

**AVALIAÇÃO DAS LAGOAS ANAERÓBIAS NA REMOÇÃO  
DA MATÉRIA CARBONÁCEA PRESENTE NO LIXIVIADO  
DE UM ATERRO SANITÁRIO – ESTUDO EM ESCALA REAL**

Murillo Turnes Rosa

Orientadora  
Msc. Iracema de Souza Maia

2012/2



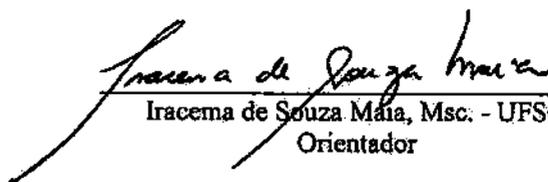
Murillo Turnes Rosa

**AVALIAÇÃO DAS LAGOAS ANAERÓBIAS NA REMOÇÃO DA  
MATÉRIA CARBONÁCEA PRESENTE NO LIXIVIADO DE UM  
ATERRO SANITÁRIO – ESTUDO EM ESCALA REAL**

Este Trabalho de Graduação foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pela Comissão examinadora e pelo Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, fevereiro de 2013.

**Banca Examinadora:**

  
Iracema de Souza Maia, Msc. - UFSC  
Orientador

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Rejane Helena Ribeiro da Costa - UFSC

  
Claudia Lavina Martins, Dr.<sup>a</sup> - UFSC



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Sérgio e Ieda, que me educaram, me deram carinho, amor, ensinamentos, além de todo o suporte necessário ao longo da vida.

À minha irmã, Nathália, pelo carinho, suporte, companhia, tolerância e motivação durante os anos de minha vida.

A toda minha família, pelo carinho e apoio que sempre me deram.

À Kátia, por toda a dedicação e educação dadas durante a jornada inicial de minha vida.

Aos meus amigos, pelo companheirismo de sempre.

À Universidade Federal de Santa Catarina, juntamente com seus professores, pelos ensinamentos e dedicação.

Aos meus amigos e companheiros, Tiago, Leonardo, Guilherme e Luiz Paulo, pela parceria em todos os passos nesses 5 anos de faculdade.

À Iracema, pela orientação e seu esforço.

Aos membros do LARESO que fizeram parte, em diferentes intensidades, dessa pesquisa apresentada.

Ao LIMA, por disponibilizar os materiais necessários a presente pesquisa.

À empresa gestora do aterro sanitário, por disponibilizar o local de estudo.

À Jéssica, por toda a atenção, carinho, incentivo e dedicação prestadas nesses meses mais intensos de trabalho.

Ao meu primo, amigo, companheiro de faculdade e de estágio, Vítor, pela paciência e pela revisão prestada.

Ao Samuel, companheiro de estágio, pelo suporte na utilização de *softwares* e obtenção de dados.

Aos membros da banca, Cláudia e Rejane, por se disporem a avaliar este trabalho.

A Deus, pela vida.

Enfim, a todos, que de uma forma ou outra, me ajudaram nessa caminhada.

“Aprenda como se você fosse viver  
para sempre. Viva como se você  
fosse morrer amanhã.”

(Mahatma Gandhi)

## RESUMO

A geração constante de resíduos nos grandes aglomerados urbanos e sua seguida disposição em aterros sanitários proporcionam a formação de subprodutos da decomposição da matéria orgânica, como o biogás e o lixiviado. Sendo que o lixiviado é um efluente com alto potencial poluidor dos corpos hídricos e do solo devido às suas elevadas concentrações de matéria orgânica biodegradável e total, compostos inorgânicos e metais pesados. Portanto, um correto e eficaz tratamento deve ser uma das prioridades no gerenciamento de aterros. No Brasil, os sistemas de lagoas de estabilização têm sido utilizados em larga escala para o tratamento deste líquido peculiar. O objetivo geral deste estudo foi avaliar as lagoas anaeróbias na remoção da matéria carbonácea presente no lixiviado de um aterro sanitário. O estudo foi feito em escala real em duas lagoas anaeróbias dispostas em série, monitoradas para as variáveis DBO<sub>5</sub> e DQO em pontos de entrada e saída de cada lagoa. Foi realizado um total de 19 coletas entre 14 de março e 17 de dezembro. O lixiviado bruto foi caracterizado através de seus principais parâmetros físico-químicos de qualidade e algumas variáveis operacionais foram calculadas ao longo do estudo. Com os dados obtidos constatou-se que o lixiviado apresentou relação DBO/DQO em torno de 0,39; a remoção da matéria carbonácea para o sistema foi, em média, de 44% em termos de DBO<sub>5</sub> e de 34 e 33% para DQO<sub>total</sub> e DQO<sub>solúvel</sub>, respectivamente; a vazão média de 179,9 ±139,0 m<sup>3</sup>/d influenciou sobre a eficiência do sistema, sendo que nos meses de excedente hídrico o tratamento foi ineficiente, e nos meses de baixa vazão, registrados de setembro a dezembro, o tratamento foi mais eficiente, com contribuição da elevada temperatura.

**Palavras-chave:** aterro sanitário, lixiviados, lagoas anaeróbias.

## ABSTRACT

The constant generation of waste in the big urban agglomerations and its straight disposal in sanitary landfills provides the formation of byproducts from the organic material, such as the biogas and the leachate. The leachate is an effluent, which contains high polluter potential of soil and hydric bodies due to its elevated concentrations of total and biodegradable organic material, inorganic compounds and heavy metals. Therefore, an accurate and effective treatment should be one of the priorities in landfill sites management. In Brazil, the stabilization lagoon systems have been utilized in large scale for the treatment of this peculiar liquid. The general objective of this study was to evaluate the anaerobic laggons in the removal of the carbon material located in the leachate of a sanitary landfill site. The study was made in large scale in two anaerobic laggons disposed in series, monitored for the variables BOD<sub>5</sub> and COD in input and output points of each lagoon. It was accomplished an amount of 19 collections between the 14<sup>th</sup> march and the 17<sup>th</sup> december. The crude leachate was characterized through its physical and quimical paramaters of quality and some operational variables were calculated along the study. From the data obtained, it was found that the leachate exhibited ratio BOD/COD around 0,39; the remotion of the carbon material for the system was an average of 44% for BOD<sub>5</sub> and of 34% and 33% for COD<sub>total</sub> e COD<sub>soluble</sub>, respectively; the average output of 179,9 ±139,0 m<sup>3</sup>/d influenced over the system efficiency. In the months with hydric excess, the treatment was ineffective and in the months with low output, registered from september to december, the treatment was efficient, with a contribution from the high temperature.

**Key words:** sanitary landfill, leachate, anaerobic lagoons.

## LISTA DE FIGURAS:

Figura 1: Destinação final de RSU no Estado de Santa Catarina (t/dia). .....	20
Figura 2: Representação Esquemática de um Aterro Sanitário. ....	21
Figura 3: Mesorregião do Vale do Itajaí, Santa Catarina. ....	32
Figura 4: Foto aérea do aterro sanitário.....	33
Figura 5: Fluxograma ilustrativo do atual sistema de tratamento de lixiviados. ....	34
Figura 6: Imagem satélite dos componentes do sistema de tratamento de lixiviados. ....	34
Figura 7: Lagoa Anaeróbia 1 (centro) e Lagoa Anaeróbia 2 (ao fundo). .....	35
Figura 8: Pontos de amostragem do lixiviado. ....	36
Figura 9: Pontos de coleta – P1 (a); P2 (b); P3 (c) e P4 (d) .....	36
Figura 10: Instrumento e procedimento de coleta. ....	38
Figura 11: Série temporal de vazões diárias em 2012. ....	48
Figura 12: Variação das cargas de aplicação volumétricas nas lagoas anaeróbias 1 e 2. ....	50
Figura 13: Variação do TDH nas lagoas durante o monitoramento. ....	51
Figura 14: Variação do parâmetro $DBO_5$ ao longo do período em estudo. .....	53
Figura 15: Variação do parâmetro $DQO_T$ ao longo do período em estudo. ....	55
Figura 16: Variação do parâmetro $DQO_f$ ao longo do período em estudo. .....	57

## LISTA DE QUADROS:

Quadro 1: Composição do lixiviado de diferentes idades em aterros sanitários brasileiros.....	23
Quadro 2: Variação da composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros.....	24
Quadro 3: Estudo de diferentes parâmetros em sistemas compostos por lagoas anaeróbias no tratamento de lixiviados.....	28
Quadro 4: Padrões de lançamento de efluentes conforme legislações vigentes.....	30
Quadro 5: Datas de coleta do lixiviado.....	37
Quadro 6: Parâmetros, procedimentos metodológicos e pontos analisados.....	39
Quadro 7: Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na entrada do sistema de lagoas - lixiviado bruto (P1).....	44
Quadro 8: Dimensões das lagoas anaeróbias.....	47
Quadro 9: Volumes de lodo e lixiviado, valores em m <sup>3</sup> .....	47
Quadro 10: Chuvas mensais em 2012.....	48
Quadro 11: Estatística descritiva de vazão.....	48
Quadro 12: Média das variáveis operacionais.....	49
Quadro 13: Estatística descritiva do parâmetro DBO <sub>5</sub> nas lagoas durante o período de estudo (em mg/L).....	52
Quadro 14: Estatística descritiva do parâmetro DQO <sub>T</sub> nas lagoas durante o período de estudo (em mg/L).....	54
Quadro 15: Estatística descritiva do parâmetro DQO <sub>f</sub> nas lagoas durante o período de estudo (em mg/L).....	56
Quadro 16: Temperatura média mensal em uma estação meteorológica próxima ao aterro, 2012.....	58
Quadro 17: Valores diários da vazão, em 2012, na entrada do sistema (m <sup>3</sup> /d).....	66
Quadro 18: Demandas bioquímicas de oxigênio (DBO <sub>5</sub> ) nos pontos de coleta durante o monitoramento.....	67
Quadro 19: Demandas químicas de oxigênio total (DQO <sub>T</sub> ) nos pontos de coleta durante o monitoramento.....	68
Quadro 20: Demandas químicas de oxigênio solúvel (DQO <sub>f</sub> ) nos pontos de coleta durante o monitoramento.....	69
Quadro 21: Valores de pH, temperatura, turbidez, cor e alcalinidade no lixiviado bruto durante o monitoramento.....	70
Quadro 22: Concentrações de fósforo, NTK, N-amoniacal, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis no lixiviado bruto durante o monitoramento.....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
APHA – *American Public Health Association*  
CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CIRAM – Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COT – Carbono Orgânico Total  
CVA – Carga Volumétrica Aplicada  
DBO<sub>5</sub> – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
DQO<sub>f</sub> – Demanda Química de Oxigênio filtrada  
DQO<sub>T</sub> – Demanda Química de Oxigênio total  
E – Eficiência de Remoção  
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina  
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica  
LA1 – Lagoa Anaeróbia 1  
LA2 – Lagoa Anaeróbia 2  
LARESO – Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos  
LIMA – Laboratório Integrado de Meio Ambiente  
NBR – Norma Brasileira  
NTK – Nitrogênio Total *Kjeldhal*  
NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez  
P1 – Ponto de Entrada da Lagoa Anaeróbia 1  
P2 - Ponto de Saída da Lagoa Anaeróbia 1  
P3 - Ponto de Entrada da Lagoa Anaeróbia 2  
P4 - Ponto de Saída da Lagoa Anaeróbia 2  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico  
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos  
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SFT – Sólidos Fixos Totais

SST – Sólidos Suspensos Totais

ST – Sólidos Totais

SVT – Sólidos Voláteis Totais

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USAB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

## SUMÁRIO:

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	18
3.2. ATERRO SANITÁRIO .....	20
3.3. LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIO .....	22
3.4. TÉCNICAS DE TRATAMENTO DO LIXIVIADO .....	25
3.4.1. Lagoas de Estabilização.....	26
3.4.1.1. Lagoas Anaeróbias.....	27
3.5. LEGISLAÇÃO APLICADA A LIXIVIADOS.....	29
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
4.1. LOCAL DE ESTUDO .....	32
4.1.1. O sistema de tratamento de lixiviados .....	33
4.2. AMOSTRAGEM DO LIXIVIADO .....	35
4.2.1. Locais de amostragem .....	35
4.2.2. Forma e período de amostragem .....	37
4.2.3. Parâmetros e métodos analíticos .....	39
4.3. CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO LIXIVIADO .....	40
4.4. VARIÁVEIS OPERACIONAIS .....	40
4.5. EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO.....	42
4.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS .....	43
4.7. ESTUDO PARA PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS E ADEQUAÇÕES AO SISTEMA .....	43
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>44</b>
5.1. CARACTERÍSTICAS DO LIXIVIADO.....	44
5.2. VARIÁVEIS OPERACIONAIS .....	47
5.3. EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO.....	51
5.3.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio - $DBO_5$ .....	51
5.3.2. Demanda Química de Oxigênio - $DQO_T$ .....	53
5.3.3. Demanda Química de Oxigênio - $DQO_f$ .....	56
5.4. PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS AO SISTEMA .....	58

<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>66</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A geração constante de resíduos sólidos nos grandes aglomerados urbanos, fruto das atividades antrópicas associadas à produção e ao consumo de diversos materiais, é um dos grandes paradigmas da atualidade. Tchobanoglous, Theisen e Eliassen (1997) relatam que problemas com a disposição final dos resíduos datam desde as primeiras civilizações, onde seu acúmulo tornou-se uma consequência da vida. Apenas no século XIX, governos passam a adotar medidas de controle de saúde pública, considerando, portanto, as técnicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Dentre os procedimentos técnicos adotados desde então, Ferreira (1999) informa que além de ser a técnica mais utilizada no mundo para a disposição de resíduos urbanos, o aterro sanitário é um elemento final obrigatório em um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos. Sendo assim, a disposição destes resíduos em aterros sanitários proporciona a formação de subprodutos da decomposição da matéria orgânica, como o biogás e o lixiviado, o qual é definido como o resultado da mistura da água que infiltra e percola através dos resíduos com os produtos da decomposição destes mesmos resíduos (SOUTO, 2009).

Deste modo, a impermeabilização e a drenagem da área onde se dispõe os resíduos são fundamentais para que o lixiviado não infiltre no subsolo do aterro e contamine o lençol freático, visto que estes líquidos apresentam características físico-químicas com alto potencial poluidor e de difícil caracterização, que sofre a interferência das condições climáticas, das características dos resíduos sólidos e dos fatores operacionais do aterro. Sabendo-se das dificuldades no tratamento do lixiviado, para dar condições de lançamento do efluente nos corpos receptores, é necessário um tratamento específico, que pode ser tanto biológico quanto físico-químico, ou ainda combinação de ambos (RENOU *et al.*, 2008). No Brasil, o tratamento ocorre geralmente de modo físico-químico e também biológico, neste último têm-se as lagoas de estabilização, bem como os lodos ativados.

A partir desta premissa, pesquisas vêm sendo realizadas junto ao Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos (LARESO) da Universidade Federal de Santa Catarina, em parceria com a empresa prestadora de serviços ao aterro. Estas pesquisas apresentam como temática: “O tratamento de lixiviados de aterros sanitários com foco na remoção amoniacal, matéria orgânica biodegradável e compostos recalcitrantes”, inserem-se no Tema III do Edital IV do Prosab (Programa de Saneamento Básico) e recebem recursos do Finep (Financiadora de Estudos e

Projetos). Enquadra-se neste contexto, a tese de doutorado de Iracema de Souza Maia. Abrangendo parte desta tese, o presente trabalho de conclusão de curso tem como enfoque a avaliação da eficiência das lagoas anaeróbias na remoção da matéria carbonácea presente no lixiviado de um aterro sanitário de Santa Catarina.

## 2. OBJETIVOS

A seguir, serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

### 2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as lagoas anaeróbias na remoção da matéria carbonácea presente no lixiviado de um aterro sanitário catarinense.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho convergiu-se nos seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o lixiviado bruto através de seus principais parâmetros de qualidade;
- Determinar variáveis operacionais das lagoas anaeróbias;
- Analisar o desempenho do sistema de lagoas anaeróbias quanto à eficiência da remoção da matéria carbonácea;
- Propor melhorias e adequações para o sistema atual.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item irá apresentar de forma geral os elementos necessários à compreensão da temática abordada conforme a literatura disponível.

#### 3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Conforme a Lei Federal nº. 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, tem-se no inciso XVI do art. 3º que os resíduos sólidos são:

*“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”*

Enquanto a ABNT, através da NBR 10.004 (2004), é mais abrangente ao definir resíduos sólidos como aqueles resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. A mesma norma inclui, 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 seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de águas, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente viáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Segundo Castilhos Jr. *et al.* (2003) o conhecimento das características e da classificação dos resíduos sólidos é necessário para o prognóstico de estratégias de gerenciamento de resíduos. O gerenciamento adequado minimiza possíveis impactos ambientais e prejuízos à saúde pública decorrentes da liberação de emissões gasosas e líquidas.

Os mesmos autores afirmam que algumas das classificações mais usadas são: segundo a origem, grau de periculosidade para o meio ambiente e à saúde pública, grau de biodegradabilidade, fração seca e úmida, fração reciclável e não reciclável e outras. As características físicas, químicas e biológicas dos resíduos sólidos podem ser identificadas em qualquer etapa do gerenciamento dos resíduos, desde o momento da sua geração até a disposição final (CASTILHOS Jr. *et al.*, 2003).

Estes resíduos podem ser classificados então, de acordo com a NBR 10.004 da ABNT como: Classe I, Classe II-A, Classe II-B, conforme se descreve a seguir:

- Classe I (Perigosos): classificados como perigosos devido a suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.
- Classe II–A (Não Inertes): aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos classe I. Resíduos classe II-A podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Classe II–B (Inertes): Quaisquer resíduos que, quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

No que se refere à gestão dos resíduos sólidos, entende-se a caracterização e classificação dos resíduos como um mecanismo de gerenciamento que aperfeiçoa a escolha pelo melhor tratamento e disposição final destes. O tratamento dos resíduos sólidos urbanos pode ser definido como uma série de procedimentos destinados a reduzir a sua quantidade ou o seu potencial poluidor, seja impedindo seu descarte em ambiente ou em local inadequado, seja transformando-o em material inerte ou biologicamente estável (RECESA, 2008).

A Figura 1 mostra, em Santa Catarina, a destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) nos anos de 2009 e 2010.

**Figura 1: Destinação final de RSU no Estado de Santa Catarina (t/dia).**



Fonte: ABRELPE (2010).

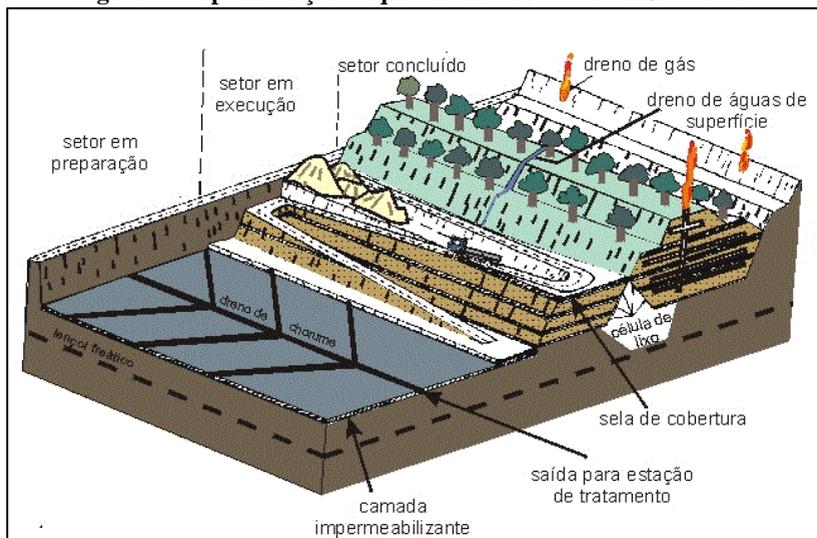
Observa-se que apesar da proporção da destinação de RSU em lixões ter diminuído, a quantidade de resíduos destinada neste local aumentou. Isto prova que a geração de RSU aumentou para as três formas indicadas no gráfico e que o Poder Público tem sido pouco eficaz na ação de minimizar a destinação de resíduos em lixões.

### 3.2. ATERRO SANITÁRIO

De acordo com Bidone e Povinelli (1999) os aterros sanitários consistem num “processo para disposição de resíduos sólidos no solo, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo seu confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública”. Contemplam, dentre outros, procedimentos para a impermeabilização de fundo (obrigatória) e superior (opcional); sistema de coleta e tratamento do lixiviado; sistema de coleta e queima ou beneficiamento do biogás; sistema de drenagem e afastamento de águas pluviais; sistema de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico (BIDONE & POVINELLI, 1999).

Por meio da NBR 8.419, a ABNT (1996) define aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, como uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário, como ilustra a Figura 2.

**Figura 2: Representação Esquemática de um Aterro Sanitário.**



**Fonte: Propin/Capes & Unesp/IGCE (1999).**

Segundo Finkler (2002), dentre os diversos modos de tratamento de resíduos urbanos, os aterros sanitários se destacam como o método de disposição final de resíduos mais utilizados no Brasil para minimização de impactos negativos de ordem ambiental e de saúde pública. O mesmo autor alega que sua larga utilização deve-se ao fato de sua simplicidade executiva, sua alta capacidade de absorção diária de resíduos e seu baixo custo, quando comparada às demais maneiras de tratamento e disposições legais. Por outro lado, a necessidade de grandes quantidades de material para proteção da área aterrada, grandes áreas próximas aos centros urbanos, além dos riscos de contaminação do solo, do ar e dos

recursos hídricos, fazem com que os aterros devam ser restritamente controlados (FERREIRA, 1999).

### 3.3. LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIO

Levando-se em conta a Associação Brasileira de Normas Técnicas, pouca precisão tem-se acerca do que realmente é o lixiviado de aterro sanitário. A ABNT (NBR 8.419/1996) define o termo lixiviação como o deslocamento ou arraste, por meio líquido, de certas substâncias contidas nos resíduos sólidos urbanos. Esta mesma norma define ainda percolado como o líquido que passou através de um meio poroso, e define sumeiro ou chorume como o líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características o mau cheiro, a cor escura e a elevada DBO (demanda bioquímica de oxigênio).

Lema, Mendez e Blazquez (1988) são mais precisos ao dizer que lixiviado de aterro sanitário é o líquido formado pela percolação da água da chuva através dos resíduos, que arrasta materiais dissolvidos ou em suspensão, orgânicos ou inorgânicos, oriundos de extração física ou de processo de hidrólise e fermentação da decomposição dos resíduos.

Definição a última mais concisa, pois é reforçada por Campbell (1993) ao dizer que os lixiviados são resultantes de uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, formada durante a decomposição dos resíduos urbanos, que percola através destes, removendo materiais dissolvidos ou suspensos.

A formação de lixiviados depende da influência dos fatores climáticos, das características do resíduo sólido e dos fatores operacionais do aterro, tais como a compactação, a idade do aterro, o solo de cobertura e a profundidade da célula (BOCCHIGLIERI, 2010). Portanto não há um lixiviado específico, cada qual apresenta seu potencial de contaminação, sendo que é geralmente maior que muitos despejos industriais (LEDESMA *et al.*, 2000).

Pohland e Harper (1986) *apud* Prosab (2009) afirmam que a composição dos lixiviados é mais diretamente influenciada pelas características dos resíduos e sua decomposição.

Nos aterros sanitários ocorrem diferentes processos biológicos, físicos e químicos que afetam constantemente a composição do lixiviado, exercendo, assim, influência sobre as suas características. Esses processos são influenciados por uma série de fatores (Qasim e Chiang, 1994 *apud* Prosab, 2009), dos quais se podem ressaltar três grupos principais:

- Fatores climatológicos e correlatos: regime de chuvas e precipitação pluviométrica anual, escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração e temperatura;
- Fatores relativos aos resíduos: composição, densidade e teor de umidade inicial;
- Fatores relativos ao tipo de operação: características de permeabilidade do aterro, idade do aterro e profundidade do aterro.

Dentre os parâmetros biológicos e físico-químicos mais comumente utilizados para o estudo da composição dos lixiviados estão: DQO (demanda química de oxigênio), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), COT (carbono orgânico total), NTK (nitrogênio total Kjeldahl), alcalinidade, nitrogênio amoniacal, série de sólidos, ácidos orgânicos voláteis, metais pesados e toxicidade. Entretanto, estes parâmetros variam bastante conforme as características do lixiviado, sendo que a maturidade do aterro e do lixiviado decresce com o tempo, como demonstra o Quadro 1. Para que a seleção de tratamento do lixiviado seja feita do modo mais coerente é fundamental realizar uma caracterização físico-química mais minuciosa no lixiviado (RENOU *et al.*, 2008).

**Quadro 1: Composição do lixiviado de diferentes idades em aterros sanitários brasileiros.**

Parâmetros	1 ano	5 anos	16 anos
DBO (mg/L)	7.500-28.000	4.000	80
DQO (mg/L)	10.000-40.000	8.000	400
pH	5,2	6,4	-
SDT (mg/L)	10.000-14.000	6.794	1.200
SST (mg/L)	100-700	-	-
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	600-9.000	-	-
Alcalinidade (mg/L)	800-4.000	5.810	2.250
Dureza ( $\text{CaCO}_3$ ) (mg/L)	3.500-5.000	2.200	540

<b>Parâmetros</b>	<b>1 ano</b>	<b>5 anos</b>	<b>16 anos</b>
Fósforo Total (mg/L)	25-35	12	8
Ortofosfato (mg/L)	23-33	-	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	56-482	-	-
Nitrato (mg/L)	0,2-0,8	0,5	1,6
Cálcio(mg/L)	900-1700	308	109
Cloretos(mg/L)	600-800	1.330	70
Sódio (mg/L)	450-500	810	34
Potássio(mg/L)	295-310	610	39
Sulfatos (mg/L)	400-650	2	2
Manganês (mg/L)	75-125	0,06	0,06
Magnésio(mg/L)	160-250	450	90
Ferro(mg/L)	210-325	6,3	0,6
Zinco (mg/L)	10-30	0,4	0,1

**Fonte: IPT (2000).**

De acordo com Prosab (2009), o tempo de aterramento pode influir sobre a qualidade dos lixiviados. O seu potencial poluidor é inversamente proporcional ao tempo de aterramento conforme apresenta o Quadro 1. No entanto essa constatação não é tão evidente em aterros em operação. O Quadro 2 apresenta a faixa de valores de alguns parâmetros físico-químicos do lixiviado gerado em aterro brasileiro.

**Quadro 2: Variação da composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros.**

<b>Variável</b>	<b>Faixa máxima</b>	<b>Faixa mais provável</b>	<b>FVMP* (%)</b>
pH	5,7 - 8,6	7,2 - 8,6	78
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	750 - 11.400	750 - 7.100	69
Dureza	95 - 3.100	95 - 2.100	81
Condutividade (µS/cm)	2.950 - 25.000	2.950 - 17.660	77
DBO (mg/Lde O <sub>2</sub> )	< 20 - 30.000	< 20 - 8.600	75
DQO (mg/L de O <sub>2</sub> )	190 - 80.000	190 - 22.300	83
NTK (mg/L de N)	80 - 3.100	Não há	-
N-amoniacal (mg/L de N)	0,4 - 3.000	0,4 - 1.800	72
N-nitrito (mg/L de N)	0 - 50	0 - 15	69

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável	FVMP* (%)
N-nitrato (mg/L de N)	0 - 11	0 - 3,5	69
P-total (mg/L)	0,1 - 40	0,1 - 15	63
Sulfeto (mg/L)	0 - 35	0 - 10	78
Sulfato (mg/L)	0 - 5.400	0 - 1.800	77
Sólidos totais (mg/L)	3.200 - 21.900	3 200 - 14.400	79
Sólidos totais fixos (mg/L)	630 - 20.000	630 - 5.000	60
Sólidos totais voláteis (mg/L)	2.100 - 14500	2.100 - 8.300	74

\*: FVMP = Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.

**Fonte: Souto e Povinelli (2007) apud Prosa (2009).**

### 3.4. TÉCNICAS DE TRATAMENTO DO LIXIVIADO

Para a seleção da tecnologia de tratamento mais adequada é necessário, no mínimo, avaliar alguns aspectos, como: o volume de lixiviado gerado, dependendo da capacidade do aterro, do seu tamanho e das características hidrológicas locais; a composição do lixiviado; o investimento e grau de mecanização da operação; e o atendimento das exigências estabelecidas pelos órgãos ambientais (CHERNICHARO, 2002).

Segundo Amorim *et al.* (2009), os processos físico-químicos podem ser utilizados no pré-tratamento, em geral para remoção das elevadas cargas de nitrogênio amoniacal, assim como no pós-tratamento, para remoção de compostos recalcitrantes. Podem visar também à remoção de sólidos suspensos e partículas coloidais, clarificando o efluente final. Porém, não promovem a degradação dos poluentes, apenas uma mudança de fase através da desestabilização promovida pela adição de espécie química coagulante/floculante e posterior sedimentação.

Dentre os processos biológicos para o tratamento de lixiviado, os mais utilizados são: lagoas de estabilização, lagoas aeradas, lodos ativados e suas variações e reatores digestores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFAs ou UASBs) (IPT/CEMPRE, 2000). Utiliza-se com frequência sistemas de lagoas em série (anaeróbias, facultativas e de maturação), onde a remoção da matéria orgânica e inorgânica ocorre pela ação

conjugada de bactérias e algas (MARTINS, 2011). Os principais problemas da aplicação de lagoas no tratamento do lixiviado têm sido as baixas eficiências frente às exigências estabelecidas nas legislações e normas dos órgãos ambientais e nas dificuldades para dimensionar essas unidades com base na experiência obtida em projetos para tratamento de esgoto doméstico, que apresenta características bem diferentes do lixiviado de aterro sanitário.

De acordo com Marttinen *et al.* (2003), os processos biológicos são geralmente indicados para tratar lixiviado com alta relação DBO/DQO ( $> 0,5$ ) face ao baixo custo operacional, enquanto os processos físico-químicos têm sido sugeridos para tratamento de lixiviado antigo e com baixa biodegradabilidade.

A seguir, explorar-se-á apenas o tratamento biológico de lixiviados por lagoas de estabilização, alvo de estudos do presente trabalho.

#### **3.4.1. Lagoas de Estabilização**

Jordão e Pessôa (2005) definem lagoas de estabilização como sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas.

Von Sperling (2002) afirma que as lagoas de estabilização constituem a forma mais simples para o tratamento dos esgotos domésticos e industriais, utilizando-se diversas variantes dessas unidades com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área, tendo como principal objetivo a remoção de matéria carbonácea. É ainda o processo mais indicado para regiões tropicais, sendo reguladas pelas condições climáticas de temperatura, intensidade e duração da radiação solar.

Jordão e Pessôa (2005) classificam as lagoas segundo a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica constituída no lixiviado. Segundo os autores, estas lagoas podem ser classificadas em: anaeróbias; facultativas; aeradas; de maturação; de polimento; estritamente aeróbias; e com macrófitas.

A eficiência das lagoas poderá ser avaliada em função da qualidade de seu efluente, sendo que a mesma poderá ser estimada através de

análises dos parâmetros  $DBO_5$ , DQO e sólidos em suspensão. Suas dimensões físicas podem ser estabelecidas com base em relações teóricas e empíricas dos resultados esperados, e o tempo de detenção hidráulica (TDH) é estimado dependendo da qualidade do efluente que se pretende alcançar (KELLNER e PIRES, 2000 *apud* SILVA, 2007).

A facilidade de construção, operação e manutenção das lagoas, assim como os custos relativamente acessíveis, são atrativos que tornam essa técnica de tratamento bastante solicitada para os lixiviados (JUCÁ, 2003).

De acordo com Lins *et al.* (2005), o tratamento de lixiviados por lagoas de estabilização depende de muitas variáveis para um bom desempenho. São elas: tempo de detenção hidráulico suficiente, vazão de efluente equalizada, uma relação  $DBO_5/DQO$  elevada, baixos teores de inorgânicos e de cor.

Qasim e Chiang (1994) *apud* Prosab (2009) revelam que os grandes problemas da aplicação de lagoas no tratamento de lixiviados têm residido nas baixas eficiências obtidas no processo de tratamento e no fato de que a maioria dos projetistas ainda dimensiona essas unidades a partir dos parâmetros que devem ser utilizados no dimensionamento de lagoas que tratam esgoto doméstico.

A seguir, será descrito as características do tipo de lagoa utilizada no tratamento de lixiviados da presente pesquisa.

#### 3.4.1.1. Lagoas Anaeróbias

As lagoas anaeróbias são compartimentos projetados para redução da matéria orgânica de forma anóxica ou anaeróbia. Para criar tais condições, estas lagoas têm sua área superficial reduzida e grande profundidade, sendo que esta configuração promove remoção de  $DBO$  da ordem de 50 a 60%. Essas lagoas recebem cargas orgânicas maiores que  $100 \text{ gDBO/m}^3 \cdot \text{d}$ , os sólidos suspensos sedimentam por gravidade e são degradados de forma anaeróbia no fundo (GAWASIRI, 2003 *apud* HO-EPPNER, 2007)

Köing (1990) descreve que as lagoas anaeróbias promovem o tratamento primário dos esgotos. Elas são projetadas para receber cargas orgânicas elevadas, impedindo a existência de oxigênio no meio líquido.

São lagoas mais profundas que as demais, onde predominam os processos de conversão anaeróbia da matéria orgânica. Essas lagoas não requerem qualquer equipamento especial e têm um consumo de energia praticamente desprezível. O sucesso do tratamento nessas unidades depende do equilíbrio entre as duas populações bacterianas existentes, a formadora de ácidos orgânicos e a formadora de metano.

Mara e Person (1986) *apud* Hoepfner (2007) mencionaram que a metanogênese é o principal mecanismo de remoção de carbono nas lagoas anaeróbias e que esse processo depende de pH em torno de 6,4 e 7,2. Köing (1990) explicou que as bactérias metanogênicas são sensíveis a mudanças de temperatura e pH e que são micro-organismos estritamente anaeróbios, ou seja, o oxigênio dissolvido é extremamente tóxico nesse caso.

Outra maneira de formação de ácidos orgânicos ocorre sob condições anóxicas, na presença de microrganismos quimiorganotróficos (aeróbios facultativos), que utilizam nitrato como acceptor de elétrons, e degradam grande parte dos lipídeos, carboidratos e proteínas, formando ácidos orgânicos (MARA e PERSON, 1986 *apud* HOEPPNER, 2007).

Estudos realizados por Silva (2007) demonstram as eficiências de remoção de alguns parâmetros em lixiviados por sistemas compostos por lagoas anaeróbias. Estes resultados podem ser analisados por meio do Quadro 3.

**Quadro 3: Estudo de diferentes parâmetros em sistemas compostos por lagoas anaeróbias no tratamento de lixiviados.**

Parâmetros	Silva (2007)	
	Concentração	Eficiência (%)
DQO (mg/L)	1.955	21,8
DBO (mg/L)	287	36,7
pH	8,31	-
Nitrogênio Total (mg/L)	-	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	711	42,9
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	287	38,4
Sólidos Totais (mg/L)	67.645	15,9
Fósforo Total (mg/L)	33,6	17,2
Temperatura	25,9	-

Parâmetros	Silva (2007)	
	Concentração	Eficiência (%)
Turbidez (NTU)	86,1	16,4

O estudo de Silva (2007) consistiu no monitoramento de um sistema de lagoas de estabilização em série composto por uma lagoa anaeróbia, uma lagoa facultativa e outra de maturação. O estudo realizado em escala piloto obteve eficiência na remoção de DQO e DBO de respectivamente 21,8 e 36,7% no efluente da lagoa anaeróbia.

Nota-se que para os parâmetros em estudo neste trabalho, Silva (2007) obteve eficiências pouco significativas quando avaliou a remoção de DBO e DQO na unidade anaeróbia do sistema.

### 3.5. LEGISLAÇÃO APLICADA A LIXIVIADOS

De modo a conhecer o regimento dos padrões de lançamento de efluentes, a respeito de lixiviados, faz-se necessário abranger a Lei nº 9.605 (1988) - Lei de Crimes Ambientais e a Lei Estadual nº 14.675 (2009), que institui o Código Estadual do Meio Ambiente no Estado de Santa Catarina. Segundo esta lei, no artigo 177, os efluentes somente podem ser lançados direta ou indiretamente nos corpos d'água interiores, lagoas, estuários e na beira-mar quando obedecidas às condições previstas nas normas federais. Avalia-se também a Resolução Conama 357 (2005), que no artigo 34 determina que efluentes de qualquer fonte poluidora somente podem ser lançados, direta ou indiretamente nos corpos d'água desde que obedçam às condições e padrões previstos. Atualmente a Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (2011) complementa e altera a Resolução nº 357/2005 e dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Uma síntese das restrições para lançamento de efluentes pode ser representada através do Quadro 4.

**Quadro 4: Padrões de lançamento de efluentes conforme legislações vigentes.**

Parâmetros	CONAMA n. 357 Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água			CONAMA n. 430 - Condições e padrões de lançamento de efluentes	Lei n. 14.675 - Padrões de emissão de efluentes líquidos
	Classe 1	Classe 2	Classe 3		
<b>pH</b>	6 a 9	6 a 9	6 a 9	5 a 9	6 a 9
<b>OD</b>	> 6 mg/L O <sub>2</sub>	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	> 4 mg/L O <sub>2</sub>	-	-
<b>Cor</b>	cor natural	75 mg Pt/L	100 mg Pt/L	-	-
<b>Turbidez</b>	40 NTU	100 NTU	100 NTU	-	-
<b>Alcalinidade</b>	-	-	-	-	-
<b>Clorofila a</b>	10 µg/L	30 µg/L	60 µg/L	-	-
<b>DBO<sub>5</sub> 20°C</b>	3 mg/L O <sub>2</sub>	5 mg/L O <sub>2</sub>	10 mg/L O <sub>2</sub>	remoção 60%	60 mg/L <sup>(1)</sup>
<b>DQO</b>	-	-	-	-	-
<b>Nitrito</b>	1 mg/L N	1 mg/L N	1 mg/L N	-	-
<b>Nitrato</b>	10 mg/L N	10 mg/L N	10 mg/L N	-	-
<b>Cloreto Total</b>	250 mg/L Cl	250 mg/L Cl	250 mg/L Cl	-	-
<b>Sulfatos</b>	250 mg/L SO <sub>4</sub>	250 mg/L SO <sub>4</sub>	250 mg/L SO <sub>4</sub>	-	-
<b>Fósforo Total</b>	0,10 mg/L P	0,10 mg/L P	0,15 mg/L P	-	4 mg/L <sup>(2)</sup>
<b>Amônia</b>	-	-	-	20 mg/L N	-
<b>NTK</b>	-	-	-	-	-
<b>COT</b>	-	-	-	-	-
<b>Sólidos Dissolvidos</b>	500 mg/L	500 mg/L	500 mg/L	-	-
<b>Sól. Sedimentáveis</b>	-	-	-	1 mL/L <sup>(3)</sup>	-

\* Da Resolução CONAMA n. 430, art. 5º, § 2º: Para os parâmetros não incluídos nas metas obrigatórias e na ausência de metas intermediárias progressivas, os padrões de qualidade a serem obedecidos no corpo receptor são os que constam na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado.

\*(1): Esse limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento biológico de água residuária que reduz a carga poluidora em termos de DBO5 dias 20 °C do despejo em no mínimo 80%

\*(2): padrões para lançamentos em trechos de lagoas, lagoas e estuários. O efluente deve atender aos valores de concentração estabelecidos ou aos sistemas de tratamento - que devem operar com a eficiência mínima de 75% na remoção de fósforo, desde que não altere as características dos corpos de água: e prevista em Lei.

\*(3): Em teste de 1 hora em cone *Innhoff*.

Observa-se pelo Quadro 4 que nenhuma das legislações apresenta alguma restrição quanto ao parâmetro DQO, no entanto a resolução CONAMA n. 430 exige remoção de 60% da concentração de DBO do afluente bruto. Já a Lei Estadual 14.675 é mais restrita ao estabelecer a concentração de DBO em 60 mg/L para o efluente tratado, porém esse limite poderá ser ultrapassado caso seja alcançada uma eficiência de remoção acima de 80%.

## 4. METODOLOGIA

Neste capítulo que segue serão apresentados os materiais e procedimentos utilizados de modo a alcançar os objetivos específicos. Inicialmente será apresentado o local onde foi desenvolvida a pesquisa, para então relacionar os materiais e métodos necessários em cada etapa.

### 4.1. LOCAL DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido em um aterro sanitário localizado na mesorregião do Vale do Itajaí (Figura 3), em Santa Catarina. O aterro foi implantado e é operado por uma empresa privada e maiores descrições acerca de sua localização serão preservadas, decisão esta estabelecida em comum acordo.

**Figura 3: Mesorregião do Vale do Itajaí, Santa Catarina.**



O aterro recebe aproximadamente 8.345 toneladas/mês de resíduos, provenientes de municípios cuja população total ultrapassa os 290 mil habitantes (IBGE, 2010). Sua área total ocupada é de 27,52 hectares (275.200 m<sup>2</sup>) e o aterro possui hoje vida útil prevista de 22 anos.

A região possui uma precipitação anual média de 1.700 mm, dados estes obtidos através da empresa administradora do aterro e pela Epagri-Ciram/SC. A Figura 4 representa uma foto aérea do aterro.

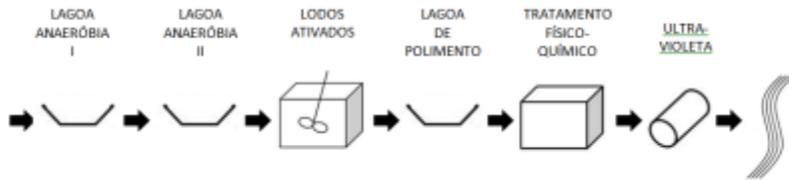
**Figura 4: Foto aérea do aterro sanitário.**



#### **4.1.1. O sistema de tratamento de lixiviados**

Atualmente o sistema de tratamento de lixiviados do aterro sanitário em estudo é composto por: duas lagoas anaeróbias (LA1 e LA2) operadas em série, um sistema de lodos ativados (lodos), uma lagoa de polimento (LP), um tratamento físico-químico (fsc-qmc) com coagulação/floculação e, finalmente, uma calha de desinfecção por ultravioleta (UV), para então o efluente ser lançado no corpo receptor, próximo ao local. A Figura 5 representa um fluxograma esquemático do sistema descrito.

**Figura 5: Fluxograma ilustrativo do atual sistema de tratamento de lixiviados.**



A mesma composição do sistema, com base na imagem de satélite, é representada através da Figura 6. Nota-se que na data da imagem, o sistema de lodos ativados ainda não havia sido implantado.

**Figura 6: Imagem satélite dos componentes do sistema de tratamento de lixiviados.**



Fonte: adaptado de Google Earth.

O presente trabalho tem como alvo de estudo apenas as lagoas anaeróbias 1 e 2 (Figura 7), as quais possuem algumas características operacionais. Estas características como vazão, volume, tempo de detenção hidráulico e carga volumétrica aplicada, serão determinadas e estudadas com maior detalhe pelo procedimento descrito no item 4.4.

**Figura 7: Lagoa Anaeróbia 1 (centro) e Lagoa Anaeróbia 2 (ao fundo).**



Ainda de acordo com informações enviadas pela empresa concessionária do aterro, o lixiviado bruto apresenta uma relação DBO/DQO de 0,31, o que indica uma baixa biodegradabilidade deste efluente.

## 4.2. AMOSTRAGEM DO LIXIVIADO

### 4.2.1. Locais de amostragem

As amostras do lixiviado foram coletadas em 4 pontos do sistema de tratamento, conforme indicados pela Figura 8 e identificados da seguinte maneira: P1 – início da Lagoa Anaeróbia 1; P2 – final da Lagoa Anaeróbia 1; P3 – início da Lagoa Anaeróbia 2; P4 – final da Lagoa Anaeróbia 2.

**Figura 8: Pontos de amostragem do lixiviado.**



Fonte: Google adaptado.

**Figura 9: Pontos de coleta – P1 (a); P2 (b); P3 (c) e P4 (d)**



Os pontos coletados posicionam-se aproximadamente a 3,5 metros da margem e situam-se na interface da água com o ar.

#### 4.2.2. Forma e período de amostragem

O monitoramento do lixiviado compreendeu um período de 10 meses, de março a dezembro de 2012.

As primeiras coletas foram realizadas no dia 14 de março, visando mensurar e avaliar a carga de trabalho exigida para os procedimentos subsequentes. Após esta data, estabeleceu-se que a periodicidade das coletas teria frequência quinzenal, iniciando, a partir do dia 24 de abril até o dia 17 de dezembro, a série de avaliações dos parâmetros físico-químicos.

O Quadro 5 apresenta as datas de coleta, indicando o total de coletas e amostras efetuadas para a elaboração do presente trabalho.

**Quadro 5: Datas de coleta do lixiviado**

Data das coletas										Total de Coletas	Total de amostras
14-mar	24-abr	9-mai	23-mai	6-jun	22-jun	4-jul	18-jul	6-ago	21-ago	19	76
3-set	17-set	1-out	19-out	29-out	12-nov	26-nov	10-dez	17-dez			

O instrumento de coleta consiste em uma corda extensa com um recipiente, de volume igual a 1,5 L, amarrado na metade de sua extensão. O procedimento de coleta é realizado por duas pessoas posicionadas uma em cada margem lateral da lagoa, que distam 3,5 m da margem de fundo (Figura 10).

**Figura 10: Instrumento e procedimento de coleta.**



Algumas precauções básicas, indicadas por CETESB (1987) e APHA (2005), foram consideradas visando assegurar a confiabilidade e representatividade das amostras, como:

- As amostras não devem incluir partículas grandes, detritos, folhas, ou outro material acidental, salvo quando se tratar de amostra de sedimento;
- Coletar volume suficiente de amostra para uma eventual necessidade de se repetir alguma análise prevista;
- Empregar somente os frascos e as preservações recomendadas para cada tipo de determinação;
- Verificar a limpeza dos frascos e demais materiais de coleta;
- A parte interna dos frascos e do material de coleta, assim como das tampas não podem ser tocadas com a mão ou ficar expostas ao ar;
- Imediatamente após a coleta e preservação das amostras, colocá-las ao abrigo da luz solar;
- Como exigem o resfriamento, as amostras devem ser armazenadas em uma caixa de isopor com gelo;

- Etiquetar os frascos e registrar as informações de campo necessárias.

Tomados os devidos cuidados, após as amostras serem coletadas pela manhã (entre 8:00 h e 10:30 h) e acondicionadas em isopor com gelo, as mesmas foram encaminhadas até a UFSC para análises dos parâmetros físico-químicos em laboratório.

#### 4.2.3. Parâmetros e métodos analíticos

O sistema de lagoas anaeróbias foi monitorado através de parâmetros físico-químicos em pontos de interesse conforme apresenta o Quadro 6.

Nota-se que os parâmetros DBO e DQO foram monitorados ao longo de todo tratamento (P1 ao P4), visando avaliar a eficiência em sua remoção. O monitoramento dos outros parâmetros foi realizado somente na entrada do sistema, P1, visando à caracterização do lixiviado bruto.

**Quadro 6: Parâmetros, procedimentos metodológicos e pontos analisados.**

Parâmetro	Unidade	Método	Pontos
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	Manométrico – Medidor de bancada Hach BOD Trak – SM 5210D	P1, P2, P3, P4
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	Colorimétrico – Refluxo fechado - Digestor Hach DRB 200 e espectrofotômetro Hach DR 2800 – SM 5220D	P1, P2, P3, P4
pH		Potenciométrico	P1
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Titulométrico	P1
Cor	mg Pt/L	Colorimétrico – Espectrofotômetro Hach DR 2800 - SM 2120C	P1
Turbidez	NTU	Nefelométrico – Turbidímetro Hach 2100N – SM 2130B	P1
Fósforo	mg P/L	Colorimétrico – Espectrofotômetro Hach DR 2800 – SM 4500-P	P1
Sólidos Totais	mg/L	Gravimétrico – SM 2540B, E	P1
Sólidos Tot. Fixos	mg/L	Gravimétrico – SM 2540B, E	P1

Parâmetro	Unidade	Método	Pontos
Sólidos Tot. Voláteis	mg/L	Gravimétrico – SM 2540B, E	P1
NTK	mg N/L	Digestão/Destilação Kjeldahl – Bloco digestor DK 20, Neutralizador de gases Scrubber (VELP Científica) e Destilador semi-automático UDK 132 (VELP Científica) – SM 4500-Norg B	P1
N-amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	Destilação Kjeldahl – Destilador semi-automático UDK 132 (VELP Científica) – SM 4500-NH <sub>3</sub> B	P1

As análises foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos (LARESO) e no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), situados no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, *campus* da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis. As análises foram feitas pela equipe de pesquisa do LARESO e em conformidade com o *Standard Methods* (APHA, 2005).

#### 4.3. CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO LIXIVIADO

A caracterização de efluentes biológicos em geral pode ser realizada em três níveis: identificação individual dos compostos, identificação de classes de compostos e determinação de parâmetros coletivos específicos e não específicos (BARKER; STUCKEY, 1999 *apud* Pro-sab, 2009).

No presente estudo, as características qualitativas do lixiviado bruto foram obtidas tendo em base a identificação individual dos compostos. Avaliou-se, ao longo do período de estudo, os parâmetros monitorados (Quadro 6) na entrada da Lagoa Anaeróbia 1 (P1).

#### 4.4. VARIÁVEIS OPERACIONAIS

As variáveis operacionais foram interpretadas a partir da fixação do **volume das lagoas**, o qual foi obtido através de medidas em campo realizadas na visita ao aterro. O valor do ângulo de inclinação do talude e a profundidade das lagoas foram repassados por operadores do sistema

e valem, respectivamente, 45° e 3,5 m para as duas unidades operacionais.

Considerou-se também o **volume acumulado de lodo** nas lagoas. A estimativa foi feita pelo produto da taxa linear de acumulação de lodos com o tempo de operação das lagoas desde a sua última remoção de lodo.

Silva (1993), CETESB (1989) e Gonçalves (2000) *apud* Von Sperling (2002) recomendam taxas de acúmulo de 2 a 8 cm/ano. Para o presente estudo utilizou-se uma taxa de 8 cm/ano por se tratar de um efluente com alta concentração de DBO<sub>5</sub> e DQO. Assim, obteve-se o **volume de lixiviado** pela diferença dos volumes supracitados.

Os valores de **vazão** foram fornecidos pela empresa administradora do aterro. Estes dados, presentes no Apêndice, foram coletados por operadores na entrada do sistema em três turnos do dia. Através dos números obtidos, determinou-se a vazão média ao longo do período de monitoramento.

O **tempo de detenção hidráulica** teórico foi calculado através da Equação 1, a partir do volume de lixiviado e da vazão média calculados pelos procedimentos descritos anteriormente.

$$TDH = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Onde:

TDH = tempo de detenção hidráulica (dias);

Q = vazão média (m<sup>3</sup>/dia);

V = volume de lixiviado (m<sup>3</sup>).

A **carga volumétrica aplicada** média foi calculada através da Equação 2, em função das concentrações médias de DBO e DQO nos pontos P1 e P3, e em função da vazão média calculada para o período de coleta. Consideraram-se para o cálculo os volumes de lixiviado de cada lagoa.

$$CVA = \frac{C \times Q}{V} \quad (2)$$

Onde:

CVA = Carga Volumétrica Aplicada (g DBO/m<sup>3</sup>.d e g DQO/m<sup>3</sup>.d);

C = concentração do afluente de DBO ou DQO<sub>T</sub> (g/m<sup>3</sup>);

Q = vazão média de entrada na lagoa (m<sup>3</sup>/dia);

V = volume de lixiviado (m<sup>3</sup>).

Após a determinação da média das principais variáveis operacionais, fez-se o cálculo da série temporal, através do software Microsoft Excel, para cada variável.

Estes cálculos, em vez de serem feitos em função da vazão média, considerou-se a vazão do dia de cada coleta, resultando em n valores plotados em gráficos de série temporal, para cada variável.

#### 4.5. EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

No presente trabalho, adota-se DBO<sub>5</sub> como variável representativa da matéria carbonácea, em consonância com a maior parte da literatura mundial e nacional. No entanto, modelos mais recentes tem se baseado na DQO como sendo a variável mais representativa de matéria carbonácea.

Contudo, visando avaliar a remoção da matéria carbonácea, a eficiência de remoção foi avaliada para os parâmetros de DBO<sub>5</sub>, DQT<sub>T</sub> e DQO<sub>f</sub>.

Pretende-se determinar a eficiência de cada lagoa e do sistema de lagoas anaeróbias. Para isso, as eficiências de remoção (E%) foram calculadas a partir dos resultados das análises das amostras coletadas nos pontos P1, P2, P3 e P4, utilizando a Equação 3:

$$E = \frac{(Af - Ef)}{Af} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

E = eficiência de remoção (%)

Af = concentração do afluente (mg/L)

Ef = concentração do efluente (mg/L)

#### 4.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

A análise estatística dos dados consistiu em obter as estatísticas descritivas do monitoramento. Através do software Microsoft Excel (MICROSOFT, 2010) fez-se a ordenação dos dados para determinar algumas estatísticas descritivas básicas, como: tamanho da amostra (n), média, desvio padrão da média, mínimo e máximo.

O mesmo software foi utilizado para obter gráficos de série temporal de alguns parâmetros, quando pertinentes.

#### 4.7. ESTUDO PARA PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS E ADEQUAÇÕES AO SISTEMA

Através de visitas ao aterro sanitário e por consequência ao sistema de tratamento de lixiviados do aterro foi possível observar o funcionamento operacional das unidades de tratamento de lixiviados. Embora as lagoas anaeróbias consistam em um sistema pouco complexo comparado às outras unidades, a visita a campo é de grande valia para compreensão do processo como um todo.

Além da observação em campo, a pesquisa bibliográfica é de fundamental importância para a realização de um estudo que contemple propostas de melhorias no sistema.

Da mesma forma, a análise dos resultados e a caracterização do lixiviado permitiu o levantamento de aspectos e pontos desfavoráveis do processo.

E finalmente, as discussões conjuntas com o orientador também foram essenciais para a formulação de críticas e soluções ao sistema.

Deste modo, foram coletadas informações, práticas e teóricas para fomentar a indicação de ações de otimização do sistema de lagoas anaeróbias.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Destacando os objetivos planejados, buscaram-se resultados que, fundamentados na revisão bibliográfica e norteados pela metodologia apresentada, ratifique os próprios objetivos específicos.

A discussão dos resultados obtidos se dará em diferentes tópicos. Visando obter argumentos para a avaliação do sistema quanto à remoção dos parâmetros DBO e DQO, caracterizou-se o lixiviado bruto e determinaram-se as principais variáveis operacionais do sistema de lagoas. Assim, foi possível propor melhorias e adequações às lagoas anaeróbias, tendo como base a avaliação realizada.

### 5.1. CARACTERÍSTICAS DO LIXIVIADO

O Quadro 7 apresenta o número de amostras (n), valores médios, desvio padrão, além dos valores mínimos e máximos dos parâmetros de qualidade monitorados, durante o período de estudo (14 de março a 17 de dezembro de 2012), na entrada da lagoa anaeróbia 1, obtendo-se assim a identificação individual dos compostos do lixiviado bruto.

**Quadro 7: Estatística descritiva dos parâmetros monitorados na entrada do sistema de lagoas - lixiviado bruto (P1).**

Parâmetros	n	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
pH	19	<b>8,29</b>	0,29	9,07	7,90
Temperatura (°C)	6	<b>27,8</b>	1,5	30,0	26,3
Turbidez (NTU)	13	<b>135</b>	25	175	88
Cor (mgPt/L)	14	<b>2.603</b>	859	4.288	392
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	16	<b>1.162</b>	683	2.470	190
DQO <sub>total</sub> (mg/L)	19	<b>2.961</b>	672	4.074	1.697
DQO <sub>solúvel</sub> (mg/L)	18	<b>2.425</b>	767	3.577	1.020
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	14	<b>5.006</b>	1.423	7.500	2.000
Fósforo (mg/L)	11	<b>17,4</b>	4,7	24,4	9,7
NTK (mg/L)	14	<b>884</b>	295	1.406	174
N-amoniaco (mg/L)	6	<b>707</b>	179	924	336
ST (mg/L)	15	<b>7.117</b>	1.377	9.279	4.829
STF (mg/L)	15	<b>5.188</b>	1.155	7.254	3.387

Parâmetros	n	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
STV (mg/L)	15	<b>1.929</b>	478	3.039	1.291

A partir do Quadro 7, visualiza-se que os valores encontrados para o afluente bruto possuem um pH relativamente alto, média de 8,29  $\pm$ 0,29, apresentando um desvio padrão pouco significativo e evidenciando que o pH pouco variou ao longo do período em estudo, chegando até o valor de 9,07.

Kjeldsen *et al.* (2002) afirmam que valores de pH entre 7,5 e 9,0 e DQO entre 500 e 4.500 mg/L, como o caso em estudo, caracterizam um lixiviado na fase metanogênica. Segato e Silva (2000) complementam que tais valores indicam que o lixiviado não está na fase de fermentação ácida, com valores de pH baixo, e sim na fase de fermentação metanogênica. É nessa segunda fase que há a decomposição dos produtos de fermentação ácida que são convertidos em metano, substâncias húmicas e água.

De acordo com Paes (2003) *apud* Silva (2007), a transição da fase acidogênica para a fase metanogênica ocorre de 4 a 10 anos depois da instalação da célula de resíduo e pode prosseguir ainda por um período de vários anos. A autora afirma também que concentrações de DBO<sub>5</sub> e DQO declinam à medida que muitos desses materiais são convertidos para gás. Além disso, Sancinetti *et al.* (2001) *apud* Pacheco (2006) afirmam que a relação DQO/DBO também tende a decrescer com o aumento da idade do aterro.

Através dessas informações, pode-se dizer que o afluente em questão é classificado como um lixiviado com características intermediárias, com idade de 7 anos e relação DBO/DQO igual a 0,39. Lixiviados estudados por Silva (2007) e Martins (2010) apresentavam relação DBO/DQO de 0,18 e 0,31 respectivamente, sendo considerados de idade intermediária a velho, com 10 a 15 anos.

Segundo o IPT (2000), através do Quadro 1, pode-se afirmar que outros parâmetros como alcalinidade e fósforo, com concentrações de 5.006  $\pm$ 1.423 mg CaCO<sub>3</sub>/L e 17,4  $\pm$ 4,7 mg/L, respectivamente, também apresentam valores característicos de um lixiviado de aterro com idade aproximada de 5 anos.

Os valores de temperatura apresentados no quadro,  $27,8 \pm 1,5$  °C, não refletem os valores reais de todo o período de monitoramento. Devido à indisponibilidade de utilizar a sonda multiparâmetros nos primeiros meses, só foi possível monitorar a temperatura a partir do dia 28 de agosto, o que justifica a média encontrada acima do esperado.

Assim, não foi possível acompanhar a curva de variação da temperatura média externa com a curva da temperatura do afluente bruto. Porém, sabe-se que a temperatura do meio líquido é diretamente influenciada pela temperatura externa. Mara (1997) *apud* Von Sperling (2002) sugere que as eficiências de remoção de DBO em lagoas anaeróbias estão intimamente relacionadas com a temperatura média do ar.

Observando-se as proporções do desvio padrão de cor e turbidez, é possível constatar que a turbidez do lixiviado bruto, média de  $135 \pm 25$  NTU, apresentou pouca oscilação ao longo do monitoramento. Entretanto a cor, que apresentou valor médio de  $2.603 \pm 859$  mg Pt/L, oscilou bastante durante o mesmo período. A redução destes parâmetros é geralmente baixa em tratamentos biológicos, Martins (2010) afirma que a turbidez pode ser removida por processos físicos, enquanto que a cor exige processos mais complexos.

Ao avaliar a série sólidos, o lixiviado bruto mostra-se com grande variabilidade na concentração de sólidos totais, com mínimo de 4.829 e máximo de 9.279 mg/L. Os sólidos fixos totais compreenderam quase 73% do sólidos totais. Martins (2010) conclui em seu estudo que os valores de cor estiveram diretamente ligados aos sólidos fixos, que representavam 80% dos sólidos totais presentes no lixiviado bruto, valores semelhantes em proporção e número ao desta pesquisa.

Os resultados de caracterização indicam que o tratamento biológico do lixiviado não será suficiente na remoção de grande parte dos parâmetros, demandando a associação de processos físico-químicos como pré ou pós-tratamento para se conseguir enquadramento dentro do que é exigido pela legislação.

## 5.2. VARIÁVEIS OPERACIONAIS

O Quadro 8 apresenta os dados coletados em campo, as informações repassadas pelos operadores do sistema, sendo  $m$  igual à razão de aspecto do talude, e o volume total resultante.

**Quadro 8: Dimensões das lagoas anaeróbias.**

Lagoa	Área Maior (m x m)	h (m)	m	Área Menor (m x m)	Volume(m <sup>3</sup> )
LA1	(75,60 x 41,75)	3,5	1	(68,60 x 34,75)	<b>9695</b>
LA2	(48,30 x 23,50)	3,5	1	(41,30 x 16,50)	<b>3179</b>

Com a taxa linear de acumulação de lodo igual 8 cm/ano (Von Sperling, 2002) e com o tempo de operação e sem remoção do lodo das lagoas anaeróbias de 7 anos, resulta-se em uma espessura de lodo igual a 56 cm para cada lagoa. De maneira análoga ao procedimento anterior, têm-se os volumes de lodo e lixiviado apresentados no Quadro 9.

**Quadro 9: Volumes de lodo e lixiviado, valores em m<sup>3</sup>.**

Lagoa	Volume total	Volume de lodo	Volume de lixiviado
LA1	9695	1.457	8.238
LA2	3179	452	2.727

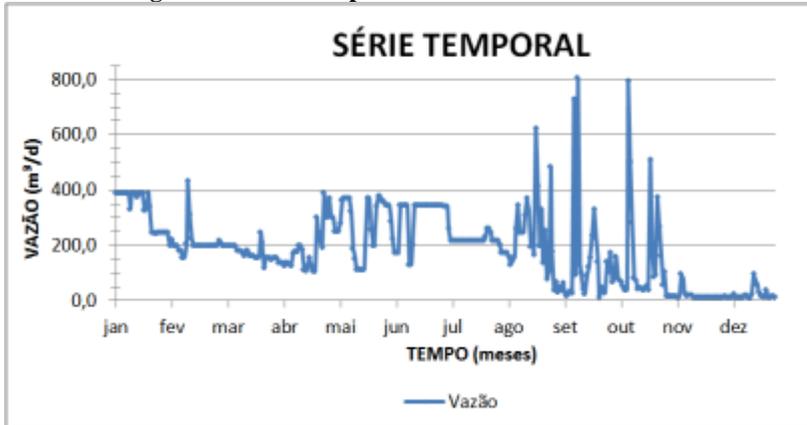
Segundo Von Sperling (2002), a remoção de lodo das lagoas anaeróbias deve ser realizada quando a camada de lodo atingir aproximadamente 1/3 da altura útil. Ou então, deve-se remover um certo volume anualmente, em um determinado mês, de forma sistemática na estratégia operacional da lagoa.

A Figura 11 representa os valores de vazão diária na entrada do sistema de tratamento de lixiviados ao longo do ano de 2012. Observa-se que os maiores picos de vazão ocorreram em setembro e outubro, chegando a produzir 805 m<sup>3</sup> de lixiviado por dia.

As menores vazões foram observadas em novembro e dezembro, quando uma estiagem atípica para essa época do ano foi a principal determinante para que a geração de lixiviados ficasse na faixa de 20 m<sup>3</sup> diários, diferindo bastante dos quase 400 m<sup>3</sup> diários gerados na primeira quinzena de janeiro de 2012.

De acordo com dados da Epagri/Ciram (2012), a precipitação em novembro de 2010 foi de 122 mm, já em 2011 foi de 86 mm, evidenciando a estiagem ocorrida em 2012, com precipitação de 56 mm (Quadro 10).

**Figura 11: Série temporal de vazões diárias em 2012.**



O Quadro 10 mostra a precipitação mensal em uma estação pluviométrica próxima ao aterro no ano de 2012. Através do quadro, reforça-se que a baixa precipitação ocorrida em novembro aliada à intensa insolação proporcionaram a baixa vazão apresentada no final de 2012.

**Quadro 10: Chuvas mensais em 2012.**

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	Jul	ago	set	out	nov
Chuva (mm)	120	90	87	168	169	168	213	53	54	142	56

Fonte: Epagri/Ciram.

O Quadro 11 apresenta as estatísticas descritivas dos dados de vazão do período compreendido entre 14 de março e 17 de dezembro de 2012.

**Quadro 11: Estatística descritiva de vazão.**

Estatística	Média	Desvio Padrão	Máx	Mín	n
Vazão (m³/d)	179,9	139,0	805,0	10,2	279

Nota-se que o desvio padrão foi bastante significativo em relação à média, sendo reflexo das altas oscilações de vazão ocorrida, principalmente de agosto a outubro.

Determinada a vazão média ao longo do período em estudo, estabeleceram-se os valores médios das principais variáveis operacionais (Quadro 12) do sistema por meio das Equações 1 e 2.

**Quadro 12: Média das variáveis operacionais.**

Variáveis (Unidades)	Lagoa Anaeróbia 1	Lagoa Anaeróbia 2
Volume das lagoas (m <sup>3</sup> )	9.695	3.179
Volume de lodo (m <sup>3</sup> )	1.457	451
Volume de lixiviado (m <sup>3</sup> )	8.238	2.726
Vazão afluente (m <sup>3</sup> /d)	179,9	179,9
Tempo de Detenção Hidráulica (dias)	46	15
Carga de Aplicação Volumétrica (g DQO/m <sup>3</sup> .d)	68,3	146,3
Carga de Aplicação Volumétrica (g DBO/m <sup>3</sup> .d)	26,8	52,0

Os tempos de detenção hidráulica médios calculados foram compatíveis com outros TDHs utilizados em estudos de tratamento de lixiviados em escala piloto. Silva (2007), em seu sistema experimental lagoas de estabilização para o tratamento de lixiviados, estudou uma lagoa anaeróbia com TDH de 13 dias.

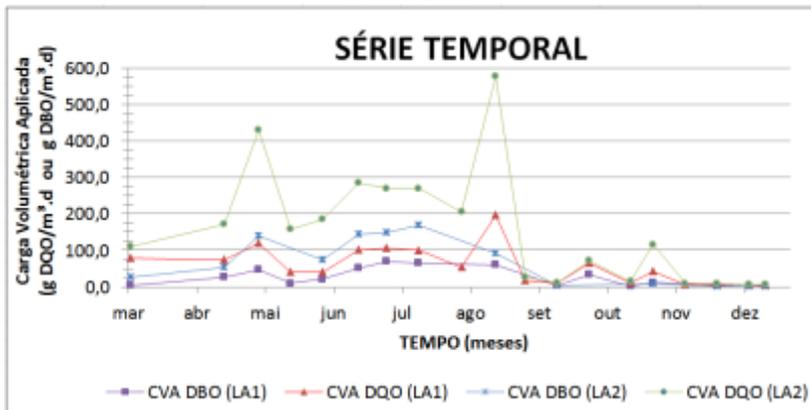
Pelos valores do Quadro 12, pode-se observar que, tanto para DBO quanto para DQO, a carga de aplicação volumétrica (CAV) da lagoa anaeróbia 2 é praticamente o dobro da CAV da lagoa anaeróbia 1. Como o volume da LA2 é três vezes menor e que o volume da LA1, sugere-se que a lagoa anaeróbia 1 não chegou a reduzir significativamente a carga

De acordo com Von Sperling (2002), a carga de aplicação volumétrica é o principal parâmetro de projeto utilizado nas lagoas anaeróbias. Mara (1997) *apud* Von Sperling (2002) propõe valores de cargas de aplicação volumétricas, em função da temperatura, entre 0,1 e 0,35 kg DBO/m<sup>3</sup>.d e comenta que projetistas mais seguros adotam cargas menores.

Observa-se que a carga de aplicação volumétrica calculada, em função da DBO, está bastante abaixo do recomendado pela literatura devido, provavelmente, à influência do déficit hídrico dos meses de novembro e dezembro.

A Figura 12 apresenta, ao longo do período de estudo, as cargas de aplicação volumétricas calculadas para cada dia de coleta.

**Figura 12: Variação das cargas de aplicação volumétricas nas lagoas anaeróbias 1 e 2.**

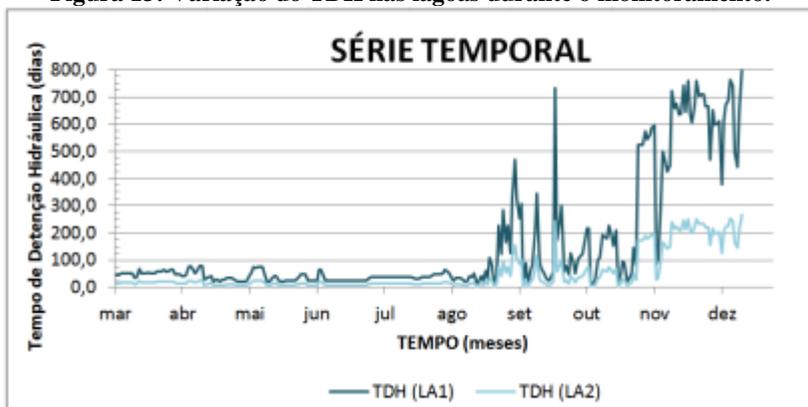


Através do gráfico, pode-se observar que as cargas de aplicação volumétricas tiveram alta variabilidade, contrastando momentos de sobrecarga aplicada, como foi o caso do dia 21 de agosto, com momentos de subcarga em boa parte do monitoramento, mas principalmente em novembro e dezembro.

Oliveira e Von Sperling (2005) avaliaram a influência de fatores de projeto e operação no tratamento de esgotos por lagoas anaeróbias. Os autores observaram que grande parte das lagoas funcionava com subcargas hidráulicas, ou seja, baixas cargas de aplicação volumétricas, porém constataram que isso pareceu não ter reflexo no desempenho. Com os resultados estes autores concluíram que não existe uma relação consistente entre a eficiência de remoção e as variáveis operacionais.

De maneira contrária às variações das cargas de aplicação volumétricas, comporta-se o tempo de detenção hidráulica das lagoas (Figura 13).

**Figura 13: Variação do TDH nas lagoas durante o monitoramento.**



Comparando a Figura 13 com o Quadro 10 e a Figura 11, pode-se dizer que para uma vazão média de  $15 \text{ m}^3/\text{d}$ , característica dos meses de novembro e dezembro, o TDH superou os 200 dias na LA2. Já nos meses de excedente hídrico, com uma vazão média acima de  $200 \text{ m}^3/\text{d}$ , o tempo de detenção passou a ser mínimo, em torno de 10 dias para a lagoa 2.

Diferente de Oliveira e Von Sperling (2005), Lins *et al.* (2005) afirmam que uma alteração excessiva da vazão pode afetar o funcionamento eficaz do sistema. Os autores complementam que quando o tempo de detenção hidráulica passa a ser mínimo, torna o sistema insuficiente para um processo de biodegradação dos compostos orgânicos.

Levando em conta esta incompatibilidade, conclui-se que a contribuição e a influência de cada variável diferem de sistema para sistema, podendo ser resultado de projeto, operação ou ambos (OLIVEIRA e VON SPERLING, 2005).

### 5.3. EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

#### 5.3.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio - $\text{DBO}_5$

O Quadro 13 traz as estatísticas descritivas de  $\text{DBO}_5$  obtidas no monitoramento ao longo do período em estudo. Pode-se observar que o lixiviado bruto apresentou uma grande variabilidade, com concentrações

máxima e mínima de 2.470 e 190 mg/L. Variabilidade semelhante ao lixiviado bruto estudado por Martins (2010), em que a concentração da DBO filtrada oscilou entre 370 e 2.058 mg/L.

**Quadro 13: Estatística descritiva do parâmetro DBO<sub>5</sub> nas lagoas durante o período de estudo (em mg/L).**

Estatística	DBO <sub>5</sub> - P1	DBO <sub>5</sub> - P2	DBO <sub>5</sub> - P3	DBO <sub>5</sub> - P4
n	16	16	13	13
<b>Média</b>	<b>1.162</b>	<b>1.130</b>	<b>747</b>	<b>650</b>
Mínimo	190	412	130	150
Máximo	2.470	2.100	2.140	1.330
Desvio padrão	683	496	620	427
Méd - 1 desvpad	479	634	127	223
Méd + 1 desvpad	1.845	1.626	1.367	1.076

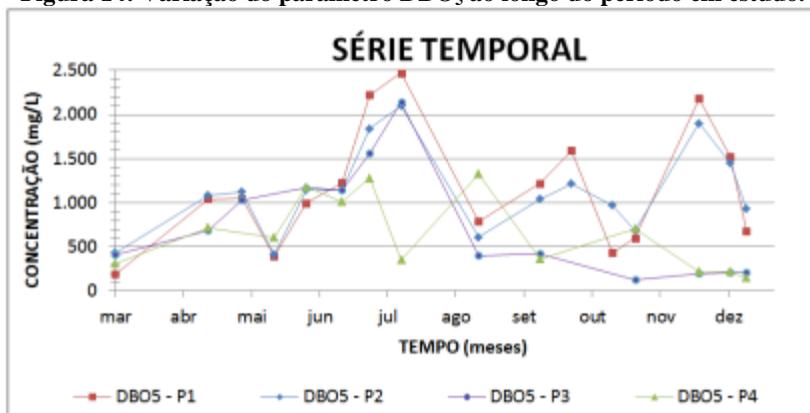
Para os pontos P2, P3 e P4 os valores foram de: 1.130 ±496 mg/L, 747 ±620 mg/L e 650 ±427 mg/L. Comparando a média de entrada e saída do sistema, a redução da demanda bioquímica de oxigênio foi de 44%. No entanto, ao comparar as médias de entrada e saída de cada lagoa, constata-se que as eficiências da LA1 e LA2 foram praticamente desprezíveis, dando indícios que o regime hidráulico das lagoas não é de fluxo em pistão.

No estudo de Silva (2007), ao tratar lixiviados de aterro sanitário por um sistema de três lagoas de estabilização em série, a remoção média de DBO<sub>5</sub> foi de 70%, no entanto, a lagoa anaeróbia, primeira unidade do sistema, foi responsável pela remoção de 37% da carga total.

Frasconi *et al.* (2004) *apud* Martins (2010) estudaram um sistema de cinco lagoas em série para tratamento de lixiviados em escala real. As eficiências obtidas, para um período de 10 anos de monitoramento, foram de, em média, 64 e 40% para DBO e DQO, com concentrações efluentes de 470 e 2.960 mg/L, respectivamente.

Na Figura 14 estão apresentados os resultados obtidos ao longo do estudo, onde se evidencia a alta oscilação do lixiviado nos diferentes pontos de coleta.

Figura 14: Variação do parâmetro  $DBO_5$  ao longo do período em estudo.



Devido à alta variabilidade das concentrações de  $DBO_5$  nos diferentes pontos de coleta ao longo de todo o monitoramento, fica pouco nítida a influência do TDH, da carga aplicada e de outros fatores na eficiência do sistema.

Boyle e Ham (1974) *apud* Fleck (2003) estudaram o tratamento anaeróbio de lixiviados, com elevadas cargas orgânicas e alta biodegradabilidade, em escala de bancada. Os autores monitoraram o tratamento, submetendo-o a diferentes temperaturas, tempo de detenção hidráulica e carga orgânica aplicada. Concluíram, no âmbito das cargas aplicadas, que não há relação significativa entre a carga orgânica aplicada e a eficiência de remoção, porém que existe uma correlação entre tal eficiência e o tempo de detenção hidráulica. Testando o efeito da temperatura sobre a eficiência de remoção de matéria orgânica, concluíram que o tratamento anaeróbio é muito eficiente em temperaturas entre 23°C e 30°C e que há menor eficiência em temperaturas entre 11°C e 23°C.

### 5.3.2. Demanda Química de Oxigênio – $DQO_T$

O Quadro 14 traz as estatísticas descritivas de  $DQO_T$  obtidas com o monitoramento ao longo do período em estudo. Nota-se que a concentração de  $DQO_T$  do lixiviado bruto teve média de 2.961 mg/L e oscilou entre 1.697 e 4.074 mg/L. Características semelhantes ao lixiviado bruto

estudado por Martins (2010), em que a concentração da  $DQO_T$  variou entre 1.479 e 4.300 mg/L.

**Quadro 14: Estatística descritiva do parâmetro  $DQO_T$  nas lagoas durante o período de estudo (em mg/L).**

Estatística	$DQO_T$ - P1	$DQO_T$ - P2	$DQO_T$ - P3	$DQO_T$ - P4
N	19	19	19	19
<b>Média</b>	<b>2.961</b>	<b>2.955</b>	<b>2.101</b>	<b>1.964</b>
Mínimo	1.697	2.133	1.100	1.119
Máximo	4.074	4.101	3.531	3.582
Desvio padrão	672	576	769	642
Méd - 1 desvpad	2.289	2.379	1.332	1.322
Méd + 1 desvpad	3.633	3.530	2.870	2.606

Para os pontos P2, P3 e P4 os valores da concentração média da demanda química de oxigênio foram de:  $2.955 \pm 576$  mg/L,  $2.101 \pm 769$  mg/L e  $1.964 \pm 642$  mg/L. Avaliando a média de entrada e saída do sistema, obteve-se a eficiência de 34%. No entanto, analogamente para  $DBO_5$ , as eficiências da LA1 e LA2 foram praticamente nulas, sugerindo, mais uma vez, um regime hidráulico de fluxo disperso ou de mistura completa para os reatores.

O valor da  $DQO_T$  do lixiviado estudado por Silva (2007), ficou em média de  $2.502 \pm 1012$  mg/L. O sistema de lagoas de estabilização em série, em escala de bancada, removeram 77%, sendo que a redução de  $DQO_T$  ocorrida na lagoa anaeróbia ficou em torno de 22%.

Martins (2010) obteve remoções, para as diferentes etapas estudadas, variando entre 38 e 85%, com os menores valores registrados na primeira etapa de sua pesquisa, fase sem aeração e sem recirculação.

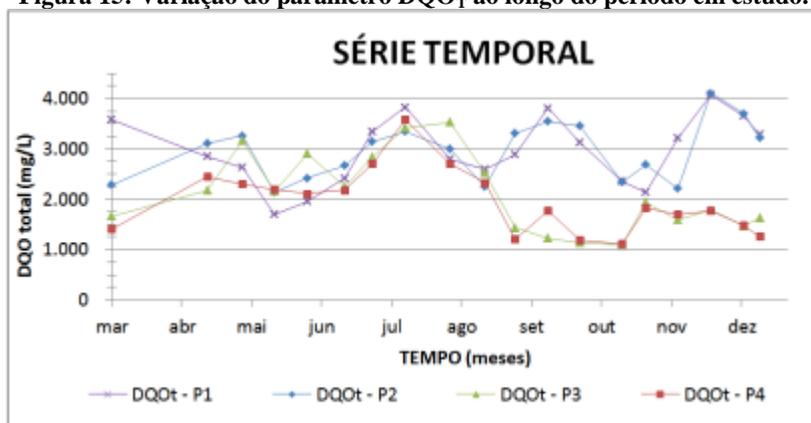
A Figura 15 apresenta os resultados obtidos ao longo do período em estudo. Através dela, fica mais evidente a proximidade das concentrações na entrada e saída de cada lagoa.

De acordo com Von Sperling (2002), na prática, a maior parte dos reatores apresenta um regime hidráulico de fluxo disperso. Segundo o autor, este fluxo é obtido em um sistema qualquer com um grau de mistura intermediário entre os dois extremos de fluxo em pistão e mistura completa. O autor explica que devido à maior dificuldade na sua mo-

delagem, são frequentemente feitas aproximações para um dos modelos hidráulicos ideais.

Portanto, apesar da relação comprimento/largura que existe nas lagoas anaeróbias, a dispersão do poluente, como se constata pelo gráfico, se dá por toda a lagoa, fazendo com que sua concentração seja logo equalizada à concentração efluente. Deste modo, supõe-se um sistema mais próximo ao regime hidráulico de mistura completa. Vale ressaltar que para validar tal informação é necessário um estudo dinâmico mais aprofundado.

**Figura 15: Variação do parâmetro  $DQO_T$  ao longo do período em estudo.**



Verifica-se, também, as oscilações contínuas ao longo do tempo. De acordo com Silva (2007), essas oscilações são próprias do efluente em questão, que é retratado na literatura como um efluente de difícil tratamento devido às suas consideráveis variações de carga e vazão.

De abril a agosto, pode-se observar que as curvas do gráfico estão mais próximas, indicando ineficiência do sistema. A eficiência ao longo deste período foi em média de 7%. Por outro lado, a partir de agosto até o final do monitoramento, a remoção média da demanda química de oxigênio foi de 54%.

### 5.3.3. Demanda Química de Oxigênio - DQO<sub>f</sub>

O Quadro 15 traz as estatísticas descritivas de DQO<sub>f</sub> obtidas com o monitoramento ao longo do período em estudo. Observa-se que a concentração de DQO<sub>f</sub>, ou DQO solúvel, do lixiviado bruto teve média de 2.425 mg/L e oscilou entre 1.020 e 3.577 mg/L.

**Quadro 15: Estatística descritiva do parâmetro DQO<sub>f</sub> nas lagoas durante o período de estudo (em mg/L).**

Estatística	DQO <sub>f</sub> - P1	DQO <sub>f</sub> - P2	DQO <sub>f</sub> - P3	DQO <sub>f</sub> - P4
n	18	18	18	18
<b>Média</b>	<b>2.425</b>	<b>2.312</b>	<b>1.535</b>	<b>1.632</b>
Mínimo	1.020	966	781	822
Máximo	3.577	3.546	2.987	2.964
Desvio padrão	767	726	593	673
Méd - 1 desvpad	1.658	1.585	942	958
Méd + 1 desvpad	3.193	3.038	2.129	2.305

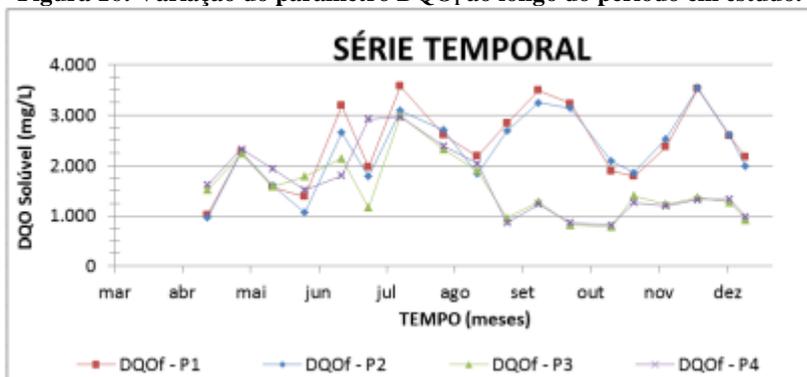
As concentrações médias nos pontos P2, P3 e P4 foram de: 2.312 ±726 mg/L, 1.535 ±593 e 1.632 ±673, resultando, através da Equação 3, em uma eficiência média de 33% para o sistema.

Constatado que as lagoas possuem regime hidráulico entre fluxo disperso e mistura completa, a eficiência delas isoladamente foi desprezível.

Através das Figura 15 e Figura 16, é possível notar que a DQO solúvel teve uma variação muito semelhante com a DQO total, sendo que em quase todo o tempo de monitoramento a DQO total foi levemente superior a DQO solúvel.

O mesmo comportamento ocorreu no estudo de Martins (2010). Através da comparação entre DQO<sub>T</sub> e DQO<sub>f</sub>, a autora constatou que os sólidos em suspensão têm grande influência no aumento da DQO total. De acordo com ela, este comportamento também foi verificado por Chen *et al.* (2002), em lagoas tratando esgoto doméstico.

Figura 16: Variação do parâmetro  $DQO_r$  ao longo do período em estudo.



Ao comparar a Figura 16 com a Figura 11, percebe-se que a alta variabilidade da vazão, com picos de aumento e diminuição excessivos ocorridos em setembro e outubro, pareceu não afetar o funcionamento eficaz do sistema.

Constata-se também que, entre abril e agosto, meses de excedente hídrico com uma vazão média acima de 150 m<sup>3</sup>/d (podendo alcançar 400 m<sup>3</sup>/d), o tempo de detenção passa a ser mínimo, em torno de 8 e 21 dias para LA2 e LA1, respectivamente, tornando-se um tempo insuficiente para o processo completo de degradação dos compostos orgânicos (LINS *et al.*, 2005), e resultando na ineficiência do sistema.

Por outro lado, em novembro e dezembro, meses em que houve um déficit hídrico, com uma vazão média de 20 m<sup>3</sup>/d (TDH superior aos 130 dias nas duas lagoas), o desempenho do sistema não foi prejudicado, pelo contrário, os índices de remoção de DBO e DQO nestes meses foram em média de 80 e 59%, respectivamente.

Deste modo, observou-se que o alto tempo de detenção hidráulica, em conjunto com o aumento da temperatura ocorrido nesta época do ano (Quadro 16) culminou em um bom desempenho das lagoas anaeróbias na remoção da matéria carbonácea.

**Quadro 16: Temperatura média mensal em uma estação meteorológica próxima ao aterro, 2012.**

Mês	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temperatura média (°C)	23,0	21,5	18,9	16,9	15,6	19,0	19,1	21,4	22,9	25,4

Fonte: Epagri/Ciram (2012).

#### 5.4. PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS AO SISTEMA

Tendo como base os resultados de caracterização do lixiviado, das variáveis operacionais, e principalmente, da análise da eficiência de remoção da matéria carbonácea foi possível indicar alguns aspectos a serem otimizados no sistema de tratamento do lixiviado gerado no aterro sanitário em questão.

Visto que as lagoas anaeróbias apresentaram certo grau de ineficiência nos meses de excedente hídrico, algumas providências que visem à redução da vazão ou o prolongamento do tempo de detenção hidráulica podem ser tomadas.

As principais medidas consistem em otimizar o sistema de drenagem superficial, evitando ao máximo que as águas pluviais infiltrem nas células do aterro ou escoem para o sistema de tratamento de lixiviados. Os aspectos estruturais a serem considerados para isso são: a construção de novas canaletas sobre as células do aterro, além da desobstrução e manutenção constante das canaletas existentes; a implantação de uma cobertura impermeável sobre a cobertura final (argila compactada) para as células mais antigas; e a elevação das “bordas” das lagoas em um nível superior em 2 cm ao nível do terreno.

Um aspecto operacional a ser efetuado é remoção anual de um volume parcial de lodo antes do período de intensa pluviosidade. Isto aumentaria o volume ocupado pelo lixiviado, e por consequência, o tempo de detenção hidráulica para os meses de excedente hídrico.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, procurou-se avaliar a eficiência, e alguns fatores que a influenciam, das lagoas anaeróbias na remoção da matéria carbonácea dos lixiviados. O estudo foi realizado em escala real, em um aterro sanitário situado em Santa Catarina. O monitoramento do sistema foi efetuado entre os dias 14 de março e 17 de dezembro de 2012, compreendendo um total de 19 coletas. Com os dados obtidos pôde-se constatar que:

- O afluente bruto caracterizou-se por apresentar biodegradabilidade em torno de 0,39, apresentando atributos de um lixiviado intermediário, com idade aproximada de 6 anos e valores de pH iguais a  $8,29 \pm 0,29$ . A caracterização indicou que o tratamento biológico não será suficiente na remoção de boa parte dos parâmetros;
- A vazão média de entrada de lixiviado no sistema foi de  $179,9 \pm 139,0 \text{ m}^3/\text{d}$ , com TDHs em torno de 46 dias para a LA1 e 15 para a LA2. As cargas de aplicação volumétricas, em função da vazão média, foram de  $16,8 \text{ g DBO}/\text{m}^3.\text{d}$  e  $68,3 \text{ g DQO}/\text{m}^3.\text{d}$  para a LA1 e de  $52,0 \text{ g DBO}/\text{m}^3.\text{d}$  e  $146,3 \text{ g DQO}/\text{m}^3.\text{d}$  para a LA2. Tais variáveis operacionais sofreram mudanças significativas em consonância com a vazão ao longo do período em estudo e alteraram o desempenho do sistema.
- De modo geral, a eficiência de remoção da matéria carbonácea, no sistema de lagoas anaeróbias, foi de 44% em termos de  $\text{DBO}_5$  e de 34 e 33% para  $\text{DQO}_{\text{total}}$  e  $\text{DQO}_{\text{solúvel}}$ , respectivamente.
- As lagoas, separadamente, não apresentaram eficiência de remoção, mostrando que o regime hidráulico não é de fluxo em pistão.
- As eficiências de remoção foram maiores nos meses de setembro a dezembro, influenciadas, certamente, pelo aumento da temperatura ambiente e pelo déficit hídrico ocorrido no período.

Para a elaboração de trabalhos futuros vinculados a esta temática, recomenda-se que o período de monitoramento seja mais longo de modo a obter uma base de dados mais consistente para que se possa avaliar pormenorizadamente a influência de cada uma das variáveis na eficiência do sistema.

Recomenda-se também a realização de um estudo hidrodinâmico e uma avaliação batimétrica das lagoas de modo a definir mais precisamente o regime hidráulico e volume de lodos das lagoas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 10004 – Classificação de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 1987.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. São Paulo, 2011.

AMORIM, A.K.B. *et al.* **Tratamento físico-químico de lixiviados**: estudos em escala de bancada com precipitação química, coagulação/floculação, adsorção em carvão ativado e reagente de fenton. In: GOMES, L.P. (coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, 2009, v. 1, p. 97-139

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington: APHA, 2005.

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

BOCCHIGLIERI, Miriam Moreira. **O lixiviado dos aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgotos**. 2010. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CAMPBELL, D. J. V. **Environmental Management of Landfill Sites**. Journal IWEN, n.7, p. 170-174, 1993.

CASTILHOS Jr. *et al.* **Principais Processos de Degradação dos Resíduos Sólidos Urbanos.** In: Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. Projeto PROSAB III. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia de coleta e preservação de amostras de água.** São Paulo, 1987. 150p.

CHERNICHARO, C.A. L. and VON SPERLING, M. "Urban Wastewater Treatment Technologies and the Implementation of Discharge Standards in Developing Countries," *Urban Water*. 4(1): 150- 114, 2002.

EPAGRI/CIRAM – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Disponível em <[www.epagri.sc.gov.br](http://www.epagri.sc.gov.br)>. Acessado em dezembro de 2012.

FERREIRA, J. A. **Aterro sanitário: alternativa para disposição de resíduos sólidos.** Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, UERJ, 1999. 45 p.

FINKLER, R. **Avaliação do Efeito Tóxico de Líquidos Percolados sobre o Sistema Reprodutivo de *Daphnia magna*.** Dissertação (Mestrado em engenharia Ambiental). UFSC, Florianópolis, 2002.

FLECK, E. **Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

HOEPPNER, A. F. S. **Comportamento de variáveis físicas, químicas e da eficiência de sistemas de lagoas de estabilização em ambiente tropical (Vale do Ribeira de Iguape, SP).** 284 f. Dissertação (Mestra-

do) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo populacional 2010**. 2010. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acessado em 21 de dezembro de 2012.

IPT- Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ª Ed. São Paulo, 2000.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Águas Residuárias Domésticos**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

JUCÁ, J.F.T. **Disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. I: 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO, Porto Alegre, RS, 2002.

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

LEDESMA, M. T. O. *et al.* **Método de Balance de Água para la Estimación de La Generación de Líquidos Percolados em Rellenos Sanitarios**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27. Porto Alegre, 2000. Anais...Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 521p. CD-ROM. 2000.

LEMA, J.M., MENDEZ, R., BLAZQUEZ, R.(1988) Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review. **Water, Air and Soil Pollution**, 40 (3-4). P.233-250.

LINS, E.A.M.; LINS, M.C.M.; LIMA, M.A.G.A.; ARAÚJO, J.M.; JUCÁ, J.F.T. **Monitoramento de Lagoas de Estabilização no Tratamento de Chorume – Aterro de Muribeca**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Campo Grande/MS. 2005.

MARTINS, C. L. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário em sistema de lagoas sob diferentes condições operacionais** (Tese de Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2010. 240p.

MARTTINEN, S. K.; KETTUNEN, R. H.; RINTALA, J. A. **Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates**. Science of the Total Environment. 301 (1-3): 1-12.

MICROSOFT Corporation. **Microsoft Excel**. Version 14. 2010 office.microsoft.com.

OLIVEIRA, S.M.A.C.; VON SPERLING, M. **Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias: parte 2 – influência de fatores de projeto e operação**. Engenharia Ambiental e Sanitária, Brasil, v.10, n.4, p. 358-368. 2005.

PROSAB (PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO). **Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterro Sanitário para as Condições Brasileiras**. Rio de Janeiro. ABES. 2009.

RECESA (REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL). **Resíduos Sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários**. Ministério das Cidades. 2008

RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. (2008). **Landfill leachate treatment: Review and opportunity**. Journal of Hazardous Materials. 150 (3): 468-493.

SEGATO, L.M.; SILVA, C.L. **Caracterização do Lixiviado do Aterro Sanitário de Bauru**. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27. Porto Alegre, 2000.

SILVA, J.D. **Tratamento de lixiviados de aterro sanitário por lagoas de estabilização em série- estudo em escala piloto**. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

SOUTO, G.D.B; **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com o ar (“stripping”)**. São Carlos: EESC/USP; 2009.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; ELIASSEN, R. **Solid Wastes: engineering principles and management issues**. McGraw-Hill Kogakusha, Inc., 1977.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais. 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - lagoas de estabilização**. v. 3. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: UFMG, Belo Horizonte, 2002.

## APÊNDICES

**Quadro 17: Valores diários da vazão, em 2012, na entrada do sistema (m<sup>3</sup>/d).**

<b>Data</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>1</b>	389	199	199	138	302	346	340	202	68	172	16	12
<b>2</b>	389	222	199	138	251	288	340	173	29	66	16	12
<b>3</b>	389	199	199	138	251	225	340	173	49	90	16	18
<b>4</b>	389	199	199	124	251	173	259	173	37	159	14	13
<b>5</b>	389	199	199	138	279	173	216	173	65	79	15	14
<b>6</b>	389	181	199	138	363	173	216	158	25	74	15	14
<b>7</b>	389	181	199	130	372	346	216	130	18	67	14	13
<b>8</b>	389	156	199	124	372	346	216	144	25	52	14	22
<b>9</b>	389	156	181	170	372	346	216	158	33	38	96	13
<b>10</b>	331	204	181	176	372	346	216	259	27	38	77	12
<b>11</b>	389	432	181	176	323	346	216	346	730	793	26	12
<b>12</b>	389	311	173	199	187	130	216	246	94	500	17	11
<b>13</b>	389	225	161	199	153	130	216	246	805	284	18	11
<b>14</b>	374	199	181	184	112	202	216	246	134	80	19	17
<b>15</b>	389	199	181	112	115	346	216	308	100	75	18	19
<b>16</b>	389	199	161	107	112	346	216	370	41	42	11	13
<b>17</b>	389	199	161	124	112	346	216	328	24	44	12	10
<b>18</b>	325	199	161	156	112	346	216	196	90	46	12	23
<b>19</b>	331	199	156	127	199	346	216	215	123	36	13	96
<b>20</b>	389	199	156	107	372	346	216	164	156	44	13	72
<b>21</b>	340	199	156	104	372	346	216	624	236	54	11	57
<b>22</b>	245	199	248	302	256	346	216	412	330	39	13	32
<b>23</b>	245	199	210	251	199	346	216	198	228	510	11	17
<b>24</b>	242	199	118	216	199	346	230	332	140	175	13	15
<b>25</b>	245	199	156	193	343	346	259	136	11	86	14	12
<b>26</b>	245	199	156	389	377	346	259	253	48	94	12	37
<b>27</b>	245	199	156	302	377	346	245	76	34	374	11	13
<b>28</b>	245	216	147	302	360	346	216	105	27	270	12	13
<b>29</b>	245	213	156	372	360	346	216	484	140	163	12	15
<b>30</b>	245	-	156	302	346	346	216	178	105	57	12	15
<b>31</b>	245	-	156	-	346	-	216	37	-	103	-	14

**Quadro 18: Demandas bioquímicas de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) nos pontos de coleta durante o monitoramento.**

Datas de Coleta	P1	P2	P3	P4
	mg DBO <sub>5</sub> /L			
14/03/2012	190	432	412	312
24/04/2012	1044	1086	684	720
09/05/2012	1046	1122	1030	-
23/05/2012	392	412	-	608
06/06/2012	996	1142	1168	1178
22/06/2012	1224	1140	1142	1008
04/07/2012	2220	1840	1560	1280
18/07/2012	2470	2100	2140	350
06/08/2012	-	-	-	-
21/08/2012	790	610	400	1330
03/09/2012	-	-	-	-
17/09/2012	1220	1045	425	360
01/10/2012	1590	1215	-	-
19/10/2012	430	970	-	-
29/10/2012	600	690	130	710
12/11/2012	-	-	-	-
26/11/2012	2180	1900	200	220
10/12/2012	1520	1450	210	220
17/12/2012	680	930	210	150
<b>média</b>	<b>1162</b>	<b>1130</b>	<b>747</b>	<b>650</b>

**Quadro 19: Demandas químicas de oxigênio total (DQO<sub>T</sub>) nos pontos de coleta durante o monitoramento.**

Datas de Coleta	P1	P2	P3	P4
	mg DQO <sub>T</sub> /L			
14/03/2012	3574,05	2283,75	1664,80	1410,62
24/04/2012	2850,47	3106,07	2175,62	2453,58
09/05/2012	2635,40	3262,32	3159,02	2304,70
23/05/2012	1696,65	2132,82	2161,38	2189,35
06/06/2012	1952,13	2421,37	2908,50	2111,88
22/06/2012	2420,65	2669,97	2243,40	2184,45
04/07/2012	3344,00	3141,27	2840,38	2708,17
18/07/2012	3825,57	3339,37	3410,83	3581,75
06/08/2012	2799,08	2992,58	3530,75	2704,12
21/08/2012	2595,38	2247,60	2522,23	2331,55
03/09/2012	2884,38	3310,60	1436,48	1203,05
17/09/2012	3808,37	3543,78	1220,77	1774,33
01/10/2012	3130,35	3446,17	1136,60	1189,25
19/10/2012	2362,07	2334,00	1100,08	1119,18
29/10/2012	2142,80	2684,20	1939,23	1829,43
12/11/2012	3215,57	2209,15	1583,65	1692,63
26/11/2012	4073,45	4101,42	1782,42	1777,05
10/12/2012	3658,33	3700,85	1472,35	1482,05
17/12/2012	3291,68	3216,05	1628,98	1264,10
<b>Média</b>	<b>2961,07</b>	<b>2954,91</b>	<b>2100,92</b>	<b>1963,75</b>

**Quadro 20: Demandas químicas de oxigênio solúvel (DQO<sub>r</sub>) nos pontos de coleta durante o monitoramento.**

Datas de Coleta	P1	P2	P3	P4
	mg DQO <sub>r</sub> /L			
14/03/2012	-	-	-	-
24/04/2012	1020,29	965,4567	1518,567	1621,467
09/05/2012	2271,32	2263,517	2230,25	2329,217
23/05/2012	1562,52	1603,517	1578,983	1935,517
06/06/2012	1385,23	1068,2	1783,833	1514,65
22/06/2012	3192,77	2649,017	2142,233	1796,717
04/07/2012	1963,12	1779,283	1158,55	2917,55
18/07/2012	3576,82	3086,483	2986,883	2963,867
06/08/2012	2608,33	2697,98	2318,15	2382,517
21/08/2012	2185,82	1830,567	1903	2040,783
03/09/2012	2843,35	2683,317	956,45	862,3333
17/09/2012	3486,23	3248,35	1275,233	1232,7
01/10/2012	3232,92	3140,267	817,8667	863,3667
19/10/2012	1891,45	2089,633	780,7	822,0833
29/10/2012	1782,08	1857,617	1392,85	1263,317
12/11/2012	2364,12	2526,633	1232,8	1194,35
26/11/2012	3530,05	3545,65	1367,717	1320,267
10/12/2012	2588,85	2598,72	1272,55	1328,35
17/12/2012	2171,12	1987,37	922,87	985,42
<b>média</b>	<b>2425,35</b>	<b>2312,31</b>	<b>1535,53</b>	<b>1631,92</b>

**Quadro 21: Valores de pH, temperatura, turbidez, cor e alcalinidade no lixiviado bruto durante o monitoramento.**

Datas de Coleta	pH	T	Turbidez	Cor	Alcalinidade
		°C	NTU	mg Pt/L	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)
14/03/2012	8,28	-	-	-	7500
24/04/2012	8,59	-	-	-	5200
09/05/2012	8,44	-	-	-	2000
23/05/2012	8,60	-	-	392	-
06/06/2012	8,24	-	-	-	3325
22/06/2012	8,11	-	-	-	-
04/07/2012	7,95	-	160	2816	-
18/07/2012	8,18	-	166	2208	-
06/08/2012	8,18	-	158	2336	-
21/08/2012	8,08	26,6	88,4	1440	3580
03/09/2012	8,03	-	125	2992	4940
17/09/2012	8,08	26,3	175	2608	4600
01/10/2012	8,13	-	122	2992	6860
19/10/2012	8,60	26,4	121	4288	4900
29/10/2012	8,15	-	109	2480	4140
12/11/2012	8,64	29	109	2784	4760
26/11/2012	7,90	-	133	3056	6480
10/12/2012	9,07	28,74	159	2848	5940
17/12/2012	8,34	30,04	127	3200	5860
<b>Média</b>	<b>8,29</b>	<b>27,8</b>	<b>135</b>	<b>2603</b>	<b>5006</b>
Máximo	9,07	30,0	175	4288	7500
Mínimo	7,90	26,3	88	392	2000
Desvio	0,29	1,5	25	859	1423

**Quadro 22: Concentrações de fósforo, NTK, N-amoniacal, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis no lixiviado bruto durante o monitoramento.**

Datas de Coleta	Fósforo	NTK	N-amoniacal	Sólidos Totais	Sólidos Totais Fixos	Sólidos Totais Voláteis
	(mg P/L)	(mg N/L)	(mg N-NH <sub>3</sub> /L)	mg/L	mg/L	mg/L
14/3	-	1120,0	924,0	-	-	-
24/4	-	-	-	-	-	-
9/5	-	-	-	-	-	-
23/5	-	-	-	-	-	-
6/6	-	-	-	4820,0	3386,7	1433,3
22/6	-	868,0	728,0	5159,3	3868,0	1291,3
4/7	-	896,0	756,0	6494,0	4416,7	2077,3
18/7	-	873,6	779,8	7328,0	4922,7	2405,3
6/8	21,2	380,8	336,0	6110,7	4074,7	2036,0
21/8	11,9	812,0	721,0	6137,8	4272,2	1865,5
3/9	11,8	1086,4	-	8550,0	5510,7	3039,3
17/9	20,1	1131,2	-	7550,7	5179,3	2371,3
1/10	19,9	1405,6	-	7826,7	5852,7	1974,0
19/10	15,9	926,8	-	7256,0	5840,0	1416,0
29/10	9,7	772,8	-	5616,7	4322,7	1294,0
12/11	16,1	946,4	-	6655,3	5035,3	1620,0
26/11	23,9	173,6	-	9111,3	6694,7	2416,7
10/12	24,4	980,0	-	9279,3	7254,0	2025,3
17/12	16,8	-	-	8862,0	7189,3	1672,7
<b>Média</b>	<b>17,4</b>	<b>883,8</b>	<b>707,5</b>	<b>7117,2</b>	<b>5188,0</b>	<b>1929,2</b>
Máximo	24,4	1405,6	924,0	9279,3	7254,0	3039,3
Mínimo	9,7	173,6	336,0	4820,0	3386,7	1291,3
Desvio	4,7	295,3	179,4	1376,9	1155,2	477,6