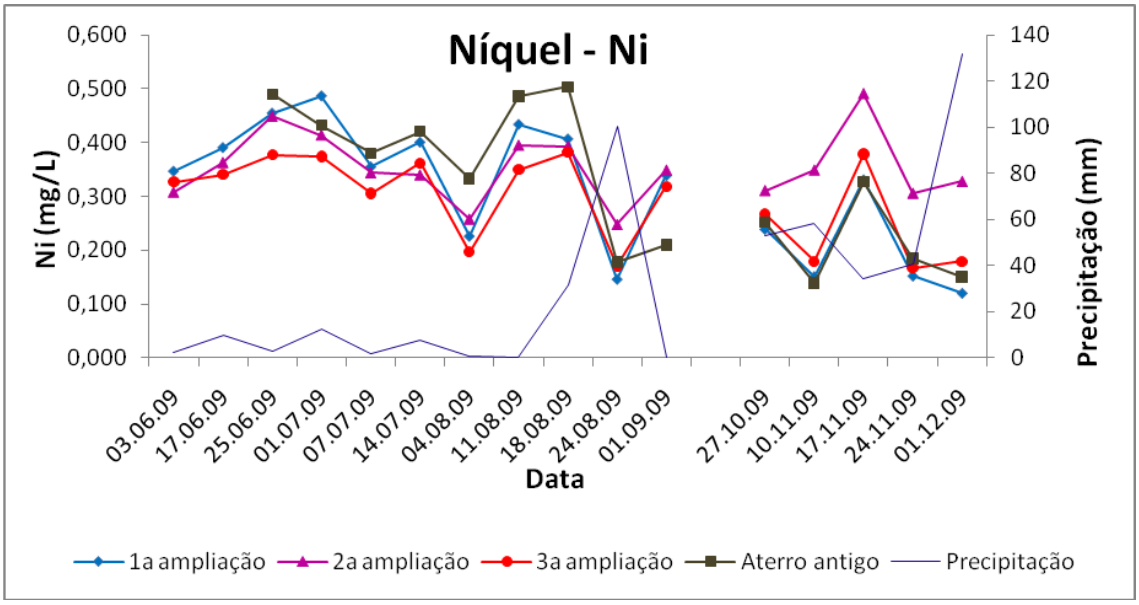
FIGURA 5.9.3: Comportamento do cádmio

Através da Figura fica evidenciada a baixa concentração desse metal encontrado no lixiviado, ao se comparar ao máximo permitido pela CONAMA 357/05. A maior média encontrada foi 0,050 mg/L na 3ª ampliação enquanto o limite é de 0,2 mg/L.

A precipitação parece influenciar a concentração deste metal na solução. Nas coletas do dia 24.08.09 e 10.11.09 houve aumento da precipitação e conseqüente diminuição da concentração de cádmio.

- **Níquel – Ni**

A Figura 5.9.3 mostra os resultados obtidos para o níquel.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	0,363 (0,100)	0,351 (0,062)	0,319 (0,071)	0,382 (0,120)
Chuvoso	0,199 (0,086)	0,357 (0,077)	0,234 (0,090)	0,211 (0,079)

* ( ) Desvio padrão

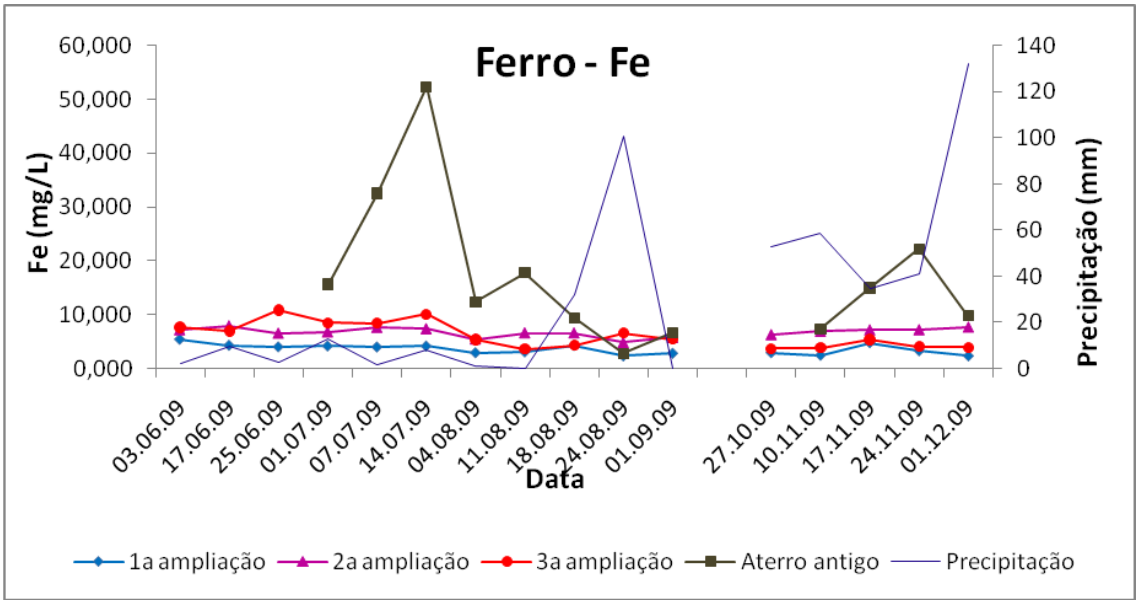
FIGURA 5.9.3: Comportamento do níquel

Em nenhum ponto foi detectado valores de concentração de níquel superiores a 2,0 mg/L, que é o limite máximo tolerado para lançamento de efluentes em corpos d´água de acordo com a CONAMA 357/05.

No período seco todas as concentrações médias de níquel se apresentaram entre 0,300 e 0,400 mg/L. Os valores médios encontrados no período chuvoso são ligeiramente menores que os obtidos no período seco. A faixa de variação dos valores médios foi 0,199 mg/L a 0,357 mg/L.

- **Ferro – Fe**

Os valores encontrados para o ferro estão na Figura 5.9.4.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	3,756 (0,882)	6,578 (0,940)	7,051 (2,300)	18,679 (16,307)
Chuvoso	3,153 (0,981)	7,010 (0,510)	4,170 (0,659)	13,575 (6,583)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.9.4: Comportamento do ferro

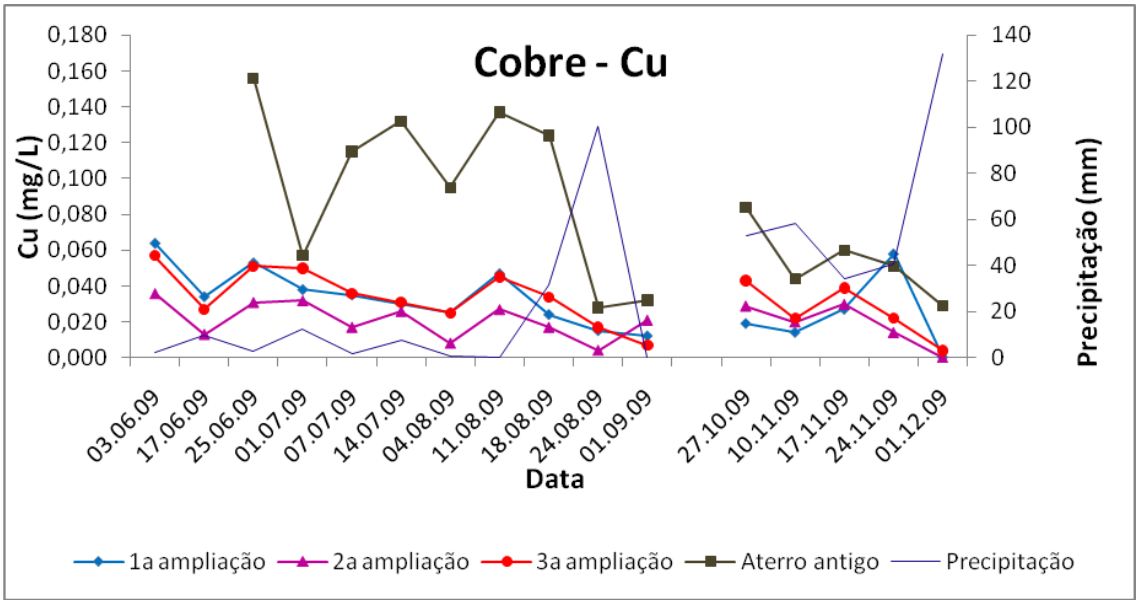
Todos os pontos de amostragem mostram que a concentração de ferro não varia muito ao longo do tempo. No dia 25/06/09 o aterro antigo resultou numa concentração de ferro de 146,600 mg/L. Entendeu-se que este resultado pode ter sido superestimado devido as condições de coleta (pouca vazão, grande quantidade de sólidos na caixa de passagem e coletor inadequado). Nesta coleta a amostra pode ter sido contaminada por grande quantidade de sólidos provenientes do solo e sabe-se que o solo utilizado na cobertura do aterro é rico em ferro. Sendo assim, optou-se por excluir este ponto do gráfico. A maior concentração é verifica no aterro antigo.

Durante o período chuvoso o ferro manteve comportamento semelhante ao observado no período de seca. Apesar da análise de ferro ter sido feita a partir do sobrenadante do lixiviado, a coleta do aterro antigo sempre foi muito prejudicada devido ao difícil acesso à caixa de passagem e a grande quantidade de solo presente no ponto de coleta.

A Resolução CONAMA estabelece que o limite máximo para o ferro é de 15 mg/L. Exceto pelo aterro antigo, todos os pontos atendem a essa norma.

- **Cobre – Cu**

A Figura 5.9.5 apresenta os resultados para o cobre.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	0,034 (0,016)	0,021 (0,010)	0,035 (0,015)	0,097 (0,047)
Chuvoso	0,024 (0,022)	0,019 (0,012)	0,026 (0,016)	0,054 (0,020)

* ( ) Desvio padrão

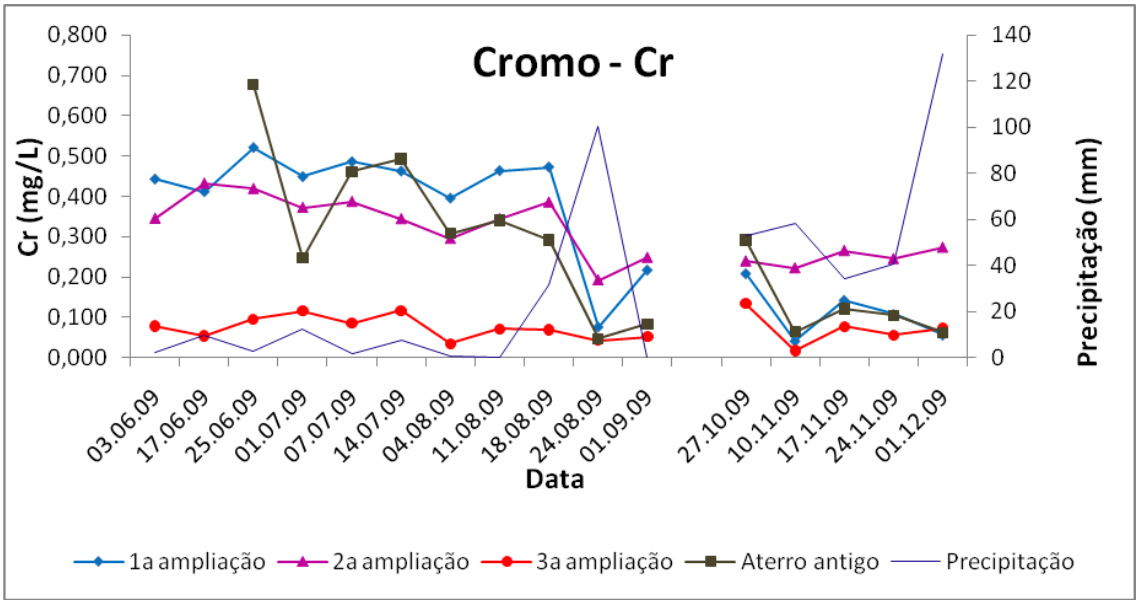
FIGURA 5.9.5: Comportamento do cobre

No caso do aterro sanitário de São Carlos, todas as concentrações observadas de cobre foram menores que as estabelecidas pela legislação, ou seja, 1,0 mg/L. Estes baixos valores de cobre apresentados podem estar ligados as características dos resíduos aterrados, tipo de solo do local, entre outros.

Enquanto no período seco todas as concentrações observadas foram menores que 0,200 mg/L, no período chuvoso este valor decaiu para 0,100 mg/L. As maiores médias encontradas deste metal foram 0,097 e 0,054 mg/L no aterro antigo.

- **Cromo – Cr**

A Figura 5.9.6 traz o comportamento deste metal.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	0,400 (0,133)	0,342 (0,072)	0,075 (0,028)	0,328 (0,198)
Chuvoso	0,112 (0,068)	0,249 (0,020)	0,072 (0,042)	0,129 (0,095)

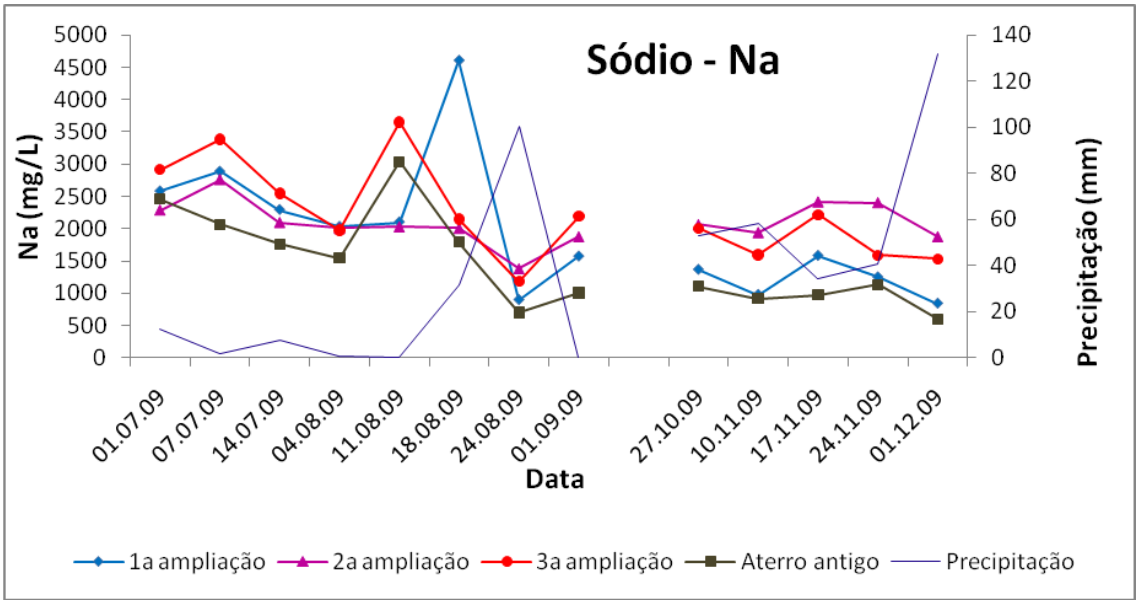
* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.9.6: Comportamento do cromo

A legislação estabelece 0,5 mg/L de concentração de cromo como limite máximo para que o efluente possa ser encaminhado a um corpo d´água. A 1ª ampliação e o aterro antigo apresentaram alguns valores próximos ou superiores a este durante o período de seca. Todos os outros pontos resultaram valores inferiores ao estabelecido pela norma.

- **Sódio – Na**

A Figura 5.9.7 apresenta o comportamento do sódio.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	2368 (1089)	2057 (387)	2499 (804)	1796 (750)
Chuvoso	1200 (298)	2141 (255)	1788 (305)	947 (215)

* ( ) Desvio padrão

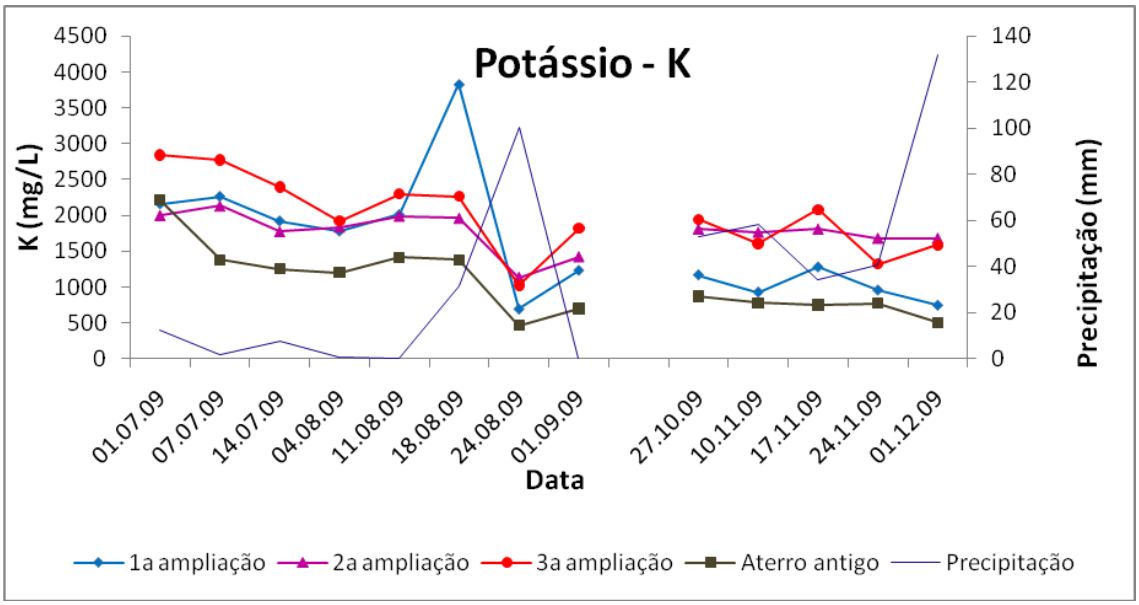
FIGURA 5.9.7: Comportamento do sódio

No dia 11/08/09 houve um aumento da concentração de sódio em praticamente todos os pontos, exceto nas 1ª e 2ª ampliações. Entretanto pela curva de precipitação verifica-se que não houve registro de nenhuma chuva ou qualquer outro evento que pudesse justificar esse acréscimo. Mais uma vez no dia 24/08/09 houve decréscimo nos valores devido à chuva ocorrida. Os valores de sódio ficaram muito próximos nas 1ª e 3ª ampliações.

Já durante o período chuvoso o comportamento do sódio sofreu menos perturbações que durante o período seco. Um ligeiro aumento na concentração pode ser verificado no dia 17/11/09. As maiores concentrações foram observadas na 2ª ampliação, enquanto que as menores estão no aterro antigo.

- **Potássio – K**

O comportamento do potássio pode ser visualizado na Figura 5.9.8.



Média (mg/L)	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro antigo
Seco	1987 (910)	1781 (339)	2167 (584)	1251 (522)
Chuvoso	1016 (211)	1748 (65)	1707 (303)	737 (137)

* ( ) Desvio padrão

FIGURA 5.9.8: Comportamento do potássio

Diferente do que ocorreu com o sódio, não houve acréscimo considerável na concentração de potássio no dia 11/08/09. Porém, no dia 24/08/09 a precipitação novamente provocou um decréscimo na concentração do metal em análise.

Durante o período chuvoso o potássio apresentou comportamento semelhante ao sódio, já que também foram poucas as variações observadas ao longo do tempo. As 2ª e 3ª ampliações resultaram em valores médios muito próximos e o aterro antigo teve o menor valor médio.

Ao se analisar o resultado de todos estes metais, sugere-se que o processo de lixiviação ocorre de forma rápida. Decorrido pouco tempo do aterramento dos resíduos, as concentrações dos metais encontradas são baixas ou mesmo inexistentes. As baixas concentrações de metais no lixiviado do aterro de São Carlos também podem estar ligadas à implantação da coleta seletiva no município. A coleta evita que vários objetos metálicos, como latas, cheguem ao aterro e contribuam para a alta concentração de metais no lixiviado.

5.10 BIODEGRADABILIDADE DO LIXIVIADO

- Relação AVT/DQO

CONTRERA (2008) sugere que a relação AVT/DQO talvez seja a melhor relação para representar a biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários. As Tabela 5.12.1 e 5.12.2 apresentam estes resultados para o período seco e chuvoso respectivamente. Os valores de AVT utilizados nesta relação foram os valores sem a correção sugerida por CONTRERA (2008).

TABELA 5.12.1: Valores da relação AVT/DQO para o período seco

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	0,093	0,101	0,143	
17.06.09	0,084	0,089	0,046	
25.06.09	0,114	0,107	0,108	0,073
01.07.09	0,099	0,120	0,089	0,072
07.07.09	0,087	0,101	0,080	0,088
14.07.09	0,090	0,103	0,073	0,103
04.08.09	0,108	0,107	0,088	0,084
11.08.09	0,117	0,120	0,100	0,095
18.08.09	0,102	0,107	0,096	0,109
24.08.09	0,120	0,179	0,179	0,138
01.09.09	0,111	0,137	0,078	0,092
MÉDIA	**0,102**	**0,116**	**0,098**	**0,095**

TABELA 5.12.2: Valores da relação AVT/DQO para o período chuvoso

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	0,136	0,122	0,099	0,108
10.11.09	0,132	0,178	0,116	0,117
17.11.09	0,123	0,139	0,112	0,110
24.11.09	0,131	0,145	0,163	0,075
01.12.09	0,117	0,132	0,139	0,105
MÉDIA	**0,128**	**0,143**	**0,126**	**0,103**

Segundo CONTRERA (2008) para valores de relações AVT/DQO inferiores a 0,25 o lixiviado possui baixa biodegradabilidade, para relações entre 0,25 e 0,40, possui média biodegradabilidade e possui elevada biodegradabilidade anaeróbia para relações superiores a 0,40.

Pelos resultados observados conclui-se que o lixiviado do aterro de São Carlos possui baixa biodegradabilidade anaeróbia. As áreas mais recentes de operação do aterro mostraram valores de relação AVT/DQO muito próximos de áreas operadas há

mais tempo e que hoje estão encerradas. Estes valores da relação AVT/DQO sugerem que todo o lixiviado do aterro já se encontra na fase metanogênica de decomposição da matéria orgânica.

- Relação STV/ST

A relação entre sólidos totais voláteis e sólidos totais (STV/ST) é um indicativo da quantidade de matéria orgânica no lixiviado, porém esta não é a melhor relação para o caso de lixiviados. A Tabela 5.12.3 apresenta os resultados obtidos para o período seco e a Tabela 5.12.4 mostra os resultados do período chuvoso.

TABELA 5.12.3: Relação STV/ST para o período seco

Data	**1ª ampliação**	**2ª ampliação**	**3ª ampliação**	**Mistura**	**Aterro Antigo**
03.06.09	0,490	0,222	0,213	0,454	
17.06.09	0,480	0,363	0,217	0,395	
25.06.09	0,391	0,218	0,201	0,224	0,266
01.07.09	0,406	0,243	0,234	0,498	0,221
07.07.09	0,480	0,447	0,227	0,247	0,265
14.07.09	0,338	0,212	0,193	0,229	0,261
04.08.09	0,496	0,415	0,278	0,238	0,258
11.08.09	0,515	0,461	0,221	0,236	0,268
18.08.09	0,499	0,385	0,295	0,235	0,250
24.08.09	0,330	0,241	0,313	0,307	0,285
01.09.09	0,309	0,266	0,241	0,269	0,245
MÉDIA	**0,430**	**0,316**	**0,239**	**0,303**	**0,258**

TABELA 5.12.4: Relação STV/ST para o período chuvoso

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	0,259	0,287	0,339	0,209
10.11.09	0,192	0,295	0,278	0,258
17.11.09	0,262	0,233	0,242	0,276
24.11.09	0,289	0,265	0,280	0,274
01.12.09	0,289	0,284	0,300	0,263
MÉDIA	**0,258**	**0,273**	**0,288**	**0,256**

De acordo com CONTRERA (2008), para valores de relações STV/ST inferiores a 0,3, o lixiviado do aterro de São Carlos possui baixa biodegradabilidade, para relações entre 0,3 e 0,4 possui média biodegradabilidade e possui elevada biodegradabilidade anaeróbia para relações superiores a 0,4.

Apesar de não ser a melhor relação para estudo de biodegradabilidade em lixiviados, a partir dos resultados obtidos, conclui-se que o lixiviado do aterro de São Carlos possui baixa biodegradabilidade anaeróbia, exceto pela 1ª ampliação, que apresentou valores maiores que 0,4 no período seco. Assim como a relação AVT/DQO, os resultados da relação STV/ST também indicam que o lixiviado do aterro já se encontra na fase metanogênica de degradação da matéria orgânica.

5.13 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Analisando-se todos os resultados obtidos durante a pesquisa algumas considerações procedem:

- Os resultados da maioria das análises sugerem que o lixiviado de todos os pontos de amostragem do aterro já se encontra em fase avançada de decomposição da matéria orgânica. Uma hipótese para este fato está na presença do “colchão drenante” em todas as ampliações. Ele, além de proporcionar uma

coleta mais eficiente do lixiviado, funciona como um filtro biológico, realizando um tratamento biológico prévio do lixiviado. Sendo assim, é de se esperar que o lixiviado de todos os pontos de coleta apresente características recalcitrantes ou de lixiviados “velhos”.

- Esperava-se que somente o aterro antigo e as 1ª e 2ª ampliações apresentassem características de lixiviado “velho”, porém o lixiviado da 3ª ampliação também se comportou de forma análoga.
- A precipitação pluviométrica interfere em grande parte das variáveis consideradas neste estudo. Na data de maior precipitação – 24/08/09 – verificou-se um decréscimo na concentração de parâmetros como DQO, alcalinidade, NTK, N amoniacal e sólidos. Entretanto, pH e AVT não ficaram sujeitos a grandes alterações durante este mesmo período. Uma possibilidade para justificar a influência da precipitação em alguns parâmetros analisados é que esta interfere na atividade biológica do aterro.
- As concentrações de metais encontradas no vários pontos de coleta foram menores que as concentrações determinadas como limite máximo permitido pelas Resoluções CONAMA 357/05 e 397/08 de lançamento de efluentes em corpos d´água.
- Ao se considerar a porcentagem de N amoniacal presente no NTK conclui-se que a amônia é realmente o poluente presente em maior quantidade no lixiviado.
- As relações que analisam a biodegradabilidade do lixiviado mostraram que o lixiviado do aterro de São Carlos apresenta baixa biodegradabilidade.
- Durante o período chuvoso esperava-se que a alta precipitação pluviométrica pudesse evidenciar e/ou diferenciar alguma característica particular de algum ponto de coleta. Durante este período ficou evidenciado que a 2ª ampliação

apresentou as maiores concentrações de alcalinidade, ácidos voláteis, DQO e sólidos.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- O lixiviado de todos os pontos de amostragem encontra-se na fase metanogênica de decomposição da matéria orgânica;
- A relação AVT/DQO, utilizada na investigação da biodegradabilidade do lixiviado, resultou em valores inferiores a 0,25 em todos os pontos de amostragem, indicando que o lixiviado possui baixa biodegradabilidade;
- A relação STV/ST, embora não seja muito apropriada para o caso de lixiviados, apresentou valores inferiores a 0,3 e indicou baixa quantidade de matéria orgânica nos lixiviados do aterro de São Carlos;
- A amônia é o poluente presente em maior quantidade no lixiviado, representando cerca de 70% do NTK;
- A precipitação influenciou a concentração de alguns parâmetros, entre eles a DQO (decréscimo de 4000mg/L para 3000 mg/L na ocorrência de forte precipitação), NTK (decréscimo de 3000 mg/L para 1500 mg/L) e ST (valores foram reduzidos a metade em todos os pontos);
- O comportamento de outros parâmetros não se mostrou intimamente ligado a precipitação. O SST e os metais como ferro, chumbo e cádmio não apresentaram relação alguma entre concentração presente na amostra e precipitação ocorrida no aterro;
- A presença de AVT pode ser justificada pela presença de substâncias de caráter ácido (ácidos húmicos, fúlvicos) e não necessariamente de ácidos voláteis;

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando-se os resultados obtidos e visando contribuir para o desenvolvimento desta linha de pesquisa, recomenda-se:

- Acompanhamento e monitoramento das características do lixiviado durante o período mínimo de 1ou 2 anos, semanalmente;
- Investigar a origem do metal presente no lixiviado, ou seja, determinar se ele é proveniente do resíduo aterrado ou do solo de cobertura do aterro;
- Estudar a relação entre gás gerado no aterro e as fases de decomposição dos resíduos no aterro sanitário.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA; AWWA; WPCF (2005) **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21th Edition. Washington. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington – DC, USA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2004) NBR 10004 – **Resíduos sólidos - classificação.** Rio de Janeiro, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1992) NBR 8419 – **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, ABNT.

BAUN, D. L.; CHRISTENSEN, T. H. (2004) **Speciation of heavy metals in landfill leachate: a review.** Waste Management & Research. vol 22, pp. 3-23.

BIDONE, F.R.A. e POVINELLI, J. (1999) **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, EESC/USP.

BIDONE, R. F.; HARTAMANN, F.; ROSA, A. L.; SOUTO, G. A. B.; POVINELLI, J. (2007) **Filtros anaeróbios aplicados ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário.** In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG.

BIDONE, R. F. (2008) **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: estudo de caso – central de resíduos do Recreio, Minas do Leão/RS.** São Carlos, 2008. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BORZANI, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E. (1975) **Tópicos de microbiologia industrial.** 1ª Ed. São Paulo: Blücher-EdUSP, 231p., v.2 (série Biotecnologia, 5v.) pp. 46-76.

CASTRO, M. C. A. A. de (2001) **Avaliação de um sistema australiano de lagoas no tratamento conjunto de esgoto sanitário e líquidos percolados gerados em aterro sanitário**. São Carlos, 2001. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CHEN, K. Y.; BOWERMAN, F. R. (1974) **Mechanisms of leachate formation in sanitary landfills.** In: YEN, T. F. Recycling and disposal of solid wastes: industrial, agricultural, domestic. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, Cap 12, pp. 349 – 367.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA (1986) CONAMA 001 – **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.** Brasília, CONAMA.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA (2005) CONAMA 357 – **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Brasília, CONAMA.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA (2008) CONAMA 397 **– Altera o inciso II do §4º e a Tabela X do §5º do art. 34 da Resolução CONAMA nº357/05 e acrescenta os §6º e 7º.** Brasília, CONAMA.

CONTRERA, R. C. (2008) **Estudo da tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários em sistema de reatores anaeróbio e aeróbio operados em bateladas seqüenciais e em um filtro biológico anaeróbio contínuo de fluxo ascendente.** São Carlos, 2008. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DACANAL, M.; BEAL, L. L. (2007) **Tratamento de lixiviado através de filtro anaeróbio associado à membrana de microfiltração.** In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG.

DIAMADOPOULOS, E. (1994) **Characterization and treatment of recirculation-stabilized leachate.** Water Research, vol.28, pp.2439 – 2445.

DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. (1961) **Volatile acides by direct titration.** Journal Water Pollution Control Federation, vol.33, nº4, pp.350-364.

EHRIG, H. J. (1983) **Quality and quantity of sanitary landfill leachate.** Waste Management & Research, vol.1, pp.53 – 68.

EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE – DADOS METEOROLÓGICOS Disponível em: < https://www.cppse.embrapa.br/080servicos/dados-meteorologicos> Acesso em: 5 de novembro de 2009.

FARQUHAR, G. J.; ROVERS, F. A. (1973) **Gás production during refuse decomposition.** Water, Air e Soil Pollution, nº2, pp. 483-495.

FERREIRA, F. A. (2008) **Avaliação da viabilidade do tratamento de líquidos percolados em estação de tratamento de esgoto.** São Carlos, 2008. Monografia de Graduação em Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FRÉSCA, F. R. C. (2007) **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos – SP, a partir da caracterização física.** São Carlos, 2007. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GOMES, L. P. (1989) **Estudo da caracterização física da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.** São Carlos, 1989. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

IPT/CEMPRE (2000) **Lixo municipal – manual de gerenciamento integrado.** 2ª Ed., São Paulo.

JARDIM, N. S. (1995) **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** Nilza Silva Jardim (Coordenador). 1ª Ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE. (Publicação IPT 2163), 278p.

KJELDEN, P.; CHRISTENSEN, T. H. (2001) **A simple model for the distribution and fate of organic chemicals in a landfill: MOCLA.** Waste Management & Research. vol. 19, pp. 201-216.

KJELDEN, P.; CHRISTOPHERSEN, M. (2001) **Composition of leachate from old landfills in Denmark.** Waste Management & Research. vol 19, pp. 249-256.

KJELDSEN, P.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. H. (2002) **Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review.** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 32 (4), pp. 297-336.

LEITE, W. C. A. (1991) **Estudo do comportamento da temperatura, pH e teor de umidade na decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.** São Carlos, 1991. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LEITE, W. C. A. (1997) **Estudo da gestão de resíduos sólidos: uma proposta de modelo tomando a unidade de gerenciamento de recursos hídricos (UGRHI-5) como referência.** São Carlos, 1997. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LIMA, L. M. Q. (1995) **Lixo: tratamento e biorremediação**. 3ª Ed. São Paulo, 265p.

LOPES, A. A. (2007) **Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13).** São Carlos, 2007. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MCBEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J. (1995) **Solid waste landfill engineering and design.** Englewood Cliffs, New Jersey, EUA: Prentice-Hall PTR, 521p.

METCALF, L.; EDDY, H. P. (2003) **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse.** EUA, McGraw-Hill, 4a ed., 1819p.

MONTEIRO, V. E. D.; JUCÁ, J. F. T.; RÊGO, C. C. (2001) **Influência das condições climáticas no comportamento do aterro de resíduos sólidos da Muriceba.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa, PB.

POHLAND, F. G.; KANG, S. J. (1971) **Sanitary landfill stabilization with leachate recycle and residual treatment.** Aiche Symposium Series. vol. 71, n. 145, pp. 308-318.

POHLAND, F. G. (1975) **Sanitary landfill stabilization with leachate recycle and residual treatment.** EPA – Environmental Protection Agency. Washington, D.C.

POHLAND, F. G.; HARPER, S. R. (1985) **Critical review and summary of leachate and gas production from landfills.** Tech Project n. E20 G01.

POHLAND, F. G.; GOULD, J. P. (1986) **Co-disposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills.** Water Science and Technology, vol.18, pp.177 – 192.

PMSC – PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (2007) **Relatório ambiental preliminar do projeto de ampliação do aterro sanitário municipal de São Carlos – SP.** São Carlos, 2007. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia.

PMSC – PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS (2010) Disponível em: www.saocarlos.sp.gov.br. Acessado em 15 de março de 2010.

REES, J. F. (1980) **Optimization of methane production and refuse decomposition in landfills by temperature control.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology, vol.30, pp. 458 – 465.

SANCHEZ, L. E. (2001) **Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais.** São Paulo, 2001. EdUSP, 254p.

SCHALCH, V. (1984) **Produção e características do chorume em processo de decomposição do lixo urbano.** São Carlos, 1984. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SCHALCH, V. (1992) **Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia.** São Carlos, 1992. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006) **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos.** Brasília, 2006. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em 27 de julho de 2009.

SOUTO, G. A. B.; POVINELLI, J. (2007) **Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil.** In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG.

SOUTO, G. A. B. (2009) **Lixiviado de aterros sanitários – estudo da remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (*"stripping"*).** São Carlos, 2009. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN H.; VIGIL S. A. (1993) **Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues.** EUA, McGraw-Hill.

THOMAS, D. J. L.; TYRREL, S. F.; SMITH, R.; FARROW, S. (2009) Bioassays for the evaluation of landfill leachate toxicity. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, vol. 12, pp. 83-105.

ZIYANG, L.; YOUCAI, Z.; TAO, Y.; YU, S.; HUILI, C.; NANWEN, Z.; RENHUA, H. (2009) **Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under different disposing ages.** Science of Total Environment. vol. 407, pp. 3385-3391.

ANEXO A – ANÁLISES FÍSICO – QUÍMICAS DAS AMOSTRAS

Neste anexo são apresentadas as análises realizadas neste trabalho, bem como os procedimentos e as modificações, quando necessárias, em cada análise.

É importante esclarecer que as recomendações de amostragem, preservação e tempo de armazenamento, mostradas abaixo são referentes ao esgoto sanitário. Todas as amostras do lixiviado foram coletadas em frascos de polietileno, mantidas sob refrigeração e analisadas o mais rapidamente possível.

1. pH

Amostragem: Polietileno ou vidro

Volume mínimo: 50 mL

Tipo de amostra: Simples

Preservação: Análise imediata

Tempo de armazenamento: 15 minutos

Procedimento:

- Remover o eletrodo da água e lavá-lo com água destilada. Enxugar com papel macio;
- Verificar se o eletrodo encontra-se calibrado. Senão, realizar a calibração;
- Colocar 50 mL da amostra em um béquer;
- Colocar o “peixinho” no béquer para agitar a amostra;
- Imergir o eletrodo na amostra, esperar a estabilização do aparelho e fazer a leitura.

2. ALCALINIDADE TOTAL

Amostragem: Polietileno ou vidro

Volume mínimo: 200 mL

Tipo de amostra: Simples

Preservação: Refrigeração

Tempo de armazenamento: 24 horas

Procedimento:

- Filtrar a amostra em membrana de fibra de vidro com 47 mm de diâmetro e abertura dos poros de 2,0 μm;
- Diluir a amostra em 1:10;
- Colocar 50 mL da amostra filtrada e diluída em um béquer;
- Colocar o "peixinho" no béquer para agitar a amostra;
- Titular a amostra com solução de H_2SO_4 aproximadamente 0,2N até pH 4,3;
- Anotar o volume de ácido gasto;
- É utilizada a seguinte expressão para cálculo da alcalinidade:

$$Alcalinida\ de(mg/LCaCO_3) = \frac{N_{H_2SO_4}}{V_{amostra}} xV_{H_2SO_4} x50000$$

Embora o Standard Methods não recomende, as determinações de alcalinidade foram feitas com amostras diluídas em 1:10. Segundo CONTRERA (2008), a determinação em amostras sem diluição é praticamente inviável, devido ao tempo que se gasta e à formação de espuma, que chega a transbordar do béquer.

3. ÁCIDOS VOLÁTEIS TOTAIS – AVT

Amostragem: Frasco âmbar

Volume mínimo: 200 mL

Tipo de amostra: Simples, composta

Preservação: Refrigeração

Tempo de armazenamento: 7 dias

Procedimento:

- Ajustar pH da amostra utilizada para análise da alcalinidade para 3,4;
- Acrescentar as bolinhas de vidro no béquer com a amostra;
- Colocar a amostra sobre a chapa aquecedora;
- Ferver a amostra por aproximadamente 3 minutos;
- Resfriar a amostra em temperatura ambiente;
- Titular a amostra com solução de NaOH aproximadamente 0,1 até pH 4,0;
- Titular novamente com solução de NaOH aproximadamente 0,1 do pH 4,0 até pH 7,0;
- Anotar o volume de base gasto nesta última titulação;
- Os ácidos voláteis totais são calculados por:

$$Ácidos(mg/LCaCO_3) = \frac{N_{NaOH}}{V_{amostra}} xV_{NaOH} x50000$$

Para análise de AVT pode-se aproveitar a amostra utilizada na alcalinidade, diminuindo a quantidade necessária de lixiviado a ser coletado.

4. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO – DQO

Amostragem: Polietileno ou vidro

Volume mínimo: 100 mL

Tipo de amostra: Simples, composta

Preservação: Adição de H_2SO_4 até pH < 2

Tempo de armazenamento: 7 dias

Procedimento:

- Diluir a amostra em 1:10, 1:4 ou 1:2 (dependendo da necessidade);

- Realizar a análise em duplicata para cada amostra e para o branco (feito com água destilada);
- Colocar 1,5 mL da solução de dicromato e 3,5 mL da solução de ácido no tubo para análise;
- Homogeneizar a amostra;
- Adicionar 2 mL da amostra no tubo;
- Fechar com cuidado o tubo;
- Encaminhar ao digestor a 150ºC por 2 horas;
- Esfriar o tubo para que seja possível realizar a leitura no espectrofotômetro;
- Utilizar o programa 955 no espectrofotômetro e fazer a leitura no comprimento de onda de 620 nm;
- Zerar o equipamento com o branco;
- Limpar o tubo com esponja de aço e papel macio, para retirar resíduos ou arranhões que atrapalhem a leitura;
- Não agitar o tubo para que o cloreto de mercúrio precipitado no fundo não altere a leitura;
- Descartar o resíduo em recipiente adequado.

5. SÓLIDOS – SÉRIE COMPLETA

Amostragem: Polietileno ou vidro

Volume mínimo: 200 mL

Tipo de amostra: Simples, composta

Preservação: Refrigerada

Tempo de armazenamento: 7 dias

Procedimento:

Sólidos totais

- Preparação: cadinho limpo e levado a mufla por 2 horas a 550ºC;
- Pesar o cadinho e obter P0;
- Transferir 100 mL da amostra bruta para o cadinho;
- Levar o cadinho à estufa por 12 horas a 105ºC;
- Depois de decorrido este tempo, esfriar o cadinho no dessecador;
- Pesar o cadinho e obter P1;
- Levar o cadinho para mufla por 2 horas;
- Depois de decorrido este tempo, esfriar o cadinho no dessecador;
- Pesar o cadinho e obter P2.
- Os sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV) são calculados por:

$$ST = \frac{(P1 - P0)}{vol.amostra} x1000$$

$$STF = \frac{(P2 - P0)}{vol.amostra} x1000$$

$$STV = ST - STF$$

Sólidos suspensos

- Preparação: membrana de fibra de vidro com 47 mm de diâmetro e abertura de poros de 2,0µm colocada no cadinho e molhada, levada a mufla por 15 minutos;
- Filtrar a amostra na membrana (o volume a ser filtrado vai depender. Filtrar até que a membrana ofereça resistência à filtração);
- Proceder de maneira análoga à análise de sólidos totais.

- Os sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos dissolvidos fixos (SDF), sólidos dissolvidos voláteis (SDV), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos fixos (SSF) são calculados por:

$$SDT = \frac{(P1 - P0)}{vol.amostra} x1000$$

$$SDF = \frac{(P2 - P0)}{vol.amostra} x1000$$

$$SDV = SDT - SDF$$

$$SST = ST - SDT$$

$$SSV = STV - SDV$$

$$SSF = STF - SDF$$

6. METAIS

Amostragem: Polietileno ou vidro enxaguado com HNO_3

Volume mínimo: 100 mL

Tipo de amostra: Simples, composta

Preservação: Para metais dissolvidos filtre imediatamente e adicione HNO_3 até pH < 2

Tempo de armazenamento: 6 meses

Procedimento:

- Colocar 50 mL da amostra sem diluição em um erlenmeyer;
- Acrescentar 6 mL de ácido nítrico 50%;

- Ferver o frasco até que diminua bastante o volume (restar cerca de 15 mL);
- Esfriar o frasco à temperatura ambiente;
- Colocar 10 mL de ácido nítrico 50%;
- Ferver o frasco até que diminua bastante o volume (restar cerca de 15 mL);
- Esfriar o frasco à temperatura ambiente;
- Acrescentar 5 mL de ácido clorídrico 50% e 7,5 mL de água destilada;
- Ferver o frasco pela última vez e esfriar à temperatura ambiente;
- Transferir o líquido para uma proveta de 50 mL com tampa e completar com água destilada;
- Transferir para o tubo de análise;
- A leitura é feita pelo técnico do laboratório na absorção atômica.

7. NITROGÊNIO AMONIACAL - NH^3

Amostragem: Polietileno ou vidro

Volume mínimo: 500 mL

Tipo de amostra: Simples, composta

Preservação: Analisar o mais rápido possível ou adicionar H_2SO_4 até pH < 2 e refrigerar

Tempo de armazenamento: 7 dias

Procedimento:

- Colocar 100 mL de amostra diluída 1:10 em uma cubeta própria para análise de nitrogênio;
- No erlenmeyer colocar 100 mL de solução de ácido bórico 2% e 5 gotas de indicador;
- Posicionar a cubeta e o erlenmeyer no destilador;
- Abrir a torneira de água!

- Ajustar o aparelho para delay 3s e destilação por 7 minutos;
- A solução do erlenmeyer passa de marrom para azul;
- Titular a amostra com solução de H_2SO_4 aproximadamente 0,2N (ponto de viragem = azul para laranja);
- Anotar o volume de ácido;
- O NH_3 é calculado por:

$$NH_3 = \frac{V_{Ácido} \times N_{Ácido} \times 14000}{V_{Amostra}} - Branco$$

O valor do branco era calculado realizando-se o processo com água destilada e era fornecido pelo laboratório. Neste caso foi informado o valor de 5mg/L.

8. NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL - NTK

Amostragem: Polietileno ou vidro

Volume mínimo: 500 mL

Tipo de amostra: Simples, composta

Preservação: Refrigerar e adicionar H_2SO_4 até pH < 2

Tempo de armazenamento: 7 dias

Procedimento:

- Pesar 10 g de catalisador para NTK e colocar na cubeta;
- Colocar 25 mL de amostra;
- Adicionar 20 mL de H_2SO_4;
- Levar a cubeta ao digestor de nitrogênio (15 min em potência 10 e 45 mi em potência 8);
- Após este tempo verificar se a solução ficou verde;
- Esfriar a cubeta em temperatura ambiente;
- No erlenmeyer colocar 100 mL de solução de ácido bórico 2% e 5 gotas de

indicador;

- Posicionar a cubeta e o erlenmeyer no destilador;
- Abrir a torneira de água!
- Ajustar o aparelho para H_2O 50 mL, NaOH 110 mL, delay 3s e destilação por 7 minutos;
- A solução do erlenmeyer passa de marrom para azul;
- Titular a amostra com solução de H_2SO_4 aproximadamente 0,2N (ponto de viragem = azul para laranja);
- Anotar o volume de ácido;
- O NTK é calculado por:

$$NTK = \frac{V_{Ácido} \times N_{Ácido} \times 14000}{V_{Amostra}} - Branco$$

De forma análoga ao N amoniacal, o valor de branco para NTK foi 14mg/L.

ANEXO B – RESULTADOS DAS ANÁLISES

Neste anexo são apresentados os resultados das análises realizadas neste trabalho de pesquisa.

pH

TABELA B.1: Valores de pH no período seco

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	8,25	8,07	8,43	
17.06.09	8,51	8,34	8,66	
25.06.09	8,27	8,12	7,98	8,12
01.07.09	8,39	8,26	8,23	8,51
07.07.09	8,37	8,18	8,54	8,34
14.07.09	8,33	8,22	8,62	8,43
04.08.09	8,34	8,18	8,66	8,37
11.08.09	8,37	8,19	8,66	8,31
18.08.09	8,50	8,41	8,80	8,35
24.08.09	8,06	8,05	8,53	8,30
01.09.09	8,13	8,14	8,63	8,38
MÉDIA	**8,32**	**8,20**	**8,52**	**8,35**

TABELA B.2: Valores de pH no período chuvoso

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	8,25	8,35	8,75	8,49
10.11.09	8,15	8,19	8,53	8,44
17.11.09	8,06	8,18	8,45	8,32
24.11.09	8,23	8,21	8,51	8,49
01.12.09	8,14	8,26	8,56	8,38
MÉDIA	**8,17**	**8,24**	**8,56**	**8,42**

ALCALINIDADE

TABELA B3: Valores de alcalinidade no período seco (valores em mg/L$CaCO_3$)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	10910	10910	7691	
17.06.09	9656	9677	5539	
25.06.09	11600	11328	8841	5434
01.07.09	10047	10579	8353	4807
07.07.09	11564	11820	10362	4767
14.07.09	11584	11446	9436	4846
04.08.09	11131	11564	6994	4098
11.08.09	11485	11446	6895	3881
18.08.09	10382	9397	4925	3369
24.08.09	4157	6836	4492	2541
01.09.09	7722	8609	6225	3881
MÉDIA	**10021**	**10328**	**7250**	**4180**

TABELA B.4: Valores de alcalinidade no período chuvoso (valores em mg/L$CaCO_3$)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	7266	10185	7476	3570
10.11.09	5670	11004	6699	3297
17.11.09	7812	11235	8253	3591
24.11.09	5964	10647	5817	3465
01.12.09	5040	10941	6741	3045
MÉDIA	**6350**	**10802**	**6997**	**3394**

ÁCIDOS VOLÁTEIS TOTAIS – AVT

TABELA B5: Valores de ácidos voláteis totais (AVT) no período seco (valores em mg/L$CaCO_3$)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	475	380	570	
17.06.09	475	380	143	
25.06.09	618	428	380	238
01.07.09	523	475	333	238
07.07.09	618	523	285	285
14.07.09	523	428	238	333
04.08.09	523	475	238	285
11.08.09	618	523	285	333
18.08.09	523	428	238	333
24.08.09	190	570	380	143
01.09.09	380	475	190	143
MÉDIA	**497**	**462**	**298**	**259**

TABELA B6: Valores de ácidos voláteis totais (AVT) no período chuvoso (valores em mg/L$CaCO_3$)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	328	410	267	185
10.11.09	252	693	263	179
17.11.09	357	525	326	189
24.11.09	273	504	357	116
01.12.09	210	525	452	137
MÉDIA	**284**	**531**	**333**	**161**

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO – DQO

TABELA B7: Valores de DQO no período seco (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	5104	3767	3974	
17.06.09	5670	4266	3099	
25.06.09	5434	3986	3523	3253
01.07.09	5267	3957	3748	3286
07.07.09	7069	5158	3573	3222
14.07.09	5775	4150	3233	3241
04.08.09	4852	4435	2714	3378
11.08.09	5262	4354	2857	3485
18.08.09	5101	4007	2466	3045
24.08.09	1577	3188	2128	1034
01.09.09	3421	3469	2447	1547
MÉDIA	**4957**	**4067**	**3069**	**2832**

TABELA B8: Valores de DQO no período chuvoso (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	2412	3350	2704	1702
10.11.09	1911	3887	2271	1530
17.11.09	2906	3778	2916	1713
24.11.09	2083	3485	2188	1549
01.12.09	1794	3969	3247	1305
MÉDIA	**2221**	**3694**	**2665**	**1560**

NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL - NTK

TABELA B9: Valores de NTK no período seco (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	2528	2469	1287	
17.06.09	2608	2420	969	
25.06.09	2865	3509	1800	1508
01.07.09	2976	2590	1784	1630
07.07.09	2998	2810	1983	1387
14.07.09	2612	2909	1762	1497
04.08.09	2921	2876	1409	1464
11.08.09	2656	2876	1431	1398
18.08.09	3229	3207	1872	1508
24.08.09	1034	1619	891	736
01.09.09	1773	2225	1188	1056
MÉDIA	**2564**	**2683**	**1489**	**1354**

N AMONIACAL

TABELA B10: Valores de N amoniacal no período seco (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	2383	2257	1072	
17.06.09	2462	2751	826	
25.06.09	2602	2625	1239	1241
01.07.09	2538	2485	1608	1286
07.07.09	2651	1851	1661	1184
14.07.09	2643	2565	1471	1239
04.08.09	2552	2554	1151	1186
11.08.09	2574	2588	991	1106
18.08.09	2588	2494	1062	985
24.08.09	886	1404	651	541
01.09.09	1664	1851	897	800
MÉDIA	**2290**	**2267**	**1148**	**1063**

Os valores destacados na tabela anterior apresentaram erro durante a execução da análise, já que não é possível que os valores de N amoniacal sejam maiores que o de NTK. Estes não foram considerados na média.

SÓLIDOS TOTAIS

TABELA B11: Valores de sólidos totais no período seco (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	18043	10575	13352	
17.06.09	18077	14557	13321	
25.06.09	15815	11300	14028	9355
01.07.09	14915	9395	12669	14387
07.07.09	17880	16245	14355	9316
14.07.09	15320	12357	13643	10594
04.08.09	18026	15102	12777	9152
11.08.09	18594	16321	12282	9477
18.08.09	19880	14835	14018	9713
24.08.09	4851	7065	7089	3766
01.09.09	8590	8913	10440	5027
MÉDIA	**15454**	**12424**	**12543**	**8976**

TABELA B12: Valores de sólidos totais no período chuvoso (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	7287	11984	12889	5902
10.11.09	5054	11670	9656	4893
17.11.09	8060	11450	11845	5080
24.11.09	6072	11038	8288	5298
01.12.09	5096	11462	9643	3538
MÉDIA	**6314**	**11521**	**10464**	**4942**

SÓLIDOS TOTAIS FIXOS

TABELA B13: Valores de sólidos totais fixos no período seco (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	9209	8227	10507	
17.06.09	9395	9266	10434	
25.06.09	9626	8837	11206	6865
01.07.09	8854	7115	9708	11202
07.07.09	9293	8982	11101	6851
14.07.09	10141	9737	11008	7830
04.08.09	9080	8835	9220	6793
11.08.09	9018	8792	9573	6934
18.08.09	9965	9129	9880	7286
24.08.09	3250	5359	4871	2694
01.09.09	5932	6545	7923	3795
MÉDIA	**8524**	**8257**	**9585**	**6694**

TABELA B14: Valores de sólidos totais fixos no período chuvoso (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	5398	8545	8514	4666
10.11.09	4085	8223	6968	3629
17.11.09	5949	8779	8976	3680
24.11.09	4318	8116	5969	3847
01.12.09	3624	8209	6749	2608
MÉDIA	**4675**	**8374**	**7435**	**3686**

SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS

TABELA B15: Valores de sólidos totais voláteis no período seco (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	8834	2348	2845	
17.06.09	8682	5291	2887	
25.06.09	6189	2463	2822	2490
01.07.09	6061	2280	2961	3185
07.07.09	8587	7263	3254	2465
14.07.09	5179	2620	2635	2764
04.08.09	8946	6267	3557	2359
11.08.09	9576	7529	2709	2543
18.08.09	9915	5706	4138	2427
24.08.09	1601	1706	2218	1072
01.09.09	2658	2368	2517	1232
MÉDIA	**6930**	**4167**	**2958**	**2282**

TABELA B16: Valores de sólidos totais voláteis no período chuvoso (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	1889	3439	4375	1236
10.11.09	969	3447	2688	1264
17.11.09	2111	2671	2869	1400
24.11.09	1754	2922	2319	1451
01.12.09	1472	3253	2894	930
MÉDIA	**1639**	**3146**	**3029**	**1256**

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS

TABELA B17: Valores de sólidos suspensos totais no período seco (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	87	59	430	
17.06.09	113	66	350	
25.06.09	95	144	251	167
01.07.09	93	89	315	100
07.07.09	87	77	305	206
14.07.09	76	117	285	164
04.08.09	91	81	159	110
11.08.09	86	76	258	368
18.08.09	93	90	235	180
24.08.09	53	90	234	40
01.09.09	57	165	157	43
MÉDIA	**85**	**96**	**271**	**153**

TABELA B18: Valores de sólidos suspensos totais no período chuvoso (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	49	116	173	150
10.11.09	21	97	143	478
17.11.09	37	158	150	640
24.11.09	66	111	206	686
01.12.09	30	73	139	103
MÉDIA	**41**	**111**	**162**	**411**

SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS

TABELA B19: Valores de sólidos suspensos fixos no período seco (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	33	21	95	
17.06.09	23	28	110	
25.06.09	30	22	56	71
01.07.09	18	45	73	45
07.07.09	25	23	80	56
14.07.09	25	38	75	72
04.08.09	19	14	34	40
11.08.09	16	21	53	136
18.08.09	31	27	43	52
24.08.09	8	3	11	4
01.09.09	20	35	35	10
MÉDIA	**22**	**25**	**60**	**54**

TABELA B20: Valores de sólidos suspensos fixos no período chuvoso (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	14	28	39	45
10.11.09	4	18	19	205
17.11.09	8	36	30	280
24.11.09	11	30	36	251
01.12.09	2	18	30	38
MÉDIA	**8**	**26**	**31**	**164**

SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS

TABELA B21: Valores de sólidos suspensos voláteis no período seco (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
03.06.09	54	38	335	
17.06.09	90	38	240	
25.06.09	65	122	196	96
01.07.09	75	44	243	55
07.07.09	62	54	225	150
14.07.09	51	78	210	92
04.08.09	73	67	124	70
11.08.09	70	54	205	232
18.08.09	62	63	193	128
24.08.09	44	87	223	36
01.09.09	37	130	122	33
MÉDIA	**62**	**70**	**210**	**99**

TABELA B22: Valores de sólidos suspensos voláteis no período chuvoso (valores em mg/L)

Data	1ª ampliação	2ª ampliação	3ª ampliação	Aterro Antigo
27.10.09	35	88	134	105
10.11.09	17	80	124	273
17.11.09	29	122	120	360
24.11.09	55	81	170	434
01.12.09	28	55	109	65
MÉDIA	**33**	**85**	**132**	**247**

ANEXO C – RESULTADOS DOS METAIS

1ª AMPLIAÇÃO – PERÍODO SECO

Data da coleta	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
03.06.09	0,476	ND	0,007	0,347	5,387	0,116	0,064	0,443		
17.06.09	0,504	0,22	0,038	0,391	4,290	0,108	0,034	0,412		
25.06.09	0,566	0,41	0,072	0,455	4,002	0,117	0,053	0,521		
01.07.09	0,555	0,52	0,076	0,487	4,157	0,132	0,038	0,449	2578	2162
07.07.09	0,531	ND	0,018	0,355	3,971	0,102	0,035	0,486	2883	2266
14.07.09	0,502	0,22	0,024	0,401	4,135	0,106	0,030	0,463	2290	1923
04.08.09	0,347	ND	ND	0,226	2,912	0,071	0,025	0,396	2030	1781
11.08.09	0,482	0,32	0,035	0,434	3,072	0,108	0,047	0,464	2098	2011
18.08.09	0,423	0,17	0,022	0,407	4,266	0,098	0,024	0,473	4602	3828
24.08.09	0,087	0,29	0,019	0,146	2,319	0,137	0,015	0,077	895	691
01.09.09	0,278	0,58	0,037	0,339	2,802	0,142	0,012	0,218	1569	1233

1ª AMPLIAÇÃO – PERÍODO CHUVOSO

Data da coleta	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
27.10.09	0,177	0,23	0,051	0,239	2,927	0,106	0,019	0,209	1363	1170
10.11.09	0,148	0,14	0,017	0,151	2,458	0,121	0,014	0,042	974	929
17.11.09	0,917	0,23	0,018	0,331	4,773	0,125	0,027	0,143	1579	1280
24.11.09	0,220	ND	0,048	0,152	3,274	0,116	0,058	0,108	1246	958
01.12.09	0,056	ND	0,014	0,120	2,333	0,139	ND	0,057	838	745

2ª AMPLIAÇÃO – PERÍODO SECO

Data da coleta	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
03.06.09	0,456	ND	0,012	0,308	7,150	0,121	0,036	0,345		
17.06.09	0,578	0,19	0,031	0,363	7,884	0,115	0,013	0,432		
25.06.09	0,529	0,48	0,070	0,449	6,510	0,114	0,031	0,419		
01.07.09	0,499	0,36	0,057	0,414	6,753	0,102	0,032	0,372	2290	2001
07.07.09	0,569	0,05	0,122	0,344	7,582	0,103	0,017	0,387	2763	2131
14.07.09	0,481	0,07	0,029	0,340	7,342	0,100	0,026	0,344	2098	1772
04.08.09	0,349	ND	0,039	0,258	5,446	0,063	0,008	0,295	2006	1837
11.08.09	0,375	0,26	0,021	0,395	6,583	0,095	0,027	0,344	2030	1991
18.08.09	0,402	0,24	0,024	0,393	6,580	0,091	0,017	0,385	2008	1962
24.08.09	0,212	0,32	0,018	0,248	4,793	0,084	0,004	0,192	1381	1131
01.09.09	0,413	0,56	0,060	0,349	5,738	0,104	0,021	0,248	1877	1420

2ª AMPLIAÇÃO – PERÍODO CHUVOSO

Data da coleta	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
27.10.09	0,339	0,13	0,067	0,311	6,242	0,118	0,029	0,239	2064	1809
10.11.09	0,546	0,18	0,023	0,349	6,877	0,142	0,020	0,222	1942	1763
17.11.09	1,139	0,45	0,026	0,491	7,133	0,158	0,030	0,265	2417	1809
24.11.09	0,431	0,05	0,015	0,306	7,160	0,141	0,014	0,245	2404	1680
01.12.09	0,348	0,24	0,034	0,328	7,639	0,125	ND	0,273	1877	1680

3ª AMPLIAÇÃO – PERÍODO SECO

Data da coleta	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
03.06.09	0,424	0,28	0,067	0,327	7,671	0,064	0,057	0,079		
17.06.09	0,274	0,26	0,048	0,341	6,975	0,065	0,027	0,054		
25.06.09	0,380	0,52	0,101	0,377	10,810	0,129	0,051	0,096		
01.07.09	0,416	0,55	0,094	0,374	8,450	0,133	0,050	0,116	2913	2843
07.07.09	0,305	0,21	0,026	0,306	8,372	0,072	0,036	0,086	3387	2771
14.07.09	0,310	0,20	0,029	0,362	10,072	0,071	0,031	0,117	2550	2395
04.08.09	0,207	ND	ND	0,197	5,346	0,072	0,025	0,035	1974	1923
11.08.09	0,277	0,34	0,054	0,350	3,601	0,085	0,045	0,072	3651	2298
18.08.09	0,284	0,50	0,061	0,382	4,253	0,087	0,034	0,070	2145	2266
24.08.09	0,115	0,26	0,025	0,171	6,604	0,361	0,017	0,043	1181	1025
01.09.09	0,174	0,57	0,045	0,319	5,404	0,113	0,007	0,052	2192	1818

3ª AMPLIAÇÃO – PERÍODO CHUVOSO

Data da coleta	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
27.10.09	0,227	0,24	0,059	0,267	3,711	0,074	0,043	0,135	2008	1942
10.11.09	0,190	0,07	0,018	0,179	3,836	0,146	0,022	0,018	1598	1609
17.11.09	1,092	0,52	0,024	0,379	5,323	0,091	0,039	0,078	2216	2080
24.11.09	0,144	0,03	0,019	0,167	4,092	0,142	0,022	0,056	1588	1321
01.12.09	0,117	0,09	0,033	0,179	3,889	0,174	0,004	0,074	1532	1583

ATERRO ANTIGO – PERÍODO SECO

Data da coleta	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
03.06.09										
17.06.09										
25.06.09	1,057	0,42	0,106	0,490	146,600	3,226	0,156	0,677		
01.07.09	0,581	0,47	0,072	0,432	15,610	0,200	0,057	0,247	2456	2214
07.07.09	0,498	0,05	0,014	0,380	32,542	0,794	0,115	0,461	2064	1378
14.07.09	0,706	0,17	0,027	0,421	52,362	1,344	0,132	0,493	1764	1256
04.08.09	0,382	ND	ND	0,333	12,376	0,396	0,095	0,308	1542	1201
11.08.09	0,526	0,13	0,015	0,486	17,769	0,616	0,137	0,341	3038	1412
18.08.09	0,496	0,41	0,041	0,504	9,361	0,577	0,124	0,292	1794	1378
24.08.09	0,126	0,39	0,030	0,178	2,762	0,293	0,028	0,047	703	468
01.09.09	0,137	0,26	0,021	0,210	6,652	0,310	0,032	0,084	1004	698

ATERRO ANTIGO – PERÍODO CHUVOSO

Data da coleta	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ni (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
27.10.09	0,411	0,08	0,035	0,252	64,872	1,594	0,084	0,292	1110	872
10.11.09	0,174	ND	0,011	0,139	7,327	0,559	0,044	0,064	916	780
17.11.09	0,569	0,50	0,014	0,327	14,983	1,034	0,060	0,121	974	752
24.11.09	0,202	0,03	0,018	0,185	22,210	1,080	0,051	0,105	1134	773
01.12.09	0,104	0,09	0,014	0,150	9,779	0,444	0,029	0,062	599	506