

Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

**O Lixiviado dos Aterros Sanitários em Estações
de Tratamento dos Sistemas Públicos de
Esgotos**

Miriam Moreira Bocchiglieri

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Saúde Pública para
obtenção do título de Doutor em Saúde
Pública.

Área de Concentração: Saúde Ambiental

Orientador:

Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini

São Paulo

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

O Lixiviado dos Aterros Sanitários em Estações de Tratamento dos Sistemas Públicos de Esgotos

Miriam Moreira Bocchiglieri

**Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Saúde Pública para
obtenção do título de Doutor em Saúde
Pública.**

Área de Concentração: Saúde Ambiental

Orientador:

Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini

São Paulo

2010

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da tese / dissertação.

*...“mas sei que nada do que vivemos tem sentido, se não
tocamos o coração das pessoas.”*

Cora Coralina

Ao Engenheiro Nelson Nihonmatsu,
que exerceu sua profissão de maneira
exemplar e brilhante.

(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

À família, minha base.

Agradeço aos meus pais, pelo apoio incondicional, seu profundo amor e compreensão. A eles eu digo sempre: Ainda não, preciso de vocês aqui!

Ao meu filho Rafael Antonio, o amor maior, que sempre me surpreende com seu olhar sobre o mundo, sua coerência e seu impulso para a vida. Rafael, já lhe disse: Vai fundo! Usufrua de seus dons, que são tantos e bons! Obrigada por estar comigo, sempre!

As minhas irmãs queridas Eliane e Magali. Nossa certeza: temos umas às outras. Incluo aqui, Letícia, minha princesa, trilhando pelos caminhos da adolescência.

Meu segundo pilar, os amigos, que não irei nomear. Amorosos, companheiros, presentes. Estão em muitos lugares, alguns distantes. Sem eles, nada acontece!

Agradeço ao meu terceiro pilar, fundamental nesse processo, Prof. Wanderley da Silva Paganini, meu orientador, chefe e amigo. A ele agradeço por ter me aceitado como orientanda, pela segunda vez, pelas orientações técnicas e por buscar sempre o melhor de mim, e de todos! Trabalhando com ele, minha trajetória profissional ganhou outra dimensão, mais ampla e rica em possibilidades de desenvolvimento. É nosso grande exemplo de superação de si mesmo, de dedicação ao trabalho e de compromisso perante o outro. É bússola de todos nós: mostrando caminhos, corrigindo rumos, encontrando respostas, especialmente nas horas difíceis. A ele eu diria: gostaria de ter feito melhor...

A todos aqueles que me ajudaram para que eu pudesse concluir esse trabalho:

Agradeço ao Marcio Luiz R. Fernandez, gerente do Laboratório de Controle Sanitário da Unidade de Negócio Centro da Diretoria Metropolitana da Sabesp, à Silvia Bittencourt e sua equipe pela realização das análises que compõem esse trabalho e pela gentileza com que me receberam no Laboratório.

Agradeço às equipes operacionais das Unidades de Negócio da Diretoria de Sistemas Regionais da Sabesp, UN Litoral Norte, UN Baixo Tietê e Grande, UN Baixo Paranapanema, pelo apoio na coleta e transporte de amostras de chorume e dos esgotos das estações de tratamento de Esgotos de Boiçucanga, Fernandópolis e Tupã: Antonio Dirceu P. Azevedo, Donizete Aparecido Burque, Mizael, Oscar Agide Arvati, Oswaldo Fernandes Junior, Sérgio Luiz de Barros e também aos demais colegas da Sabesp que me auxiliaram, direta ou indiretamente nesta tarefa.

Agradeço aos técnicos da Unidade de Negócio de Tratamento de Esgotos da Diretoria Metropolitana da Sabesp, pelo apoio técnico, pela disponibilização de dados e do TOXCHEM+.

Agradeço à equipe do Piqueri – Posto de Recebimento de Esgotos Não Domésticos por caminhão, pelo apoio na coleta nos caminhões, pelos dados operacionais do Posto, especialmente ao Rubens Domenici e Tadeu.

Agradeço aos técnicos das Unidades de Negócio da Sabesp que trabalham com o END-recebimento de esgotos não domésticos, pelos dados, pela amizade, pelo apoio de sempre.

Agradeço ao Departamento de Limpeza Urbana – LIMPURB da Prefeitura Municipal de São Paulo por disponibilizar dados sobre os aterros municipais e também à Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Tupã por permitir o acesso ao Aterro Municipal de Tupã para a coleta de amostras, assim como aos responsáveis pelo aterro de Meridiano.

Agradeço aos meus companheiros da Superintendência de Gestão Ambiental da Sabesp, pelo apoio constante, pela amizade, pela convivência diária. Agradeço ao estagiário Rodrigo pela ajuda com as simulações da ETE Barueri.

Agradeço à Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo pelo fornecimento do cadastro de identificação dos aterros.

Agradeço ao Eng. Luiz Yoshiharo Ito, que desenvolveu comigo vários estudos de viabilidade de recebimento de cargas de origem não doméstica nas estações de tratamento de esgotos do interior e litoral do estado, quando trabalhamos juntos na “R”.

Agradeço aos meus colegas da Faculdade de Saúde Pública, do Grupo de Orientação Coletiva, Alceu de Castro Galvão Junior, Ana Paula Silva Campos, Andréa Afonso, Camila Brandão N. Borges, Carlos Roberto dos Santos, Camila Guedes, Claudia M. Gomes Quevedo, Cristiano Kenji Iwai, Maria do Carmo de Oliveira Doria, Marilda de Souza Soares e Patrícia B. M. T. Mendes pela alegria da convivência, pela troca de experiências nas nossas reuniões de Grupo, pelas sugestões sempre pertinentes e bem-vindas.

Agradeço aos professores da Faculdade de Saúde Pública, pelos ensinamentos e apoio recebido.

Agradeço aos funcionários da Faculdade de Saúde Pública da USP, que sempre foram gentis e solícitos comigo. Adorei conviver com vocês!

Obrigada a todos!

RESUMO

O presente trabalho discute o recebimento de lixiviado de aterros sanitários em estações de tratamento do sistema público de esgotos para tratamento conjunto. Descreve os processos de geração do lixiviado nos aterros e faz uma avaliação desse recebimento em quatro estações de tratamento em operação no Estado de São Paulo que empregam processos biológicos de tratamento por lodos ativados convencional e por batelada, lagoas de estabilização (anaeróbia seguida de facultativa) e lagoas aeradas. Também apresenta a variação da produção de lixiviado em aterros sanitários em função dos períodos de chuva e seca, estabelecidos pela precipitação observada no período avaliado. Conclui que o tratamento conjunto de lixiviado de aterro é uma alternativa a ser considerada no planejamento dos sistemas de resíduos sólidos e de esgotos sanitários. A adoção do tratamento conjunto traz benefícios a esses sistemas e à sociedade, pois pode representar economia de escala, atendimento às exigências legais e conformidade ambiental, promovendo melhores condições de saúde pública.

Palavras-chave: lixiviado, esgotos sanitários, tratamento conjunto, aterro sanitário, estações de tratamento de esgotos

SUMMARY

This work discusses the receipt of sanitary landfill leachate by public wastewater treatment plants for joint treatment. It describes the processes through which leachate is generated in landfills and assesses its receipt in four wastewater treatment plants in the state of São Paulo that employ biological processes such as conventional and batch activated sludge and stabilization ponds (anaerobic pond followed by facultative pond). Additionally, the work shows the variation in the production of leachate during the dry and rainy seasons, which were established based on the volume of rainfall during the period of study. The conclusion is that the joint treatment of landfill leachate by wastewater treatment plants with the appropriate technical and operational criteria is an alternative to be considered in the planning of solid waste and sanitary sewer systems. The adoption of the joint treatment would benefit these systems and the society because it would result in economy of scale, compliance with legal and environmental legislation, and improvement of public health.

Key words: leachate, sanitary sewer systems, joint treatment, sanitary landfill, wastewater treatment plants

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	27
2. OBJETIVOS	34
2.1. OBJETIVO GERAL	34
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
3. REVISÃO DA LITERATURA	35
3.1. ÍNDICES DE COBERTURA DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO NO PAÍS E NO ESTADO DE SÃO PAULO	36
3.1.1. Disposição Final de Resíduos Sólidos	36
3.1.2. Saneamento Básico e Tratamento de Esgotos	40
3.2. GERENCIAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	46
3.2.1. Formas de Disposição Final de Resíduos Sólidos	47
3.2.1.1. Lixões	47
3.2.1.2. Aterros Controlados	48
3.2.1.3. Aterros Sanitários	49
3.2.1.4. Tecnologias Simplificadas de Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos	50
3.2.2. Experiências Diversas de Disposição de Resíduos Sólidos em Municípios de Pequeno Porte	52
3.3. GERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO LIXIVIADO DOS ATERROS	54
3.3.1. Decomposição da Matéria Orgânica nos Aterros	54
3.3.2. Fatores que Interferem na Produção do Lixiviado	59
3.3.2.1. Influência das Condições Climáticas	62

3.3.2.2.	Influência das Características do Resíduo Sólido _____	64
3.3.2.3.	Influência dos Fatores Operacionais do Aterro _____	66
3.3.3.	Composição e Características do Lixiviado dos Aterros _____	69
3.3.3.1.	Componentes Presentes nos Lixiviados dos Aterros _____	69
3.4.	COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS	
	SANITÁRIOS _____	77
3.5.	TRATAMENTO CONJUNTO DE LIXIVIADO DE ATERRO COM O	
	ESGOTO SANITÁRIO _____	78
3.5.1.	Oscilações de Vazão da Produção de Lixiviados de Aterros e Variações da sua Composição ao Longo do Tempo _____	79
3.5.2.	Exigências da Legislação em Relação à Qualidade dos Corpos d'Água e aos Limites de Emissão ou Lançamento _____	79
3.5.3.	Custos Envolvidos _____	81
3.5.4.	Lixiviado dos Aterros e Estações de Tratamento do Sistema Público de Esgotos _____	82
3.5.5.	Capacidade de Recebimento das Cargas Provenientes do Lixiviado pelas Estações de Tratamento de Esgotos _____	85
3.5.5.1.	Limites de Qualidade Adotados _____	87
3.5.5.2.	Cálculo da Carga Máxima Admissível no Afluente _____	94
3.5.5.3.	Definição da Capacidade Adicional Disponível - "Folga" _____	97
3.6.	EXPERIÊNCIAS QUE REFLETEM OS ASPECTOS PRÁTICOS	
	DO TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS _____	98
3.6.1.	Estudos de Alternativas de Tratamento de Lixiviado – Ribeirão Preto - SP _____	98
3.6.2.	Tratamento Exclusivo de Lixiviado – Santa Maria - RS _____	99
3.6.3.	Experiência de Tratamento Conjunto de Lixiviado – Canoas - RS _____	99

3.6.4.	Tratamento Isolado de Lixiviado – Jaboatão dos Guararapes - Pe	101
3.6.5.	Tratamento Conjunto de Lixiviado – Pesquisa em Campo com Escala Reduzida – Rio de Janeiro - RJ	103
3.6.6.	Recirculação dos Lixiviados nos Aterros	104
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	108
4.1.	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE PESQUISA	108
4.1.1.	Tupã – SP	110
4.1.1.1.	Estação de Tratamento de Esgotos de Tupã - SP	110
4.1.1.2.	Recebimento de Lixiviados de Aterros Sanitários pela ETE Tupã	111
4.1.2.	São Sebastião - SP	113
4.1.2.1.	Estação de Tratamento de Esgotos de Boiçucanga – Praia de Boiçucanga – São Sebastião - SP	114
4.1.2.2.	Recebimento de Lixiviados de Aterros Sanitários pela ETE Boiçucanga - São Sebastião - SP	115
4.1.3.	Fernandópolis – SP	117
4.1.3.1.	Estação de Tratamento de Esgotos de Fernandópolis - SP	118
4.1.3.2.	Recebimento de Lixiviados de Aterros Sanitários pela ETE Fernandópolis	119
4.1.4.	Região Metropolitana de São Paulo - SP	121
4.1.4.1.	Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri - SP	124
4.1.4.2.	Recebimento de Lixiviados de Aterros Sanitários pela ETE Barueri	125
4.2.	LEVANTAMENTO DE DADOS	127
4.2.1.	Dados Secundários	128
4.2.2.	Obtenção de Dados Primários	129

4.3. CRITÉRIOS E MODELOS EMPREGADOS PARA OS ESTUDOS DE VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO	131
4.4. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA PRODUÇÃO DE LIXIVIADO NOS ATERROS	133
4.4.1. O caso demonstrativo do Aterro São João – São Paulo - SP	135
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	137
5.1. VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO NA ETE TUPÃ - TUPÃ - SP	138
5.1.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Tupã - SP	138
5.1.2. Avaliação da Conformidade Legal do Efluente da ETE	141
5.1.2.1. Caracterização dos Esgotos da ETE Tupã - SP	141
5.1.2.2. Eficiência de Remoção de DBO	144
5.1.3. Avaliação do Impacto na ETE de Tupã Decorrente do Recebimento de Lixiviado	145
5.1.3.1. Caracterização dos Lixiviados Recebidos para Tratamento na ETE Tupã - SP	145
5.1.3.2. Avaliação da Capacidade da Fase Líquida - Processo Biológico Aeróbio	150
5.1.3.3. Avaliação da Capacidade da Fase Líquida - Processo Biológico Aeróbio	152
5.1.3.4. Avaliação da Capacidade da Fase Sólida	158
5.1.4. Considerações sobre o Recebimento de Lixiviado na ETE Tupã - SP	162
5.2. VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO NA ETE BOIÇUCANGA - PRAIA DE BOIÇUCANGA – SÃO SEBASTIÃO - SP	163
5.2.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Boiçucanga – São Sebastião - SP	163

5.2.2.	Avaliação da Conformidade Legal do Efluente da ETE_____	168
5.2.2.1.	Caracterização dos Esgotos da ETE Boiçucanga - São Sebastião - SP _____	168
5.2.2.2.	Eficiência de Remoção de DBO _____	171
5.2.3.	Avaliação do Impacto na ETE Boiçucanga Decorrente do Recebimento de Lixiviado _____	172
5.2.3.1.	Caracterização dos Lixiviados Recebidos para Tratamento na ETE Boiçucanga - SP _____	172
5.2.3.2.	Avaliação do Processo Biológico Aeróbio. Fase Líquida.____	177
5.2.3.3.	Avaliação da Capacidade da Fase Sólida _____	179
5.2.4.	Considerações sobre o Recebimento de Lixiviado na ETE Boiçucanga _____	181
5.3.	VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO NA ETE	
	FERNANDÓPOLIS - FERNANDÓPOLIS - SP _____	183
5.3.1.	Estação de Tratamento de Esgotos de Fernandópolis - SP	183
5.3.2.	Avaliação da Conformidade Legal do Efluente da ETE_____	186
5.3.2.1.	Caracterização dos Esgotos da ETE 2 Fernandópolis - SP	186
5.3.2.2.	Eficiência de Remoção de DBO _____	189
5.3.3.	Avaliação do Impacto na ETE 2 Fernandópolis Decorrente do Recebimento de Lixiviado _____	190
5.3.3.1.	Caracterização dos Lixiviados Recebidos para Tratamento na ETE 2 Fernandópolis – SP _____	190
5.3.3.2.	Avaliação da Capacidade das Lagoas Anaeróbias – Processo Biológico Anaeróbio _____	194
5.3.3.3.	Avaliação da capacidade das lagoas facultativas _____	196
5.3.4.	Considerações sobre o Recebimento de Lixiviado pela ETE 2 Fernandópolis - SP _____	201

5.4. VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO NA RMSP – ETE BARUERI	202
5.4.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri – SP	202
5.4.2. Avaliação da Conformidade Legal do Efluente da ETE Barueri	213
5.4.2.1. Caracterização do Esgotos da ETE Barueri - RMSP	213
5.4.3. Avaliação da Capacidade da ETE Barueri para o Recebimento do Lixiviado dos Aterros	215
5.4.3.1. Caracterização dos Lixiviados Recebidos para Tratamento na ETE Barueri	215
5.4.3.2. Avaliação da Capacidade de Recebimento de Cargas Adicionais na ETE Barueri. Fase Líquida e Fase Sólida.	220
5.4.3.3. Considerações sobre o Recebimento de Lixiviado pela ETE Barueri - SP	228
5.5. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ATERROS DO ESTADO DE SÃO PAULO	230
5.6. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LIXIVIADO NOS PERÍODOS CHUVOSOS E DE SECA.	232
5.7. AÇÕES OPERACIONAIS DE VIABILIZAÇÃO DO RECEBIMENTO DE LIXIVIADO PELO SISTEMA PÚBLICO DE ESGOTOS	238
5.7.1. Controle dos Volumes	239
5.7.2. Pré-tratamento do Lixiviado	239
5.7.3. Estabelecimento da Carga Máxima Limite para o Lixiviado	239
5.7.4. Medidas Complementares	240
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	241
7. REFERÊNCIAS	246

Lista de Tabelas

Tabela 1. Produção de lixiviado em aterros sanitários _____	30
Tabela 2. Análise do IQR médio em função da população - 2008 _____	39
Tabela 3. Porcentagem de coleta e tratamento de esgotos no Estado de São Paulo _____	41
Tabela 4. Fases da decomposição da matéria orgânica presente nos aterros _____	58
Tabela 5. Faixas de concentração dos principais parâmetros do lixiviado de aterros sanitários. _____	75
Tabela 6. Características do Esgoto doméstico _____	77
Tabela 7. Estudos sobre o tratamento conjunto de lixiviado com esgotos sanitários. _____	83
Tabela 8. Limites dos efeitos inibitórios de compostos inorgânicos em lodos ativados e processo de nitrificação _____	89
Tabela 9. Limites dos efeitos inibitórios de compostos orgânicos em lodos ativados e processo de nitrificação _____	90
Tabela 10. Concentrações limites de metais no lodo. Valores em mg/kg. _	92
Tabela 11. Limites para lançamento de efluentes _____	93
Tabela 12. Coletas realizadas nas estações de tratamento de esgotos__	129

Tabela 13. Realização de coletas dos lixiviados dos aterros sanitários	130
Tabela 14. Parâmetros analisados, limites de detecção do método e métodos analíticos*	130
Tabela 15. Caracterização da ETE Tupã: DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal e pH	142
Tabela 16. Resultados da caracterização do esgoto afluyente e efluente da ETE Tupã – vários parâmetros	143
Tabela 17. Resultados da caracterização do lixiviado do aterro de Tupã	146
Tabela 18. Valores médios de precipitação no município de Tupã (mm)	147
Tabela 19. Valores adotados para projeção da população. Tupã.	150
Tabela 20. Evolução da carga afluyente à ETE Tupã	152
Tabela 21. Vazões afluyentes à ETE Tupã e tempo de detenção hidráulica	153
Tabela 22. Cálculo da carga diária de DBO removida. ETE Tupã.	156
Tabela 23. Potência necessária para degradar a matéria orgânica afluyente à ETE Tupã.	157
Tabela 24. Lodo acumulado durante o ano na lagoa de sedimentação. ETE Tupã. Valores em mg/L, exceto onde indicado.	159
Tabela 25. Volumes em m ³ de lodo acumulado na lagoa ao longo do tempo. ETE Tupã.	160

Tabela 26. Área do leito de secagem necessária para desidratar o lodo produzido na ETE Tupã. _____	161
Tabela 27. Caracterização da ETE Boiçucanga: DBO e DQO _____	168
Tabela 28. Resultados da caracterização do esgoto afluente e efluente da ETE Boiçucanga – São Sebastião - SP _____	170
Tabela 29. Resultados da caracterização do lixiviado recebido em Boiçucanga _____	173
Tabela 30. Valores médios de precipitação no município de São Sebastião (mm) _____	174
Tabela 31. Caracterização da ETE Fernandópolis: DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal e pH _____	187
Tabela 32. Resultados da caracterização do esgoto afluente e efluente da ETE Fernandópolis _____	188
Tabela 33. Resultados da caracterização do lixiviado recebido pela ETE 2 Fernandópolis. _____	191
Tabela 34. Valores totais de precipitação. Fernandópolis (mm) _____	192
Tabela 35. Resultados da caracterização do efluente da ETE Barueri. Valores médios anuais em mg/L. _____	214
Tabela 36. Vazão de lixiviado e vazão afluente. ETE Barueri. (m ³ /d) _____	217
Tabela 37. Carga de lixiviados de aterros recebida na ETE Barueri. Valores médios anuais em kg/d. _____	218

Tabela 38. Vazão e carga de lixiviado e do afluente à ETE Barueri – 2009. Valores em (kg/d), exceto onde indicado. _____	219
Tabela 39. Limites de referência adotados para o cálculo da carga máxima admissível _____	220
Tabela 40. Cálculo da concentração máxima admissível no afluente – ETE Barueri. Valores em mg/L. _____	224
Tabela 41. Caracterização da ETE Barueri. 2009. Metais. Valores em mg/L _____	226
Tabela 42. Cálculo da carga máxima admissível e da “folga”. ETE Barueri _____	227
Tabela 43. Concentração de metais no lodo desidratado da ETE Barueri (mg/kg) _____	228

Lista de figuras

Figura 1. Representação hipotética da quantidade de lixiviado produzida por aterros em regiões metropolitanas _____	29
Figura 2. Ciclo do saneamento ampliado pela interface “estação de tratamento de esgotos ↔ aterro sanitário” _____	31
Figura 3. Destino do lixo para aterro sanitário no Brasil _____	36
Figura 4. Índice de Qualidade de Resíduos no Estado de São Paulo ____	37
Figura 5. Índice de atendimento total de coleta de esgotos, distribuído por faixas percentuais, segundo os estados brasileiros _____	40
Figura 6. Imagem de um lixão _____	48
Figura 7. Imagem de um aterro controlado _____	49
Figura 8. Imagem de um aterro sanitário _____	50
Figura 9. Aterro em valas. Vala em utilização. _____	51
Figura 10. Fluxograma do processo de decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos _____	57
Figura 11. Representação esquemática da ETE Barueri-TOXCHEM+ ____	96
Figura 12. Representação esquemática do tanque de aeração pelo TOXCHEM+ _____	96
Figura 13. Lagoa de recirculação situada sobre a célula do aterro. _____	107
Figura 14. Localização do município de Tupã. _____	110
Figura 15. ETE Tupã – Imagem de satélite. _____	111
Figura 16. Aterro sanitário de Tupã – Imagem de satélite. _____	112
Figura 17. Célula de resíduos do aterro sanitário de Tupã _____	113
Figura 18. Localização do município de São Sebastião. _____	114
Figura 19. Imagem aérea da ETE Boiçucanga _____	115
Figura 20. Aterro da Baleia – imagem de satélite. _____	116

Figura 21. Sistema de drenagem - Aterro da Baleia. _____	117
Figura 22. Localização do município de Fernandópolis. _____	118
Figura 23. Imagem de satélite da ETE 2 Fernandópolis. _____	119
Figura 24. Célula de resíduos. Frente de operação do Aterro Meridiano_	120
Figura 25. Vista parcial das lagoas de lixiviado ao Aterro Meridiano. ____	121
Figura 26. Localização da RMSP _____	121
Figura 27. Sistemas de Esgotos da RMSP _____	122
Figura 28. Sistema principal de esgotos da RMSP _____	123
Figura 29. Imagem de satélite – ETE Barueri. _____	125
Figura 30. EEE Piqueri. Posto de Recebimento de Efluentes por Caminhão. _____	126
Figura 31. Vista dos aterros com maior contribuição de lixiviado para a ETE Barueri _____	127
Figura 32. Aterro São João. _____	136
Figura 33. Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos de Tupã. ____	138
Figura 34. Planta esquemática da ETE Tupã - SP _____	139
Figura 35. Vista do gradeamento e caixa de areia da ETE Tupã - SP ____	139
Figura 36. Vista parcial das lagoas aeradas e de sedimentação da ETE Tupã _____	140
Figura 37. Vista parcial dos leitos de secagem de lodo da ETE Tupã - SP _____	141
Figura 38. ETE Tupã: Eficiência de remoção de DBO _____	145
Figura 39. Variação da DBO com a precipitação – Lixiviado do aterro de Tupã _____	148
Figura 40. Variação da biodegradabilidade do afluente da ETE Tupã e do lixiviado _____	149

Figura 41. Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos de Boiçucanga _____	164
Figura 42. Planta esquemática da ETE Boiçucanga – São Sebastião – SP _____	164
Figura 43. Vista dos equipamentos que compõem o tratamento preliminar da ETE Boiçucanga _____	165
Figura 44. Vista parcial dos reatores da ETE Boiçucanga _____	166
Figura 45. Vista do sistema de desinfecção do efluente da ETE Boiçucanga _____	166
Figura 46. Vista dos equipamentos que compõem a fase sólida da ETE Boiçucanga _____	167
Figura 47. Eficiência de remoção de DBO – ETE Boiçucanga – São Sebastião – SP _____	172
Figura 48. Variação da DBO com a precipitação – Lixiviado do Aterro da Baleia. São Sebastião - SP _____	175
Figura 49. Dados gráficos de chuva diária no município de São Sebastião _____	175
Figura 50. Variação da biodegradabilidade do afluente à ETE Boiçucanga e do lixiviado _____	176
Figura 51. Esquema da ETE 2 Fernandópolis. _____	184
Figura 52. Planta esquemática da ETE 2 Fernandópolis _____	184
Figura 53. Elementos que compõem o tratamento preliminar da ETE 2 Fernandópolis _____	185
Figura 54. Vista parcial das lagoas de estabilização da ETE 2 Fernandópolis _____	185
Figura 55. Escada de aeração da ETE 2 Fernandópolis. _____	186
Figura 56. Eficiência de remoção de DBO para a ETE Fernandópolis ____	190
Figura 57. Variação da DBO com a precipitação – ETE 2 Fernandópolis	193

Figura 58. Representação gráfica da precipitação observada em Fernandópolis em abril, julho e agosto de 2009 _____	193
Figura 59. Variação da biodegradabilidade do afluente à ETE e do lixiviado. Fernandópolis _____	194
Figura 60. Vista aérea da ETE Barueri – SP _____	203
Figura 61. Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri - SP _____	204
Figura 62. Planta esquemática da ETE Barueri - SP _____	205
Figura 63. Vista do poço distribuidor da ETE Barueri _____	206
Figura 64. Grades mecanizadas e caixas de areia da ETE Barueri _____	207
Figura 65. Tanques de pré-aeração da ETE Barueri. _____	208
Figura 66. Decantadores primários da ETE Barueri. _____	209
Figura 67. Tanques de aeração da ETE Barueri. _____	209
Figura 68. Decantadores Secundários da ETE Barueri _____	210
Figura 69. Digestores da ETE Barueri _____	211
Figura 70. Filtros-prensa da ETE Barueri _____	212
Figura 71. Volume anual de lixiviado descartado no Piqueri. Período: 1999 - 2009 _____	216
Figura 72. Volume mensal de lixiviado descartado no Piqueri. Período: 2006-2008 _____	216
Figura 73. ETE Barueri. Proporção entre Vazão lixiviado / Vazão ETE ____	217
Figura 74. Situação geral do Estado de São Paulo quanto às quantidades de resíduos sólidos domiciliares gerados e o IQR _____	231
Figura 75. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. 2008 ____	233
Figura 76. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. 2009 ____	233
Figura 77. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Janeiro/2008 _____	234

Figura 78. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Fevereiro/2008 _____	234
Figura 79. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Março/2008 _____	235
Figura 80. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Abril/2008 _____	235
Figura 81. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Maio/2008 _____	235
Figura 82. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Junho/2008 _____	236
Figura 83. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Julho/2008 _____	236
Figura 84. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Agosto/2008 _____	236
Figura 85. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Setembro/2008 _____	237
Figura 86. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Outubro/2008 _____	237

Lista de símbolos e abreviações

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT / TOC – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IQR – Índice de Qualidade de Resíduos

LIMPURB – Departamento de Limpeza Urbana

MLSS – Concentração de sólidos em suspensão na mistura líquida (tanque de aeração)

MS – Ministério da Saúde

NBR – Normas Brasileiras

NMP – Número Mais Provável

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

OD – Oxigênio Dissolvido

OG – Óleos e Graxas

ONU – Organização das Nações Unidas

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

pH – Potencial hidrogeniônico

PMSS – Programa de Modernização do Setor Saneamento

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PROSAB – Programa Pesquisas em Saneamento Básico

Qar – Vazão de ar

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SST – Sólidos Suspensos Totais

ST – Sólidos Totais

SUS – Sistema Único de Saúde

T – Temperatura

U. S. EPA - Environmental Protection Agency

ρ - Coeficiente de Pearson

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho denominado “*O lixiviado dos aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgotos*” discute sob vários aspectos a disposição final de resíduos sólidos, especialmente em relação ao tratamento do lixiviado gerado nos aterros sanitários.

Reporta e analisa algumas experiências relativas ao recebimento de lixiviado dos aterros por sistemas públicos de esgotos para tratamento conjunto em estações de tratamento de esgotos sanitários, buscando identificar aspectos relevantes a serem considerados quando adotada essa prática, de modo a garantir a obtenção dos resultados pretendidos, no que se refere ao atendimento aos requisitos legais e técnicos, com benefícios ambientais, econômicos e sociais.

O recebimento de lixiviado para tratamento conjunto com os esgotos sanitários é adotado em vários países, porém ainda são necessários estudos para a compreensão integral das implicações deste procedimento em relação a diversos aspectos, tais como os efeitos tóxicos aos processos biológicos de tratamento, à qualidade do lodo e do efluente do tratamento e os procedimentos operacionais mais adequados, uma vez que o lixiviado tem suas características alteradas ao longo do tempo, apresentando significativa variação na vazão gerada, especialmente em função do volume de chuvas sobre o aterro.

O chorume é um líquido produzido a partir da decomposição da matéria orgânica contida no lixo, através de transformações químicas e de produtos variados do metabolismo celular, bem como da ação das enzimas produzidas por bactérias e outros microrganismos que quebram a matéria orgânica em moléculas mais simples facilitando a assimilação pelas células dos microrganismos (ANDREOTOLLA e CANNAS⁷, 1997).

A fração líquida do aterro sanitário é resultante de várias fontes, dentre elas a umidade dos resíduos depositados, a água da chuva que penetra nas células do aterro e o próprio chorume. A esse conjunto de líquidos dá-se o nome de percolado, líquidos percolados ou lixiviado.

As avaliações realizadas neste trabalho se referem a esse conjunto de líquidos percolados, o lixiviado dos aterros, pois é esse o material recebido pelas estações de tratamento.

O termo “chorume” foi empregado em larga escala para designar o lixiviado dos aterros, inclusive pela comunidade técnica e científica. Atualmente ainda é adotado pelas áreas operacionais dos aterros e estações de tratamento de esgotos.

Ressalta-se que a NBR 8419², 1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – para Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos adota a nomenclatura “sumeiro ou chorume” para designar o lixiviado dos aterros, da seguinte forma: “líquido, produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)”.

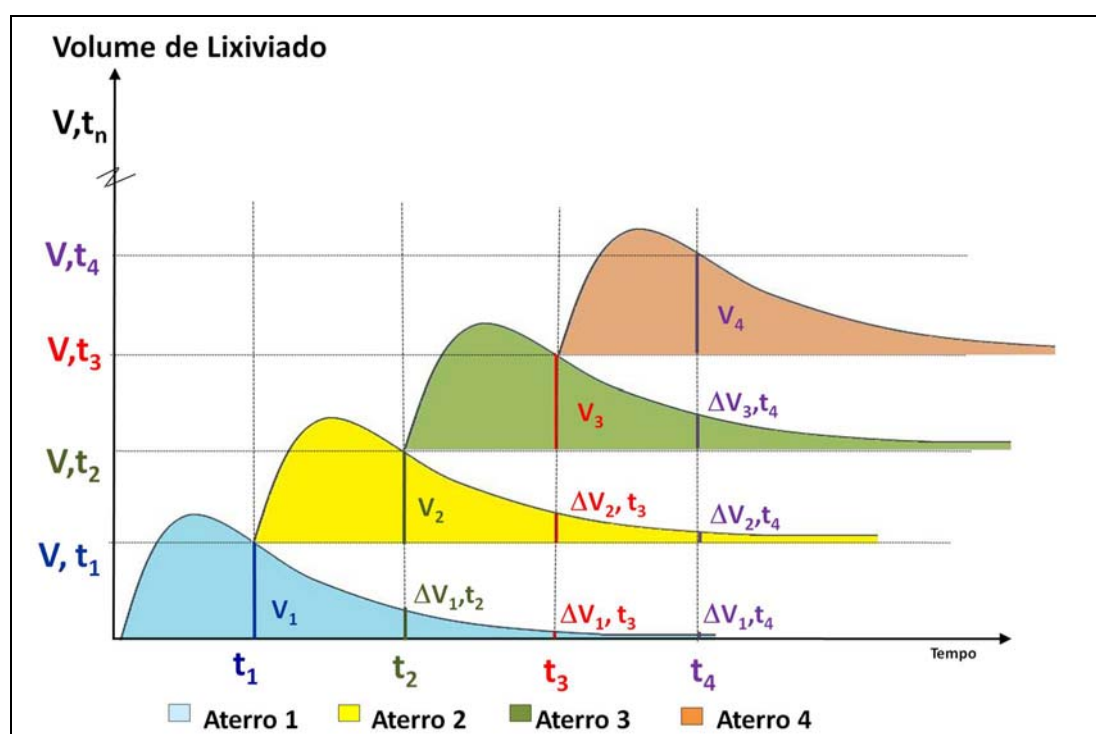
O lixiviado é o principal agente causador da poluição bioquímica relacionada aos resíduos sólidos. Ao atingir os mananciais irá consumir todo ou quase todo o oxigênio presente, dependendo do grau de diluição, para realizar a decomposição da matéria orgânica nele contida. Com a redução do oxigênio, a sobrevivência dos organismos aquáticos aeróbios é afetada diretamente, e a partir do início dos processos anaeróbios de decomposição haverá produção de gases como o metano, de alta toxicidade para quase todos os animais superiores.

Nos programas de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos adotados pelos municípios e mesmo em documentos oficiais, bem como nos textos de lei, verifica-se constantemente o emprego da expressão “disposição final ambientalmente segura dos resíduos, garantindo-se a proteção à saúde

pública", porém sem a captação e o tratamento adequado do lixiviado, bem como de outras providências, como o controle dos gases gerados e o monitoramento das águas subterrâneas, não é possível garantir a qualidade do meio ambiente, nem a disposição final segura dos resíduos e a proteção à saúde.

A Figura 1 traz uma representação hipotética da evolução da quantidade de lixiviado produzida nos aterros e como ela se acumula ao longo do tempo. O que se pretende retratar são os acréscimos de carga e vazão a serem tratados.

Figura 1. Representação hipotética da quantidade de lixiviado produzida por aterros em regiões metropolitanas



Considerando-se que:

- t_1 = Momento no qual o Aterro 1 é encerrado e o Aterro 2 entra em operação;

- t_2 = Momento no qual o Aterro 2 é encerrado e o Aterro 3 entra em operação;
- t_3 = Momento no qual o Aterro 3 é encerrado e o Aterro 4 entra em operação e assim sucessivamente até o momento t_n .

A partir da Figura 1 pode-se depreender a evolução da produção de lixiviado em termos de volume e carga, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Produção de lixiviado em aterros sanitários

Tempo	Volume	Carga
t_1	$V, t_1 = V_1$	$C, t_1 = C_1$
t_2	$V, t_2 = V_2 + \Delta V_{1,t_2}$	$C, t_2 = C_2 + \Delta C_{1,t_2}$
t_3	$V, t_3 = V_3 + \Delta V_{2,t_3} + \Delta V_{1,t_3}$	$C, t_3 = C_3 + \Delta C_{2,t_3} + \Delta C_{1,t_3}$
t_4	$V, t_4 = V_4 + \Delta V_{3,t_4} + \Delta V_{2,t_4} + \Delta V_{1,t_4}$	$C, t_4 = C_4 + \Delta C_{3,t_4} + \Delta C_{2,t_4} + \Delta C_{1,t_4}$
t_n	$V, t_n = V_n + \Delta V_{n-1,t_n} + \Delta V_{n-2,t_n-2} + \Delta V \dots$	$C, t_n = C_n + \Delta C_{n-1,t_n} + \Delta C_{n-2,t_n-2} + \Delta C \dots$

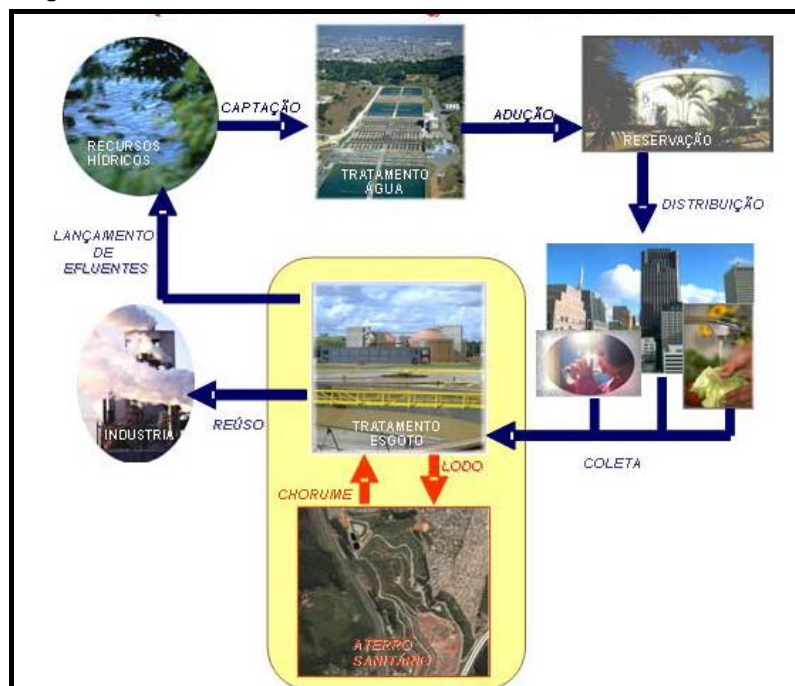
Salvo em regiões muito quentes, não existe aterro sanitário que não gere lixiviado, mesmo anos após ter-se exaurida sua capacidade de recebimento de resíduos para a disposição final, com o encerramento do regime operacional do aterro. Desta forma, considerar que a última etapa do gerenciamento integrado de resíduos sólidos compreende a disposição dos resíduos nos aterros configura-se numa visão limitada da abrangência dessa questão.

O ciclo do saneamento não leva em consideração a interface entre as estações de tratamento de esgotos e os aterros sanitários estabelecida por intermédio do tratamento do lixiviado e da disposição final do lodo. A Figura 2 apresenta o ciclo do saneamento ampliado, que incorpora o aterro sanitário.

Da mesma forma que o processo de tratamento de esgotos não termina com o desaguamento do lodo, a disposição final dos resíduos sólidos urbanos não se encerra com seu aterramento. O lodo e o lixiviado gerados por essas atividades devem ser objeto de cuidados específicos e submetidos a uma disposição final adequada, sendo esse um dos mais significativos problemas ambientais da atualidade.

A intensa fiscalização das agências ambientais sobre os empreendimentos potencialmente poluidores, especialmente sobre os aterros, bem como a exigência de licenciamento ambiental para a sua implantação e operação, têm levado os aterros a adotar procedimentos operacionais sanitariamente adequados, buscando minimizar os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública, decorrentes da contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas pelo lixiviado dos aterros. O tratamento desses resíduos líquidos possibilita a sua disposição final segura, minimizando os riscos à saúde pública e os impactos ambientais que podem representar quando não submetidos a um controle e gerenciamento adequados.

Figura 2. Ciclo do saneamento ampliado pela interface “estação de tratamento de esgotos ↔ aterro sanitário”



Fonte: Adaptado de SABESP⁶⁵

O tratamento conjunto do lixiviado com os esgotos sanitários pode ser uma alternativa bastante atrativa, pois o sistema público de esgotos apresenta uma faixa de trabalho ampla, que lhe confere uma boa flexibilidade no tratamento em virtude da diluição do lixiviado com o esgoto sanitário, porém é necessário que se estabeleça a proporção para a qual o lixiviado afluyente possa ser admitido, sem perturbar o processo de tratamento de esgotos em andamento e sem causar a deterioração da qualidade do efluente tratado, impossibilitando o atendimento à legislação quanto aos limites de emissão de efluentes nos corpos d'água.

Alguns fatores relevantes para o tratamento conjunto se referem aos custos de tratamento do lixiviado, que podem ser reduzidos em função da economia de escala decorrente desse tratamento. Outro aspecto também observado indica que os aterros têm buscado, sempre que possível, uma área para sua instalação próxima à estação de tratamento de esgotos do município, prevendo que estas estações poderão assumir o tratamento do lixiviado a ser gerado pelo aterro.

O que se verifica, normalmente, é que as estações de tratamento de esgotos não foram projetadas para receber essas elevadas cargas adicionais provenientes desse lixiviado, tornando-se cada vez mais necessário o aprofundamento do conhecimento das implicações e limitações do tratamento de lixiviado em conjunto com os esgotos sanitários, buscando informações para subsidiar os projetos e os procedimentos operacionais das estações de tratamento de esgotos quanto ao recebimento de lixiviado para tratamento conjunto.

Através do histórico operacional das estações de sistemas públicos de esgotos que recebem lixiviado para tratamento conjunto com os esgotos sanitários, buscando identificar eventuais problemas relacionados ao aporte de cargas provenientes do lixiviado, será possível levantar os principais aspectos a serem observados nos processos de tratamento de lixiviado em conjunto com os esgotos sanitários, voltados especificamente para nossas condições ambientais, climáticas, sociais e geográficas, numa área onde

existem poucos estudos afetos a este tema em nível nacional, não havendo uma metodologia definida para a realização destas avaliações.

Com este trabalho pretende-se ressaltar a necessidade da ampliação da abrangência do gerenciamento integrado do lixo, a partir dos aterros sanitários para os outros elementos que compõem um sistema de saneamento, mais especificamente para as estações de tratamento de esgotos.

A idéia central do trabalho é responder às seguintes questões: “Tratamento de lixiviado de aterros em conjunto com os esgotos sanitários em estações do sistema público de esgotos é viável? Sob quais condições”?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é discutir a viabilidade do tratamento conjunto do lixiviado de aterros com os esgotos sanitários nas estações do sistema público de esgotos, identificando os principais aspectos a serem considerados nesse procedimento.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os impactos do recebimento de lixiviado em estações do sistema público de esgotos para diferentes processos de tratamento.
- Identificar as variáveis a serem consideradas nos estudos de viabilidade do tratamento de lixiviado em conjunto com os esgotos sanitários.
- Identificar aspectos técnicos e operacionais que contribuam para viabilizar o tratamento conjunto de lixiviado de aterro com esgoto sanitário.
- Discutir as implicações do tratamento conjunto a partir da legislação ambiental vigente, dos aspectos teóricos e das experiências práticas relatadas na literatura específica.

3. REVISÃO DA LITERATURA

No Estado de São Paulo, a Lei Estadual Nº 12.300⁷¹, de 16 de março de 2006 que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, possui dentre seus princípios a minimização dos resíduos por meio de incentivos às práticas ambientalmente adequadas de reutilização, reciclagem, redução e recuperação, e dentre seus objetivos estabelece a redução da quantidade e nocividade dos resíduos sólidos, evitando os problemas ambientais e de saúde pública por eles gerados e erradicar os "lixões", "aterros controlados", "bota-foras" e demais destinações inadequadas.

Essas medidas visam tanto à utilização benéfica quanto a redução da quantidade de resíduos dispostos em aterros.

A busca por alternativas ambientalmente adequadas e sustentáveis para o tratamento e destinação final dos resíduos, configura-se como uma tendência mundial, haja vista as diretivas para aterro sanitário estabelecidas pela comunidade europeia que impõem limites cada vez mais restritivos para disposição de resíduos em aterros.

Essas iniciativas demonstram que nos próximos anos deverá ocorrer uma redução da quantidade de resíduos depositada nos aterros, ainda que por meio de exigências legais. Na comunidade europeia, o "Council Directive of the landfill of waste", de 26 de abril de 1999, estabeleceu que até 2016 a quantidade de resíduos biodegradáveis disposta em aterros deverá ser reduzida em 50% em relação aos valores praticados em 1995.⁵

A adoção de diretrizes específicas visando à redução da disposição de resíduos nos aterros é uma medida de controle e de proteção ambiental, e sua implementação é gradativa, podendo levar dezenas de anos até seu completo estabelecimento. Mesmo que esses programas e medidas sejam estabelecidos com total êxito, enquanto houver disposição de resíduos em

aterros sanitários, sendo esses aterros executados da mesma forma como são concebidos atualmente, então haverá geração de lixiviado, exceto sob condições muito específicas.

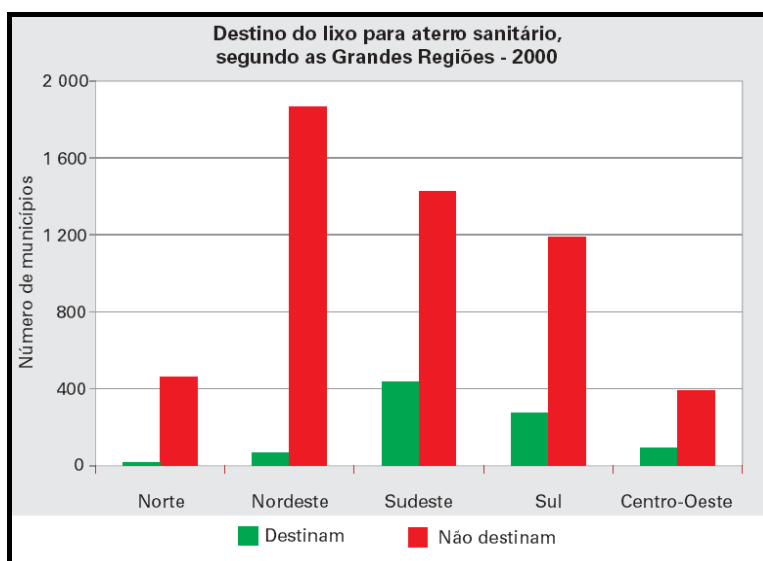
Desta forma, até que a adoção dessas medidas de controle possam surtir efeito no volume de lixiviado produzido, é necessário utilizar-se de alternativas viáveis para o tratamento desse lixiviado gerado.

3.1. ÍNDICES DE COBERTURA DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO NO PAÍS E NO ESTADO DE SÃO PAULO

3.1.1. Disposição Final de Resíduos Sólidos

De acordo com os dados do IBGE³⁷, 2002, conforme mostra a Figura 3, menos de 20% dos municípios do país destinam o lixo gerado para os aterros sanitários.

Figura 3. Destino do lixo para aterro sanitário no Brasil

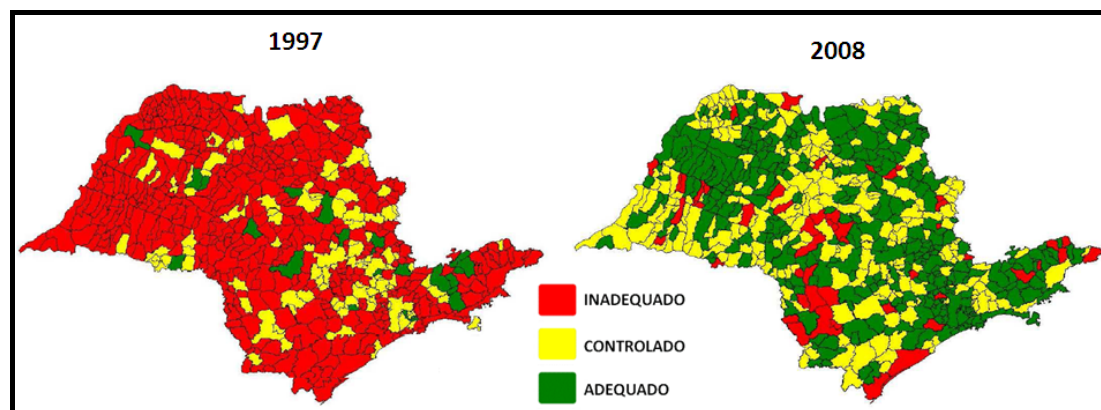


Fonte: Extraído de IBGE³⁷, 2002

No Estado de São Paulo, quando se compara a condição da destinação de resíduos sólidos verificada no ano de 1997, com a situação apresentada para o ano de 2008 (Figura 4), observa-se uma melhora efetiva, de acordo com informações da CETESB¹⁵, 2008. Os índices médios de qualidade dos resíduos (IQR), conforme descrição a seguir, evoluíram de 4,0 para 8,0 nesse período.

SOARES⁷⁹ et al (2002) mencionam que em relação à quantidade, apenas 30,3% das unidades de disposição final de resíduos do país são formas sanitariamente adequadas, chamando a atenção para as dificuldades de gestão da poluição, que apresenta focos isolados e dispersos, em função da distribuição geográfica do país, onde 73% dos municípios apresentam população inferior a 20.000 habitantes, conforme dados do IBGE³⁷, 2002.

Figura 4. Índice de Qualidade de Resíduos no Estado de São Paulo



Fonte: Extraído de CETESB¹⁵, 2008

Visando aprimorar os mecanismos de controle da poluição ambiental, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Cetesb, desde o ano de 1997, passou a organizar e sistematizar informações sobre as condições ambientais e sanitárias dos locais de destinação final dos resíduos sólidos nos municípios paulistas.

Para acompanhar e comparar as instalações e as condições operacionais nos locais de disposição de resíduos sólidos foram criados índices de

qualidade: o IQR - Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos, o IQR Valas-Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos em Valas e o IQC – Índice de Qualidade de Usinas de Compostagem, com pontuações variando de 0 a 10.

Em função das pontuações obtidas, as instalações são enquadradas da seguinte forma:

- Pontuação de 0,0 a 6,0 – CONDIÇÕES INADEQUADAS – I
- Pontuação de 6,1, a 8,0 – CONDIÇÕES CONTROLADAS – C
- Pontuação de 8,1 a 10,0 – CONDIÇÕES ADEQUADAS – A

As informações para a pontuação são levantadas por meio de um questionário que abrange, dentre outros, os seguintes aspetos:

- **Características do local**
 - Características do solo, proximidade dos corpos d'água, vizinhança, material para recobrimento.
- **Infra-estrutura implantada**
 - Cerca, impermeabilização, drenagem de lixiviado e águas pluviais, tratamento de lixiviado, coleta de gases, controles de recebimento, atendimento ao projeto.
- **Condições operacionais**
 - Aspecto geral, ocorrência de lixo a descoberto, funcionamento do sistema de drenagem e tratamento, presença de animais e catadores, equipe de vigilância, recebimento dos resíduos e outros.

Em relação ao sistema de tratamento de chorume¹, a abordagem é feita da seguinte forma:

- Sistema de Tratamento Suficiente = 5 pontos
- Sistema de Tratamento Insuficiente/Inexistente = 0 pontos

Quanto ao funcionamento desses sistemas, estabelece o seguinte critério:

- Sistema de Tratamento de Chorume BOM = 5 pontos
- Sistema de Tratamento de Chorume REGULAR = 2 pontos
- Sistema de Tratamento de Chorume INEXISTENTE = 0 pontos

De acordo com os dados levantados em 2008, apenas 8,2% dos municípios do Estado apresentaram condições inadequadas de disposição final de resíduos. A situação da disposição final de resíduos sólidos no Estado de São Paulo, conforme informações constantes do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos da Cetesb¹⁵ é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Análise do IQR médio em função da população - 2008

Número de municípios	Faixa de População (habitantes)	Porcentagem de geração de resíduos por dia em relação ao total do Estado	IQR médio	Classificação
575	Até 100 mil	13,5	7,9	C
33	De 100.001 a 200 mil	8	8,4	A
28	De 200.001 a 500 mil	17,6	8,4	A
9	> 500 mil	60,9	8,9	A
645		100%		

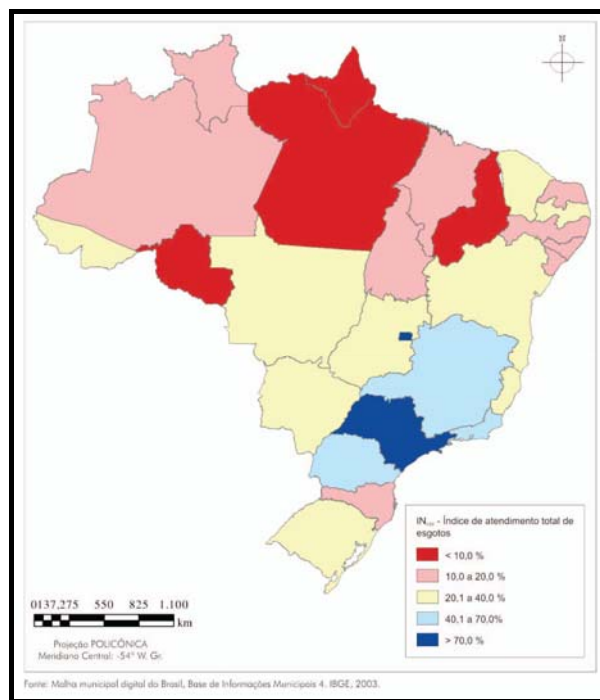
Fonte: Inventário Estadual de Resíduos Sólidos da CETESB¹⁵

¹ CHORUME é o termo adotado nos questionários do IQR.

3.1.2. Saneamento Básico e Tratamento de Esgotos

A carência pelos serviços de tratamento de esgotos ainda é muito grande no país, conforme mostram os dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 2007⁵⁰. O índice médio de coleta de esgotos no Brasil é de 69,7%, sendo que o tratamento atinge apenas 25% do que é coletado. A Figura 5 mostra a representação espacial do índice de atendimento total de coleta de esgotos, dos participantes do SNIS em 2007.

Figura 5. Índice de atendimento total de coleta de esgotos, distribuído por faixas percentuais, segundo os estados brasileiros



Fonte: Extraído de Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - SNIS⁵⁰ – 2007

Os números de coleta e tratamento de esgotos no Brasil refletem as diferenças regionais históricas do país: no Sudeste, o índice de coleta é de 91,4%, na região Norte, não chega a 9% das habitações e entre as capitais, as diferenças chegam a mais de 90%. Enquanto em cidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília e Porto Alegre a coleta de

esgoto atinge quase toda a população (com índices superiores a 85%), em Porto Velho, apenas 2,2% têm saneamento básico (AGÊNCIA BRASIL DE NOTÍCIAS³, 2009).

No Estado de São Paulo os índices de coleta de esgoto atingem 86% e os índices de tratamento ainda estão em 45%, conforme os dados da CETESB¹⁶ (2008), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Porcentagem de coleta e tratamento de esgotos no Estado de São Paulo

Faixa de população	Nº de Municípios	População Urbana	População Coletada	População Tratada	Em relação ao Total do Estado	
					% coleta	% tratamento
0 - 10.000	324	1.385.070	1.241.838	943.617	90	68
10.000 - 50.000	208	4.867.116	4.187.363	2.082.366	86	43
50.000 - 100.000	43	3.073.575	2.466.864	1.545.705	80	50
100.000 - 1.000.000	67	16.408.901	13.202.615	5.008.655	80	31
> 1.000.000	3	12.626.816	11.854.089	7.612.519	94	60
TOTAL		38.361.478	32.952.769	17.192.862	86	45

Fonte: Relatório de Qualidade de Águas Interiores, 2008. CETESB¹⁶

Esses números mostram a enorme demanda por saneamento vivenciada pelo país. O texto constitucional brasileiro delega à União a competência para "*Instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos*", garante o direito à saúde e estabelece que o Sistema Único de Saúde – SUS tem dentre suas atribuições, a participação na formulação da política e execução das ações de saneamento básico.

O saneamento tem um papel fundamental a desempenhar. Com a promulgação da Lei Federal 11.445/07¹², a Lei do Saneamento, a

universalização do acesso passou a ser um dos princípios fundamentais da prestação dos serviços públicos de saneamento básico.

A Resolução Conama 357/05⁵¹, que dispõe sobre classificação dos corpos d'água, considera a necessidade de se criar instrumentos destinados a avaliar a evolução da qualidade das águas, para facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos propostos. Da mesma forma, a Lei do Saneamento preconiza o estabelecimento de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais, mencionando a possibilidade de se estabelecer etapas de eficiência na implantação de sistemas de esgotamento sanitário, para buscar progressivamente atingir os padrões requeridos pela legislação ambiental vigente, em função da capacidade de pagamento dos usuários.

São várias frentes e iniciativas que se somam. Um bom exemplo desse quadro são as metas de desenvolvimento para o milênio, estabelecidas pela Cúpula do Milênio da Organização das Nações Unidas – ONU, 2000⁵⁹, destacando-se dentre elas, “garantir a sustentabilidade ambiental”, que contempla a integração dos princípios do desenvolvimento sustentável nas políticas e programas nacionais; a reversão da perda de recursos ambientais até 2015; a redução à metade, até 2015, da proporção da população sem acesso sustentável à água potável segura, e a melhora significativa nas vidas de pelo menos 100 milhões de habitantes de bairros degradados, até 2020.

A Fundação Nacional de Saúde³¹ – Funasa – tem dentre seus objetivos estratégicos para o período 2007-2015 o desenvolvimento de modelos de gestão em saneamento voltados para municípios de pequeno e médio porte e a ampliação da oferta dos serviços de saneamento ambiental, de modo a alcançar as metas do milênio em saneamento.

As ações de saneamento ambiental são fundamentais para a promoção da Saúde Pública. A própria Constituição reconhece essa ligação, fortalecida

pela Lei do Saneamento, ilustrada recentemente de maneira muito clara, no texto do Pacto pelo Saneamento Básico⁴⁹ (2008), da seguinte forma:

“O Brasil vive um momento único para o Saneamento Básico. O tema ganha, a cada dia, maior destaque pelo impacto na qualidade de vida, na saúde, na educação, no trabalho e no ambiente. Por outro lado, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) responde por investimentos robustos, ao mesmo tempo em que se reforça a necessidade do planejamento para aperfeiçoar os instrumentos da ação articulada do governo federal com estados, Distrito Federal e municípios e os diversos agentes que atuam no saneamento na busca da Universalização”...

Os objetivos se convergem. O Governo Federal, em 2007, anunciou o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, prevendo investimentos de R\$ 40 bilhões em saneamento básico até 2010⁵⁸. O Ministério das Cidades⁴ (2007) declarou que o déficit de saneamento no País necessita de investimentos de R\$ 9 bilhões anuais, em 20 anos, para que a universalização dos serviços seja concluída.

Ressalta-se que o foco da universalização é a disponibilização dos serviços de água e esgoto, não incluindo programas específicos para o tratamento dos resíduos sólidos. Porém, o país caminha no sentido de buscar a integração das questões ambientais e de recursos hídricos, e a disposição final dos resíduos sólidos acaba sendo incorporada, uma vez que interfere de maneira direta na qualidade da água.

O que se pretende com esse trabalho é vislumbrar a possibilidade de se resolver em conjunto essas questões. Há muito para ser feito em relação à disponibilização de sistemas de esgotamento sanitário e também quanto à disposição final de resíduos sólidos e conseqüentemente ao tratamento adequado do lixiviado gerado nessas instalações. Sob condições específicas o tratamento conjunto pode se extremamente adequado por representar ganhos ambientais e econômicos significativos.

Esse planejamento deveria ser desenvolvido de maneira integrada, considerando o tratamento conjunto do lixiviado dos aterros com os esgotos

sanitários, como uma das alternativas a serem avaliadas nos estudos de concepção dos sistemas de resíduos sólidos e de esgotos sanitários.

A tendência mundial estabelecida é realizar o tratamento dos efluentes gerados pelo sistema produtivo na própria fonte geradora e havendo possibilidade da realização do tratamento de efluentes industriais pelo sistema público de esgotos, este geralmente deverá ser precedido de um pré-tratamento.

Porém, essa não é a questão em foco, pois o que está em discussão não é “qualquer efluente gerado pelos diversos setores produtivos” e sim, a disponibilização dos serviços públicos de saneamento. Entendemos que a natureza dos empreendimentos é a mesma quando vista sob o prisma de “atividade potencialmente poluidora”, e sob esse aspecto é inegável que deva ser dada a correta destinação aos efluentes gerados por essas atividades. Porém, pode haver um escalonamento nos patamares de qualidade a serem atingidos, com vistas a administrar os recursos disponíveis.

Implantar sistemas de saneamento não é uma ação simples, nem barata. Para ilustrar essa afirmação, podemos mencionar o exemplo da comunidade europeia que no ano de 1991 estabeleceu a Diretiva 91/271/CCE²⁴ relativa ao tratamento de águas residuais urbanas, na qual estabelece prazos de até quinze anos para a implantação de sistemas de tratamento secundário, sendo também aceito o tratamento primário, sob condições específicas.

Para fazer o contraponto, dentro do Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS do Ministério das Cidades foi realizada uma pesquisa, em 1.907 municípios, finalizada em 2009, denominada “*Avaliação do controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no Brasil, nos termos da portaria MS 518/2004*”. A pesquisa obteve respostas de 1.296 cidades. Nesta pesquisa, quando questionados sobre o cumprimento das normas, 657 empresas responsáveis pelo serviço de água dos municípios afirmaram que têm grande dificuldade para realizar as análises

determinadas pelo Ministério da Saúde, argumentando a falta de equipamentos de laboratório e recursos financeiros. Em 40% dos casos, não há laboratórios dentro da cidade, e grande parte dos entrevistados aponta como um empecilho grave o número reduzido de funcionários (39%) e a falta de pessoal qualificado (26%) (REBIA⁶³, 2009).

Essas questões precisam ser observadas quando se planeja disponibilizar os serviços de saneamento básico.

Aceitar como “regularizados” os sistemas de disposição final de resíduos sólidos por meio da implantação dos aterros em valas, simplificados ou sustentáveis, denota que as agências ambientais despertam para os inquestionáveis benefícios ao meio ambiente que podem ser agregados pela implantação de melhorias gradativas nos sistemas de disposição de resíduos sólidos, sem mencionar as condições de saúde pública, também beneficiadas com essas ações.

Por todo o país há uma mobilização para buscar alternativas sustentáveis para municípios de pequeno porte e a universidade está inserida nesse contexto, pois são inúmeras as pesquisas em desenvolvimento nesse campo.

Não há recursos disponibilizados para se resolver as demandas ambientais em uma única etapa. As questões ambientais não podem ser conduzidas com base na política do “ou tudo ou nada”. É uma demonstração de maturidade e de capacidade de planejamento, admitir-se hoje, condições não ideais, mas intermediárias para a disposição de resíduos sólidos e para o tratamento dos esgotos, dentre outros.

A própria legislação ambiental brasileira caminha para abordar essas questões com os olhos voltados para a realidade do país. Hoje está incorporada a visão de que a melhor tecnologia disponível não é a melhor solução para qualquer problema. É preciso que se tenha uma visão ampla das questões ambientais, contextualizando-as em função das condições locais.

Com relação ao saneamento, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama - estabeleceu a criação de um grupo de trabalho para apresentar propostas complementares sobre condições e padrões de lançamento de efluentes para o setor de saneamento, conforme a Resolução nº 397/2008⁵².

É uma demonstração histórica de entendimento da peculiaridade desse setor, no qual as ações precisam ser planejadas com vistas à universalização do atendimento, o que é incompatível com o estabelecimento de padrões de qualidade extremamente restritivos. A progressividade das ações pode ser retratada pela experiência dos países desenvolvidos, que buscaram as melhorias ambientais de maneira gradativa, por exemplo, com a universalização dos tratamentos primários, seguidos dos secundários, implantando sistemas mais avançados somente em locais e condições críticas, que demandavam esse nível de tratamento de esgotos.

3.2. GERENCIAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Entende-se por gerenciamento integrado de resíduos sólidos o “conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve (com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos) para coletar, tratar e dispor adequadamente o lixo de sua cidade” (IPT³⁹, 2001).

Andrade, 1997 citado por LOPES⁴⁶, 2003 menciona que o conceito de gerenciamento está associado às noções de planejamento e controle, e no âmbito dos resíduos sólidos vislumbra a preservação dos recursos naturais, a economia de insumos e energia e a minimização da poluição ambiental,

destacando a questão da responsabilidade e do envolvimento dos setores da sociedade em relação à geração dos resíduos.

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos deve ser integrado, englobando etapas articuladas entre si, desde a “não” geração, até a disposição final (ZANTA e FERREIRA⁸⁸, 2003).

3.2.1. Formas de Disposição Final de Resíduos Sólidos

3.2.1.1. Lixões

São os locais de disposição final do lixo (Figura 6) que não apresentam nenhuma forma de controle ou proteção ambiental e à saúde pública. Trata-se da simples disposição dos resíduos sobre o solo (IPT³⁹, 1995).

Os lixões se configuram numa rede complexa de problemas associados, como os riscos de incêndio em função dos gases gerados pela decomposição do lixo, desmoronamentos e escorregamento de lixo, além da presença de animais distintos, proliferação de vetores de doenças, sendo comum a presença de catadores de lixo nesses locais.

No Brasil, a destinação de resíduos em lixões ainda é uma prática bastante utilizada. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – IBGE³⁸ (2000) apontou que 30,5% em peso, dos resíduos gerados no país eram dispostos em lixões, sendo que 63,6% do total dos municípios utilizavam esse tipo de disposição.

Figura 6. Imagem de um lixão



Fonte: Extraído de Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF⁸³

3.2.1.2. Aterros Controlados

Nos aterros controlados a disposição do lixo coletado é realizada, em bruto, mediante o cuidado de cobrir diariamente o lixo depositado com uma camada de terra. Nesses aterros os danos ou riscos à saúde pública são menores que nos lixões, minimizando os impactos ambientais. A Figura 7 mostra a imagem de um aterro controlado que dispõe de tratores de esteira para compactação do lixo.

Os aterros controlados não são providos de mecanismos para captação dos gases e dos lixiviados gerados, não se configurando, portanto, numa forma de disposição final adequada. Porém, quando localizados em locais apropriados, providos de solos com baixa permeabilidade, lençol freático abaixo da cota inferior do aterro (profundo) e mediante boas condições operacionais, os aterros controlados podem ser uma opção de destinação

final de resíduos muito melhor do que a simples disposição a céu aberto, praticada nos lixões (BIDONE e POVINELLI⁹, 1999; IPT³⁹, 1995).

Os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – IBGE³⁸ (2000) apontam que em 2000, 18,4% dos municípios do país utilizavam os aterros controlados para a disposição final dos resíduos sólidos, representando 22,3% do lixo produzido, em peso.

Figura 7. Imagem de um aterro controlado



Fonte: Extraído de Companhia Municipal de Desenvolvimento de Petrópolis²²

3.2.1.3. Aterros Sanitários

Os aterros sanitários (Figura 8) 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 da 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 das águas pluviais; sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico (BIDONE e POVINELLI⁹, 1999).

Os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – IBGE³⁸ (2000) apontam que em 2000, 13,8% dos municípios do país utilizavam os aterros sanitários para a disposição final dos resíduos sólidos, representando 47,1% do lixo produzido, em peso.

Figura 8. Imagem de um aterro sanitário



Fonte: Extraído de ALGAR, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos⁵

3.2.1.4. Tecnologias Simplificadas de Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos

As tecnologias simplificadas de destinação final dos resíduos sólidos urbanos, denominadas por aterros em valas, aterros sustentáveis ou aterros manuais, conforme cita SILVEIRA⁷⁶ (2008), surgem como resposta aos

riscos das diversas formas de poluição causadas pelos lixões das cidades de pequeno porte (Figura 9). São projetos de engenharia e compreendem um conjunto de procedimentos que minimizam os impactos a níveis aceitáveis (LIMA⁴⁴ et al, 2009).

Prática estabelecida e aceita pela agência ambiental paulista, o “aterro em valas”, conforme denominação adotada no Estado de São Paulo, é um sistema simplificado de disposição final de resíduos sólidos para municípios com uma população inferior a 25.000 habitantes, que geram menos do que 10 toneladas de resíduos por dia.

Figura 9. Aterro em valas. Vala em utilização.



Fonte: Extraído de CETESB^{II}

A técnica consiste no preenchimento de valas escavadas com dimensões apropriadas, onde os resíduos são depositados sem compactação e a sua cobertura com terra é realizada manualmente. Para a sua implantação alguns requisitos devem ser atendidos, especialmente em relação ao local do empreendimento, que deve apresentar condições favoráveis no que se refere à profundidade e uso do lençol freático, bem como na constituição do solo. Os terrenos com lençol freático aflorante ou muito próximo da

^{II}Banco de dados. Documento interno

superfície são impróprios para a construção desses aterros, uma vez que possibilitam a contaminação dos aquíferos. Os terrenos rochosos também não são indicados devido às dificuldades de escavação.

Outro fator limitante para a sua implantação são os solos excessivamente arenosos, já que estes não apresentam coesão suficiente, causando o desmoronamento das paredes das valas. A operação desses aterros também está sujeita ao atendimento de alguns requisitos básicos, tais como o nivelamento e a cobertura diária dos resíduos (SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE⁷⁶, 2005).

3.2.2. Experiências Diversas de Disposição de Resíduos Sólidos em Municípios de Pequeno Porte

Experiências semelhantes aos aterros em vala estão em desenvolvimento em vários estados do país.

Um aspecto a ser observado nessa prática, é a adoção da recirculação do lixiviado pelas células do aterro, justificada pela pequena quantidade de lixiviado gerada nesses aterros, conforme apresentado a seguir.

GOMES e MARTINS³², 2003 mencionam a precariedade dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil, especialmente na etapa de disposição final e apresentam uma proposta para a implantação de aterros sustentáveis para municípios de pequeno porte, destacando a importância da escolha adequada do local, a fim de minimizar os impactos ambientais aos meios físico, biótico e antrópico. A proposta considera todas as variáveis técnicas e operacionais observadas na concepção de um aterro sanitário, apresentando soluções simplificadas em função do porte das instalações, porém buscando a execução e a operação do aterro de maneira sustentável.

Apresentam também os diversos aspectos a serem considerados na elaboração desses projetos, levantando um questionamento à cerca da necessidade de se executar um sistema específico para o tratamento do lixiviado, ressaltando que a quantidade gerada é pequena, quando não há entrada de muita água de chuva. Desse modo, propõe-se como tratamento do lixiviado a sua simples recirculação por infiltração nas células de lixo, a partir de critérios que consideram a precipitação média anual local e também a fase de digestão dos resíduos, relatando que a partir da adoção desses critérios os resultados foram excelentes em relação à eficiência da degradação da matéria orgânica. Para viabilizar essa prática, propõem um sistema de monitoramento dos recalques nas células submetidas à recirculação do lixiviado.

Outra pesquisa desenvolvida no âmbito do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB se refere à implantação, operação e monitoramento de um aterro sustentável na cidade de Catas Altas em Minas Gerais. LANGE⁴¹ et al, 2003, desenvolveram e acompanharam o empreendimento passo a passo, desde a caracterização do município, até a capacitação dos operadores, a compostagem de resíduos orgânicos e os programas de educação ambiental com a comunidade. Em suas considerações finais relatam a necessidade de subsidiar as agências ambientais com dados práticos, a fim de fornecer elementos para viabilizar o licenciamento ambiental de projetos, com características semelhantes aos aterros sustentáveis. Merece destacar que o aterro implantado também pratica a recirculação de lixiviado pelas células, como forma de equacionar a sua destinação final.

SOBRINHO⁸⁰ et al, 2009 avaliaram o desempenho de quatro aterros simplificados em operação na Bahia, afirmando que se verificou o emprego de procedimentos operacionais inadequados, além de deficiências técnicas de projeto, especialmente em relação às estimativas de geração de lixiviado, pois em função das condições locais, muitas vezes pode ser necessária a instalação de sistemas de proteção ambiental como drenagem e tratamento

de lixiviado. Concluem pela necessidade de investimentos em capacitação técnica para os operadores, melhoria do sistema de proteção ambiental e monitoramento contínuo e permanente do sistema, visando garantir a minimização dos riscos ambientais.

Silveira, 2007, citado por SOBRINHO⁸⁰ et al, 2009, menciona que entre 2002 e 2006 foram implantados 35 aterros sanitários simplificados no estado da Bahia. No ano de 2006, 23 aterros foram avaliados quanto às condições operacionais, verificando-se que cerca de 50 % foram classificados com aterros com operação ***Péssima ou Regular***. Vale ressaltar que a operação deficiente dos aterros interfere diretamente na qualidade e no volume do lixiviado gerado.

3.3. GERAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO LIXIVIADO DOS ATERROS

Uma vez que o chorume é gerado em função da decomposição da matéria orgânica presente no lixo, este trabalho apresentará uma descrição básica desse fenômeno nos aterros, de modo a fornecer as informações básicas requeridas para a compreensão dos processos de geração e das características do chorume.

3.3.1. Decomposição da Matéria Orgânica nos Aterros

O aterro sanitário tem o comportamento de um reator bioquímico natural, similar ao digestor anaeróbio de uma estação de tratamento de esgotos, que

combina processos físicos, químicos e biológicos para promover a decomposição dos resíduos, sob condições específicas de umidade, clima, do próprio resíduo e até mesmo da operação do aterro (MC BEAN⁴⁷ et al, 1995).

A decomposição anaeróbia nos aterros, “um dos mais potentes processos de destruição celular do mundo biológico”, conforme afirma SCHALCH⁷⁴, 1984, é um processo de estabilização natural da matéria orgânica por fermentação, na ausência de oxigênio. Nesse processo a matéria orgânica é convertida em gás metano e gás carbônico pela ação das bactérias anaeróbias metanogênicas.

A degradação anaeróbia dos resíduos orgânicos no aterro compreende uma seqüência complexa de processos empreendidos pela população microbiana presente, onde cada espécie requer um meio e um substrato específico e cada processo resulta em produtos finais característicos (MC BEAN⁴⁷ et al, 1995).

Após a disposição dos resíduos no aterro, tem início o processo de biodegradação, que vai promover a decomposição da matéria orgânica, com produção de chorume e gás, principalmente metano, cuja composição dependerá, fundamentalmente, do estágio no qual o processo de degradação se encontra (IPT³⁹, 1995 e PAES⁵⁴, 2003).

O processo de degradação biológica nos aterros é complexo e está sujeito às variações que ocorrem nos mesmos ao longo do tempo. Essas variações são descritas por vários pesquisadores que estabeleceram as “fases” do processo.

O conhecimento das fases do processo de biodegradação foi evoluindo e hoje já são caracterizadas seis fases distintas, com padrões diferenciados em cada uma delas.

CHRISTENSEN e KJELDSSEN¹⁸, 1989 enfatizam que a seqüência ideal de degradação está relacionada com um volume homogêneo de resíduo e que num aterro real, com células que variam altamente na idade e na

composição, pode-se produzir um quadro global diferente. A seqüência da degradação teórica proposta, não estima a duração das fases envolvidas, pois elas dependem de fatores abióticos e das condições locais, por exemplo, a composição dos resíduos e os procedimentos de aterramento. Afirma que após a fase aeróbica inicial, que dura apenas alguns dias, a duração de tempo esperada para as outras fases da degradação, pode ser medida em meses, anos e até décadas.

SCHALCH⁷⁴, 1984 faz um levantamento histórico e menciona que inicialmente eram identificadas duas fases do processo de degradação biológica nos aterros, onde na 1ª fase as bactérias produtoras de ácido promovem a transformação dos compostos orgânicos complexos em outros mais simples, os ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico), que por sua vez, na 2ª fase, são utilizados pelas bactérias metanogênicas e transformados em produtos gasosos, principalmente metano e gás carbônico.

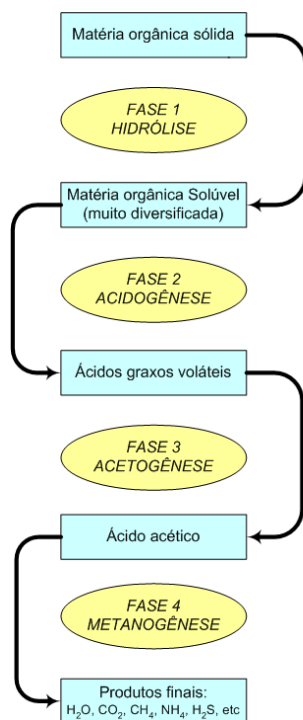
QASIM e CHIANG⁶², 1994 descrevem o processo de degradação biológica nos aterros em três estágios, apresentando uma primeira fase de decomposição aeróbia da matéria orgânica, de curta duração, devido à alta demanda de oxigênio do resíduo – DBO e a limitada quantidade de oxigênio presente no aterro. Durante esta fase uma grande quantidade de calor é produzida, bem acima da temperatura ambiente. O chorume apresenta altas concentrações de sais dissolvidos, de alta solubilidade, como cloreto de sódio e outros.

Na fase intermediária, a decomposição acontece principalmente pela ação dos organismos facultativos, sob condições anaeróbias, onde há elevada produção de ácidos graxos voláteis, ácido acético e dióxido de carbono, com redução do pH para valores entre 4 e 5, favorecendo a solubilização de materiais inorgânicos. As altas concentrações de ácidos voláteis também contribuem para uma alta carga de DQO.

O último estágio da decomposição anaeróbia ocorre com o aumento da população das bactérias formadoras de metano, que em condições de pH neutro, convertem a metano e dióxido de carbono, os ácidos voláteis disponíveis no meio. A composição do gás formado apresenta uma mistura de dióxido de carbono com metano, além de proporções menores de outros gases, havendo um aumento do pH com o aumento da produção de metano. Próximo ao pH neutro, pouca matéria inorgânica é solubilizada e a condutividade cai, entretanto, alguns materiais continuam a solubilizar com a continuação do processo de decomposição. Eventualmente, com a idade do aterro, a taxa de decomposição bacteriana pode decrescer em função do esgotamento do substrato. Lentamente, partes do aterro vão restabelecendo as condições aeróbias com a continuidade da percolação de água pelo aterro.

A Figura 10 apresenta o fluxograma geral do processo de decomposição anaeróbia, em quatro fases, descrito por CASTILHOS Jr.¹⁴ et al, 2003.

Figura 10. Fluxograma do processo de decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos



Fonte: Adaptado de CASTILHOS Jr.¹⁴, 2003

Em 1973 Farquhar e Rovers citados por SCHALCH⁷³ (1992), realizaram estudos relevantes para o esclarecimento das etapas da degradação da matéria orgânica, descrevendo quatro estágios da produção de gás, para o caso específico de substratos sólidos confinados em aterros.

Concluem também que a duração dessas fases varia em função de inúmeros fatores, dentre os quais a densidade e composição do resíduo, os níveis de umidade, a idade do aterro, dentre outros.

As quatro etapas da degradação, de acordo com MC BEAN et al⁴⁷, 1995 e a Encom Associates, citada por SCHALCH⁷³, 1992 podem ser descritas conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Fases da decomposição da matéria orgânica presente nos aterros

Estágio da decomposição	Características
Fase I: Aeróbia	<ul style="list-style-type: none"> • Na presença de oxigênio limitada à área do aterramento acontece a fase aeróbia, que tem a duração de poucos dias. • Produção de calor com aumentos típicos de temperatura de 10° a 20°C sobre a temperatura do resíduo aterrado.
Fase II: Anaeróbia, Não Metanogênica	<ul style="list-style-type: none"> • Predominância das condições anaeróbias • Aumento de dióxido de carbono resultante da fermentação ácida.
Fase III: Anaeróbia, Metanogênica, Instável	<ul style="list-style-type: none"> • Início da produção de metano, havendo uma redução na produção de dióxido de carbono e hidrogênio. • O tempo requerido para atingir 50% de metano em volume, pode demorar em torno de três meses para resíduos úmidos, sendo bem maior, ou podendo nem mesmo ocorrer para os resíduos secos.

“continua”

Tabela 4. Fases da decomposição da matéria orgânica presente nos aterros*“continuação”*

Estágio da decomposição	Características
<p>Fase IV:</p> <p>Anaeróbia, Metanogênica, Estável</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A produção de metano e dióxido de carbono atinge uma composição constante • Produção estável de metano, em torno de 40% a 70% em volume, denotando que prevalece a atividade das metanobactérias na degradação dos resíduos. • Eventualmente a produção de metano diminui, quando o resíduo orgânico é esgotado, mas os orgânicos lentamente biodegradáveis produzem metano por décadas (por exemplo, papel e celulose).

Fonte: Adaptado de SCHALCH⁷³, 1992

No processo de estabilização da matéria orgânica em cinco fases são identificadas fases anaeróbias intermediárias e uma 5ª fase, onde somente os carbonos orgânicos refratários permanecem no resíduo aterrado, com taxa de produção de metano tão baixa quanto o nitrogênio, que começa a aparecer no gás do aterro novamente, devido à difusão para a atmosfera.

3.3.2. Fatores que Interferem na Produção do Lixiviado

A produção do lixiviado dos aterros sanitários sofre a influência de vários fatores que afetam a sua qualidade e quantidade.

Para descrever os processos que regem essas variações, foram desenvolvidos vários estudos em campos experimentais, laboratórios e em escala real. Esses estudos identificaram os mais importantes componentes de projeto e operação do aterro que afetam significativamente a produção do lixiviado, apontando alguns dos fatores mais relevantes.

Conforme mencionam CANZIANI e COSSU¹³ (1989) e QASIM e CHIANG⁶² (1994), dentre os fatores que interferem na produção de chorume, destacam-se:

- A taxa de precipitação anual
- A presença de água superficial
- Água contida nos lodos de esgotos quando dispostos em aterro
- A recirculação de lixiviado
- A irrigação da cobertura final
- As características do solo e da vegetação de cobertura
- A existência ou não de material de cobertura
- A declividade e outras características topográficas
- O escoamento superficial
- A infiltração
- A evapotranspiração
- A temperatura, a composição, densidade e umidade inicial contida no resíduo
- A altura das camadas do aterro
- Os métodos de impermeabilização e compactação empregados
- As características do solo de base

A estabilização do resíduo sólido disposto nos aterros e as características do lixiviado são resultados de processos físicos, químicos e biológicos. Desta forma, também sofrem a influência de fatores como a movimentação da umidade, a presença ou ausência de macronutrientes e micronutrientes e de elementos tóxicos inibidores.

Um aterro sanitário passa por uma sucessão de estágios, que conferem ao lixiviado a sua principal característica, que é a variabilidade de sua composição em decorrência do esgotamento progressivo da matéria orgânica biodegradável presente (QASIM e CHIANG⁶², 1994).

De acordo com Mc BEAN⁴⁷ et al (1995), a geração de lixiviado apresenta uma variabilidade de vazão em função do tempo, que pode ser substancial. A variabilidade nos estágios iniciais ocorre, além de outros fatores, em função do tempo despendido até que as várias porções locais atinjam a capacidade de campo. Desta forma, a produção de lixiviado pode ser pequena ou não, devendo ser também considerada a infiltração pela superfície, decorrente da precipitação.

A máxima umidade que o solo é capaz de manter contra a força da gravidade é a sua capacidade de campo, conforme estabelecem QASIM e CHIANG⁶², 1994.

LINS⁴⁵, 2003 apresenta a definição da capacidade de campo de acordo com vários autores, citando Veihmeyer e Hendrickson (1931), que definiram a capacidade de campo como sendo a quantidade de água que um perfil de terreno retém contra a ação da gravidade. Para esses autores, a capacidade de campo determina o volume máximo de água que um solo bem drenado pode armazenar após longos períodos sem evaporação.

Para Van Raij (1991), também citado por LINS⁴⁴, 2003 a capacidade de campo é a quantidade máxima de água que o solo pode reter em condições de livre drenagem e que corresponde ao teor existente no solo saturado, após remoção do excesso de água, quando o movimento de drenagem cessa.

A capacidade de campo é geralmente atingida depois de um ou dois anos e antes disso, variações na geração do lixiviado ocorrem sazonalmente, devido à variação nas taxas de infiltração/percolação, em resposta ao fenômeno das variações climáticas.

Pouco ou nenhum lixiviado é produzido até que o aterro atinja a capacidade de campo, embora ela precise ser atingida somente em regiões localizadas do aterro para o desenvolvimento do lixiviado. Devido à compactação e compressão, o lixiviado é produzido antes da saturação das células e em geral depende da quantidade de água inicialmente presente (QASIM e CHIANG⁶², 1994).

3.3.2.1. *Influência das Condições Climáticas*

Variáveis como a precipitação, evapotranspiração e temperatura afetam diretamente a produção de lixiviados nos aterros.

A infiltração de águas pluviais na massa de resíduos aterrados arrasta o churume e outros materiais em solução ou suspensão, constituindo o chamado percolado dos aterros, que apresenta altas cargas orgânicas e poluentes inorgânicos, além de conter diversas espécies de microorganismos patogênicos, apresentando concentrações de coliformes fecais da ordem de 10^6 a 10^8 NMP/mL (Fuzaro, 2001, citado por BOCCHIGLIERI¹¹, 2005).

A taxa de adição de água no aterro influencia a qualidade dos lixiviados gerados. A precipitação ao atingir o solo sofrerá escoamento superficial, evaporação e infiltração, que irá afetar diretamente a produção de lixiviado, na medida em que a água infiltrada percola inicialmente o solo de cobertura e em seguida as células do aterro (CANZIANI e COSSU¹³, 1989).

A quantidade de escoamento superficial depende de uma série de fatores como a intensidade e a duração da chuva, a declividade do terreno, a permeabilidade da cobertura de solo e a quantidade e tipo de vegetação de cobertura (CANZIANI e COSSU¹³, 1989 e QASIM e CHIANG⁶², 1994).

Vários métodos têm sido propostos para estimar o escoamento superficial ou a percolação pelo aterro sanitário. A utilização de coeficientes empíricos de escoamento, similares aos usados em projetos para dimensionamento de sistemas de drenagem, pode levar a erros grosseiros em relação à quantidade de percolação, uma vez que as áreas do aterro estão sujeitas a ocorrência de buracos e desabamentos. Esse fator altera as condições do escoamento superficial, uma vez que ele não ocorre livremente como no caso das coberturas naturais de solo e deste modo, a infiltração/percolação é maior. Esse fenômeno não é considerado quando estabelecidos esses coeficientes de escoamento.

A quantidade de umidade disponível para evapotranspiração num aterro sanitário é afetada pelo tipo de solo e vegetação de cobertura. A característica desejável dos projetos de aterros é aumentar a evapotranspiração no esforço de se reduzir a produção de lixiviado. Existem várias equações empíricas para estimar a evapotranspiração, que levam em consideração a temperatura e o consumo de água em função do tipo de vegetação (CANZIANI e COSSU¹³, 1989).

A umidade contida no solo está mudando continuamente: aumentando devido à infiltração e diminuindo devido à evapotranspiração. A diferença entre os dois limites é a capacidade de armazenamento de umidade (QASIM e CHIANG⁶², 1994).

A temperatura afeta o crescimento bacteriano e a decomposição do lixo. Temperaturas elevadas podem favorecer a solubilidade dos sais (quanto maior a temperatura, maior a solubilidade) e aumentar a cinética das reações quimicamente conduzidas. Pela influência da temperatura, o

lixiviado produzido poderá apresentar uma elevada concentração de sais dissolvidos.

A taxa de qualquer reação química aumenta com a elevação da temperatura, desde que esta elevada temperatura não produza alterações no reagente ou catalisador, analogamente, as reações biológicas apresentam a mesma tendência de acréscimo com a elevação da temperatura, no entanto, acima da temperatura ótima, há um decréscimo da taxa de reação (VON SPERLING⁸⁵, 1996).

3.3.2.2. *Influência das Características do Resíduo Sólido*

Poucas pesquisas têm como foco a composição do resíduo disposto, entretanto, ela pode ser um importante fator no processo de degradação e seu conhecimento poderia representar uma evolução adicional aos processos operacionais.

A massa de poluentes presente nos aterros, sujeita à percolação e formação do lixiviado é afetada pela natureza físico-química dos resíduos, do seu grau de estabilização e do volume de infiltração no aterro.

Nos primeiros estágios da decomposição, os materiais mais facilmente metabolizados como os açúcares, amidos, gorduras e proteínas são degradados, resultando no esgotamento dos nutrientes essenciais, especialmente fósforo. A matéria orgânica remanescente mais complexa, como a celulose, é lentamente decomposta e esta decomposição pode ser posteriormente interrompida pela ausência de nutrientes. Pesticidas e herbicidas, embora geralmente apareçam em quantidade traço, podem também estar presentes (QASIM e CHIANG⁶², 1994).

A natureza da fração orgânica dos resíduos influencia consideravelmente na degradação dos resíduos no aterro e também na qualidade do chorume produzido. Em particular, a presença de substâncias que são tóxicas às bactérias pode desacelerar ou inibir os processos de degradação biológica com conseqüências para o chorume. O conteúdo inorgânico do chorume depende do contato entre o resíduo e os líquidos percolados, destacando-se os metais, que em sua maioria são liberados da massa de resíduos em condições ácidas (ANDREOTOLLA e CANNAS⁷, 1997).

As experiências mostram que a composição do resíduo altera o processo de degradação biológica no aterro, e desta forma, o chorume produzido também é afetado.

Os efeitos da adição de lodo de esgoto na degradação dos resíduos e suas conseqüências na qualidade do chorume e do gás produzidos têm sido estudados em vários experimentos, com diferentes respostas.

De acordo com CHRISTENSEN¹⁹ et al. 1997, o potencial positivo do efeito da adição de lodo de esgoto no aterro pode ser atribuído ao aumento da quantidade de água, do suprimento de nutrientes facilmente disponíveis e do suprimento de biomassa ativa, fatores que aumentam a velocidade da fase de degradação metanogênica. A influência do lodo de esgoto no pH do resíduo parece crucial na formação do metano. Lodo com pH baixo, por exemplo, lodo séptico, pode ter um efeito negativo na formação de metano, diminuindo a produção de gás, enquanto que o pH neutro ou tamponado pode ter um efeito positivo aumentando a produção de gás, ou seja, contribuindo de maneira favorável no processo de degradação da matéria orgânica contida nos resíduos depositados nos aterros.

A umidade é um parâmetro muito importante, pois serve como transporte para os microrganismos dentro do aterro sanitário. A umidade do lixo, nas condições brasileiras, situa-se na faixa de 40% a 60%. A produção de chorume está diretamente relacionada com a quantidade de umidade

contida nos resíduos, no solo, e com a quantidade de água infiltrada / percolada.

De acordo com Pires (2002), citado por PAES⁵⁴, 2003 o fluxo de umidade estimula a atividade microbiana, pois favorece o acesso pelos microrganismos aos substratos insolúveis e aos nutrientes solúveis presentes.

3.3.2.3. Influência dos Fatores Operacionais do Aterro

- **Compactação**

A compactação é a operação mais comum e necessária para o melhor aproveitamento da capacidade volumétrica do aterro, bem como para a obtenção da estabilidade geotécnica do resíduo disposto nas células do mesmo.

Uma boa compactação promove a mistura e a homogeneização dos resíduos, fatores que não podem ser desprezados, pois certamente influenciarão no desenvolvimento do processo de degradação biológica dos resíduos (CHRISTENSEN¹⁹ et al: 1997).

A compactação afeta o processo de decomposição aeróbia e anaeróbia nos aterros. A célula de lixo superior descoberta sofre degradação predominantemente aeróbia, sendo que em aterros não compactados, ela pode acontecer até a profundidade de 2 metros. Em aterros compactados descobertos, o processo aeróbio pode ocorrer nas células até a profundidade de 5 metros, com efeitos similares aos observados nas células

descobertas e não compactadas com 2 metros de profundidade (CHRISTENSEN¹⁹ et al 1997).

De acordo com CANZIANI e COSSU¹³, 1989 o efeito da compactação dos resíduos sólidos na produção de lixiviado é significativo. Estudos realizados na Alemanha (1983) demonstraram que o lixiviado produzido era da ordem de 25% a 50% da precipitação em aterros que utilizavam trator de esteira para compactar os resíduos, caindo para 15% a 25% da precipitação para resíduos compactados por rolo compressor.

- **Idade do aterro**

O chorume gerado por um lixo recém-disposto no aterro apresenta elevada carga orgânica, pH ácido e diversos compostos potencialmente tóxicos, diferentemente do chorume resultante de resíduos dispostos há mais tempo, que apresenta pH alcalino e a carga orgânica drasticamente reduzida em relação ao primeiro (BIDONE⁹, 1999 e BISORDI¹⁰, 1999).

A idade do aterro obviamente tem um importante papel na determinação das características do lixiviado. A sua carga poluidora geralmente atinge valores máximos durante os primeiros anos de operação do aterro (2 - 3 anos), e decresce gradativamente com o passar dos anos (ANDREOTTOLA, e CANNAS⁷, 1997).

Mesmo os aterros já encerrados ainda produzirão lixiviado por vários anos, mas sua emissão decrescerá até níveis onde não mais será necessário tratamento. ZVEIBIL⁸⁹, 2001 menciona que o potencial poluidor do "chorume novo" vai se reduzindo paulatinamente até atingir níveis que dispensam seu tratamento, ao final de 10 anos ("chorume velho"). Porém os aterros sanitários projetados, construídos, operados e monitorados como uma obra

de engenharia são criações particularmente recentes, surgidas em torno dos anos de 1970, não havendo dados experimentais relativos à duração de tempo desta fase “pós-operacional” dos aterros.

- **Solo de cobertura**

A aplicação diária de solo de cobertura é sempre prescrita para melhorar as condições estéticas e sanitárias do aterro. Entretanto solos adequados para este propósito geralmente não estão disponíveis e a cobertura de solo, em muitos aterros, é considerada como uma desnecessária redução do limite da capacidade do aterro. Essas considerações não se aplicam para a cobertura final no fechamento do aterro, conforme afirmam Mc BEAN⁴⁷ et al, 1995, que também descreve diversos efeitos da cobertura, conforme segue.

Os efeitos negativos da cobertura de solo podem ser explicados, pois se a célula de lixo superior é supostamente submetida à degradação aeróbia, com a sua cobertura, a disponibilização de oxigênio para a célula de lixo será afetada, diminuindo a taxa de decomposição.

O uso de solos argilosos como cobertura pode promover a distribuição heterogênea da água nos aterros, podendo levar ao surgimento de zonas muito secas abaixo do solo de baixa permeabilidade.

CANZIANI e COSSU¹³, 1989 afirmam que a altura e o tipo de solo de cobertura podem ter o efeito de reduzir a produção de lixiviado em locais onde não foi realizada uma boa compactação dos resíduos.

- **Profundidade da célula**

A profundidade da célula de lixo influencia na composição do lixiviado. O aumento na profundidade do lixo permite a percolação até aproximadamente o limite de solubilidade, reduzindo desse modo seu potencial de infiltração para camadas baixas de lixo. Entretanto, no limite de solubilidade, o aumento na profundidade resulta no aumento da percolação como no tempo de contato entre a fase líquida e a fase sólida. Isto pode aumentar a carga do lixiviado, mas também, pode aumentar o tempo despendido para a estabilização do resíduo (MC BEAN⁴⁷ et al, 1995).

3.3.3. Composição e Características do Lixiviado dos Aterros

A composição química do lixiviado depende de vários fatores relacionados com a massa de resíduos, a localização, bem como outros aspectos derivados do projeto e da operação do aterro.

3.3.3.1. Componentes Presentes nos Lixiviados dos Aterros

BIDONE e POVINELLI⁹, 1999 mencionam que as características do lixiviado e as concentrações de seus elementos constituintes sofrem a influência do tipo de resíduo disposto no aterro, que está diretamente relacionado aos hábitos da população, ao grau de decomposição dos resíduos no âmbito da massa sólida já disposta e a fatores hidrológicos associados ao aterro.

A composição química dos lixiviados também varia em função da idade do aterro. O lixiviado produzido durante a fase ácida da decomposição possui elevada DBO, DQO, altas concentrações de nutrientes e metais pesados, e baixos valores de pH. O lixiviado produzido na fase metanogênica apresenta pH neutro, e menores valores da DBO, DQO e nutrientes. Os metais pesados também estão em baixas concentrações, pois são menos solúveis nessa faixa de pH (CONTRERA²³, 2008).

As concentrações dos componentes químicos do lixiviado aumentam a níveis máximos e em seguida declinam gradualmente, sendo que os picos atingidos e as taxas de declínio variam para diferentes componentes químicos. Os materiais prontamente solúveis e biodegradáveis chegam primeiro ao pico máximo, por exemplo, DBO, acetato e cloreto atingem o pico antes do fenol e do zinco. As origens e quantidades dos componentes químicos no lixo são finitas e são responsáveis pela consecução do pico seguido pelo declínio até o esgotamento. Adicionalmente, as taxas também tendem à estabilização com a flutuação da umidade e idade do aterro (MC BEAN⁴⁷ et al, 1995).

O “chorume novo” contém matéria orgânica prontamente biodegradável e tende a ser ácido devido à presença de ácidos graxos voláteis. O pH típico situa-se na faixa de 6 a 7 e pode ser menor em aterros mais secos, com pouca umidade. O “chorume novo” é derivado de processos como a biodegradação de orgânicos complexos, como a celulose, por exemplo, e orgânicos simples dissolvidos, como ácidos orgânicos. Com o tempo a carga orgânica do chorume diminui, paralelamente ao aumento da produção de gás, especialmente metano (MC BEAN⁴⁷ et al, 1995).

Depois de 4 ou 5 anos o pH aumenta para uma faixa de 7 a 8. As mudanças são decorrentes do esgotamento da matéria orgânica rapidamente biodegradável, com a permanência dos orgânicos lentamente biodegradáveis.

Os níveis de nitrogênio são bastante utilizados para indicar a idade do aterro. Analogamente ao processo de autodepuração natural dos rios, onde as formas reduzidas de nitrogênio (nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal) são predominantes na zona de degradação e na zona de decomposição ativa, no caso do chorume, são indicadoras de “chorume novo”. A predominância das formas oxidadas do nitrogênio (nitrito e nitrato) são características de “chorume velho”. Nos corpos d’água, são indicadores da zona de recuperação e da zona de águas limpas, respectivamente.

É importante observar que a rotina operacional do aterro é dinâmica, ou seja, um aterro é composto por resíduos velhos, dispostos há mais tempo e resíduos novos, que são dispostos diariamente. O lixiviado coletado das várias células que compõem o aterro, estejam elas encerradas ou não, normalmente drena para uma única lagoa de armazenamento, para posterior transporte e tratamento, ou drena diretamente para o sistema de tratamento, quando existente. Não é usual haver separação do que é coletado, tampouco tratamentos diferentes para o “chorume velho” e para o “chorume novo”, ainda que em tese, seja uma alternativa conveniente, porém, com restrições significativas de ordem prática.

Quando se faz a opção pelo tratamento conjunto do lixiviado com os esgotos sanitários, o conhecimento da idade do aterro pode ser uma informação auxiliar importante no sentido de se estimar a concentração / carga do lixiviado a ser tratado, com a finalidade de dimensionamento ou avaliação da capacidade do sistema de tratamento. Especialmente para o caso de aterros novos, quando ainda não há geração de lixiviado que possa ser caracterizado, é usual considerar-se elevadas concentrações de matéria orgânica nos primeiros anos, diminuindo gradativamente esses valores com o tempo.

Somente em casos muito específicos, para tratamento exclusivo do lixiviado, a idade do aterro poderá ser um fator determinante para a definição do processo de tratamento a ser empregado.

- **Relação DBO/DQO**

A razão DBO/DQO é usualmente adotada para indicar o grau de biodegradabilidade de águas residuárias. Valores maiores do que 0,50 indicam que a matéria orgânica presente é facilmente biodegradável. Quando essa relação é menor do que 0,30 pode ser um indicativo de que os compostos presentes são pouco biodegradáveis, e que a água residuária é recalcitrante ao tratamento biológico.

Entretanto, SOUTO⁸¹ (2009) e CONTRERA²³ (2008) mencionam que a relação DBO/DQO, medida em função do consumo de oxigênio por microrganismos aeróbios, pode não ser o melhor indicador da biodegradabilidade anaeróbia dos lixiviados, sugerindo que sejam realizadas análises complementares, como por exemplo, a medida de parâmetros que sejam efetivamente afetados pelo tratamento anaeróbio, como o consumo de ácidos voláteis totais.

Tradicionalmente os mais importantes parâmetros analíticos adotados como indicadores tradicionais de poluição por esgotos sanitários são a DBO ou DQO. EHRIG²⁷, 1989 menciona que valores maiores que 0,4 para a relação DBO/DQO indicam boa biodegradabilidade, sendo normalmente encontrados nos estágios iniciais da decomposição biológica, com baixos valores de pH e pequena produção de gases. Quando tem início a fase metanogênica da decomposição, a fração DBO/DQO cai para valores menores do que 0,1, indicando baixa biodegradabilidade dos orgânicos presentes.

As concentrações de substâncias orgânicas, DBO, DQO, COT e a fração DBO/DQO são altas durante os estágios de ativa decomposição e decrescem gradualmente em aterros estabilizados. Em virtude disto, alguns autores sugerem que “chorume velho” seja tratado por processos físico-químicos, ao invés de adotar-se o tratamento biológico.

- **pH**

O pH exerce influência sobre os processos químicos que são à base da transferência de massa no sistema resíduo-chorume, afetando também outros constituintes do sistema. Geralmente as condições ácidas caracterizam a fase inicial de degradação anaeróbia dos resíduos, e requerem ajustes antes do tratamento biológico. Adicionalmente, se for requerida a remoção de metais, o pH deve ser ajustado para promover a precipitação (ANDREOTTOLA e CANNAS⁷, 1997).

O pH deveria ser ácido nas células contendo resíduos mais recentes, em função da presença dos ácidos voláteis, e básico nas células mais antigas, que já estariam na fase metanogênica de degradação, apresentando altas concentrações de nitrogênio amoniacal e tamponamento devido à amônia. Porém isto nem sempre é verificado uma vez que dentro de uma mesma célula ocorrem simultaneamente várias fases de decomposição, devido às diferentes idades dos resíduos aterrados (PAES⁵⁴, 2003).

- **Nitrogênio**

A amônia e o nitrogênio orgânico, coletivamente referidos como NTK (Nitrogênio Kjeldahl Total), representam uma alta porcentagem do nitrogênio solúvel total contido no lixiviado. Combinados, eles são tipicamente mensurados em milhares de mg/L e podem ser considerados altos. Devido às condições anaeróbias dos aterros, as concentrações típicas de nitrito e nitrato são baixas. Se a resultante de N-amoniacal é muito alta (por exemplo, 1000 mg/L), a nitrificação pode ser inibida. As bactérias nitrificadoras

também são muito sensíveis a temperaturas baixas. Como resultado, pode ser necessário uma redução parcial de nitrogênio amoniacal até níveis de concentração mais aceitáveis por um método físico-químico de tratamento, antes do tratamento biológico (MC BEAN⁴⁷ et al, 1995).

- **Fósforo**

O lixiviado dos aterros é geralmente deficiente em fósforo para efeito de tratamento biológico. Frações de DBO: P da ordem de 7000:1 têm sido verificadas em lixiviado proveniente de resíduos recentemente aterrados. Uma vez que a fração ótima de DBO:P de 100:1 é fortemente recomendada para os processos de tratamento biológico, de acordo com Metcalf e Eddy⁴⁸, 1991, citados por EHRIG²⁷, 1989, o tratamento biológico desse lixiviado deve ser inibido, devido à deficiência de fósforo, a não ser que sejam feitas adições de fósforo.

Uma opção a ser considerada para sanar essa deficiência de fósforo pode ser a mistura com os esgotos sanitários.

- **Metais pesados**

CONTRERA²³, 2008 adota o termo “mito” quando se refere à ocorrência de elevadas concentrações de metais dissolvidos nos lixiviados de aterros sanitários, esclarecendo que quando o pH é ácido, pode haver ocorrência de concentrações mais elevadas para alguns metais, porém, nos lixiviados de

aterros com mais de dois anos em operação, não é comum encontrar pH baixo.

Os principais fatores ambientais que interferem na mobilidade dos metais são o pH, o potencial redox, as atividades microbianas e a química do solo. Os mecanismos que afetam a mobilidade dos metais são precipitação/solubilização; adsorção; troca iônica; complexação e diluição (Qasim e Chiang, 1994, citados por CONTRERA²³, 2008).

Na Tabela 5 são apresentadas as faixas de variação encontradas para o lixiviado em relação a diferentes parâmetros. Nela é possível observar que essas faixas de valores são muito amplas, especialmente pelo fato de que a produção de lixiviado é afetada por uma série de fatores particularizados para cada aterro.

Tabela 5. Faixas de concentração dos principais parâmetros do lixiviado de aterros sanitários.

Parâmetro	Unidade	Faixa
DQO	mg/L	150 - 100.000
DBO	mg/L	100 - 90.000
pH	-	5,3 - 8,5
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	300 - 11.500
Dureza	mgCaCO ₃ /L	500 - 8.900
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	1 - 1.500
Nitrogênio Orgânico	mg/L	1 - 2.000
Nitrogênio Total	mg/L	50 - 5.000
Nitrato	mg/L	0,1 - 50
Nitrito	mg/L	0 - 25
Fósforo Total	mg/L	0,1 - 30
Fosfato	mg/L	0,3 - 25

“continua”

Tabela 5. Faixas de concentração dos principais parâmetros do lixiviado de aterros sanitários.*“continuação”*

Parâmetro	Unidade	Faixa
Cálcio	mg/L	10 - 2.500
Magnésio	mg/L	50 - 1.150
Potássio	mg/L	10 - 2.500
Cloreto	mg/L	20 - 4.000
Ferro	mg/L	0,4 - 2.200
Zinco	mg/L	0,05 - 170
Magnésio	mg/L	0,4 - 50
Cianeto	mg/L	0,004 - 90
Fenol	mg/L	0,04 - 44
Arsênio	µg/L	5 - 1.600
Cádmio	µg/L	0,5 - 140
Cobalto	µg/L	4 - 950
Níquel	µg/L	20 - 2.050
Chumbo	µg/L	8 - 1.020
Cromo	µg/L	30 - 1.600
Cobre	µg/L	4 - 1.400
Prata	µg/L	0,2 - 50
Sódio	mg/L	50 - 4.000
Sulfato	mg/L	10 - 1.200

Fonte: ANDREOTTOLA e CANNAS⁷, 1997.

3.4. COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS

Uma vez que o objetivo deste trabalho é avaliar o tratamento conjunto de esgotos sanitários com o lixiviado dos aterros, é importante se conhecer também as características típicas do esgoto sanitário.

Com base nessa caracterização é possível fazer uma avaliação das alterações conferidas ao esgoto a ser tratado, quando este contém uma parcela de lixiviado de aterros sanitários.

Os esgotos sanitários são os despejos líquidos constituídos em sua maior parte por esgotos domésticos, contendo uma parcela não controlada de águas de infiltração no sistema de coleta, podendo receber também alguma contribuição de efluentes industriais lançados na rede pública.

A seguir serão apresentados na Tabela 6, os valores para as substâncias presentes nos esgotos com características predominantemente domésticas. Esses valores serão adotados como referência para realizar comparações com os sistemas que recebem lixiviado de aterros para tratamento.

Tabela 6. Características do Esgoto doméstico

Substâncias	Unidade	Condição do esgoto		
		Fraco	Médio	Forte
Carbono Orgânico Total	mg/L	80	160	290
Cloreto	mg/L Cl	30	50	100
DBO _{5,20}	mg O ₂ /L	110	220	400
DQO	mg/L	250	500	1 000
Fósforo Total	mg/L P	4	8	15
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	12	25	50

“continua”

Tabela 6. Características do Esgoto doméstico*“continuação”*

Substâncias	Unidade	Condição do esgoto		
		Fraco	Médio	Forte
Nitrogênio Orgânico	mg/L N	8	15	35
Nitrogênio Total	mg/L N	20	40	85
Sólidos dissolvidos fixos	mg/L	145	300	525
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	250	500	850
Sólidos dissolvidos voláteis	mg/L	105	200	325
Sólidos sedimentáveis	mL/L	5	10	20
Sólidos suspensos fixos	mg/L	20	55	75
Sólidos suspensos totais	mg/L	100	220	350
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	80	165	275
Sólidos Totais	mg/L	350	720	1 200
Sulfato	mg/L	20	30	50

Fonte: Adaptado de METCALF e EDDY⁴⁸, 1991

3.5. TRATAMENTO CONJUNTO DE LIXIVIADO DE ATERRO COM O ESGOTO SANITÁRIO

A escolha das alternativas para tratamento de lixiviado deve considerar inicialmente, se o seu tratamento será interno ao aterro e completo; ou parcial, mediante pré-tratamento local e encaminhamento para o sistema público como disposição final ou uma terceira opção, que seria o tratamento externo direto, pelo sistema público de esgotos.

Para essa avaliação é necessário que vários aspectos sejam observados, levando-se em consideração alguns aspectos importantes discutidos nos itens descritos a seguir.

3.5.1. Oscilações de Vazão da Produção de Lixiviados de Aterros e Variações da sua Composição ao Longo do Tempo

Os lixiviados dos aterros de resíduos municipais geralmente contêm altas concentrações de componentes químicos orgânicos e inorgânicos. Os íons inorgânicos incluem cloretos, sulfatos e metais como o ferro, potássio, manganês e zinco. A avaliação de alternativas para o tratamento dos lixiviados deve considerar as grandes variações temporais locais na quantidade e composição do chorume gerado. Uma importante característica relevante para a sua tratabilidade é a variação de certos componentes, decorrente da variação das condições biológicas no interior das células do aterro (CHRISTENSEN e KJELDSEN¹⁸, 1989).

3.5.2. Exigências da Legislação em Relação à Qualidade dos Corpos d'Água e aos Limites de Emissão ou Lançamento

O atendimento às exigências legais é um fator determinante em relação à opção pelo tipo de tratamento a ser adotado para o lixiviado, especialmente sob dois aspectos: remoção de carga orgânica e nitrogênio amoniacal.

Os sistemas de tratamento exclusivos para o lixiviado dos aterros, mesmo apresentando uma boa eficiência de remoção de matéria orgânica, podem não atingir os níveis de qualidade impostos para o corpo receptor. Em alguns estados a legislação prevê limites de DBO (Demanda Bioquímica de

Oxigênio) para lançamento nos corpos d'água, o que pode ser uma condição ainda mais restritiva.

No tratamento conjunto com os esgotos sanitários essa dificuldade não se apresenta de maneira tão significativa como nos sistemas isolados / exclusivos de tratamento de lixiviados, sendo este um fator relevante a ser considerado quando se estabelecer a modalidade do tratamento a ser adotada, que pode ser local ou externa ao aterro, nas estações dos sistemas públicos de esgotos.

A Resolução Conama nº 357/05⁵¹ em seu Artigo 34 estabelece os padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água. Dentre os parâmetros controlados encontra-se o Nitrogênio amoniacal total, limitado em 20 mg/L. Esse valor é extremamente restritivo, e para atendê-lo, normalmente é necessária a implantação de sistemas de tratamento de esgotos em nível terciário. Como o lixiviado de aterros apresenta concentrações elevadas dessa substância, para se obter a conformidade legal em sistemas de tratamento de lixiviados, torna-se imperativo que possuam processos unitários projetados e operados para promover a remoção de nutrientes.

Em abril de 2008 foi publicada a Resolução Conama 397/08⁵² que altera a Resolução Conama nº 357/05, estabelecendo que o padrão Nitrogênio amoniacal total não seja aplicável aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Essa alteração representou inúmeras mudanças para o saneamento, conforme mencionado anteriormente, mas um aspecto diretamente relacionado ao tratamento conjunto de lixiviado dos aterros com esgotos sanitários, é que eliminou uma grande restrição a essa prática, tornando-a hoje uma opção mais viável no que se refere ao atendimento aos padrões legais.

Entretanto, para os sistemas isolados / exclusivos de tratamento de lixiviados de aterros permanece a restrição legal em 20 mg/L de Nitrogênio amoniacal total.

3.5.3. Custos Envolvidos

Uma alternativa oportuna ao tratamento local é o tratamento do lixiviado em conjunto com esgotos sanitários, especialmente quando o sistema de tratamento disponível é próximo ao aterro municipal (MC BEAN⁴⁷ et al, 1995). Quando houver necessidade de uso de caminhão tanque para transportar o lixiviado até as instalações da ETE, é necessária uma avaliação em relação aos custos envolvidos, pois esse procedimento pode se tornar antieconômico, como um método permanente de remoção.

Em função dessa proximidade também poderá ser realizado um estudo de viabilidade técnica e econômica da interligação ao sistema público via rede coletora.

A avaliação dos custos relacionados ao tratamento local ou externo ao aterro deverá ser bastante abrangente, levando em consideração os custos operacionais e de transporte, não somente os custos de implantação das obras.

Para viabilizar o recebimento de lixiviado nas estações de tratamento do sistema público para tratamento conjunto com os esgotos sanitários é necessário avaliar-se o impacto do acréscimo de carga proveniente dessas contribuições, que podem acarretar em:

- Necessidade de aumentar a potência do sistema de aeração das plantas de tratamento e conseqüentemente os gastos com energia elétrica
- Aumento da produção de lodo devido ao aumento da biomassa e metais precipitados
- Elevação dos níveis de metal no lodo
- Surgimento de problemas com geração de espuma e odor.

3.5.4. Lixiviado dos Aterros e Estações de Tratamento do Sistema Público de Esgotos

Com relação ao aterro, um grande problema que se verifica é a escassez de área para as instalações da planta de tratamento e mesmo em caso de tratamento externo, muitas vezes faz-se necessário equalizar a vazão de lixiviado por estocagem temporária em tanques ou em lagoas podendo também ser requerida a recirculação do excesso de vazão de volta para o aterro em períodos de elevada produção. Outra opção seria a adoção de sistemas de tratamento flexíveis, de modo que possam absorver as variações de vazão.

Para viabilizar o tratamento combinado de lixiviado com os esgotos municipais numa estação de tratamento de esgotos já existente são necessários alguns requisitos, destacando-se a capacidade de recebimento pelo sistema de esgotos, ou seja, a estação de tratamento deve ter “folga” (capacidade disponível), para receber essas cargas. Também é necessário que o processo de tratamento da estação seja compatível com as características do lixiviado, além de apresentar condições para manejar/tratar o incremento de lodo produzido (QASIM e CHIANG⁶², 1994).

O elemento essencial que possibilita o tratamento de lixiviado em combinação com o esgoto doméstico é o controle do volume, que deve ter pequena proporção em relação à vazão total dos esgotos. Dentre os vários estudos realizados nesta área, alguns resultados publicados sobre o limite admissível para o co-tratamento de lixiviado com esgotos municipais, indicam que aproximadamente 2% em volume podem produzir resultados aceitáveis.

Vários autores têm determinado experimentalmente a proporção de lixiviado que pode ser tolerada numa ETE sem causar impactos aos processos de tratamento e ao meio ambiente, porém, a comparação entre os resultados

encontrados é dificultada devido às diferenças na composição do lixiviado e do esgoto e também em função dos procedimentos experimentais adotados, que diferem bastante.

A literatura apresenta muitas incertezas com relação à eficiência das estações de tratamento que realizam o tratamento combinado de lixiviados com os esgotos sanitários. Ainda que a redução de metais pesados, DBO e DQO sejam verificadas para proporções relativas de lixiviado eficazmente tratados, efeitos da conversão de amônia, da temperatura, produção de lodo, de espuma, da baixa sedimentabilidade de sólidos e da acumulação de metais pesados, têm sido observados em vários níveis.

Alguns autores acreditam que a qualidade do lixiviado tenha algum impacto sobre a performance das estações, entretanto, a eficiência deve ser pesquisada caso a caso. Quando há alta proporção de lixiviado para ser tratado, deve ser considerado o estabelecimento de um pré-tratamento (QASIM e CHIANG⁶², 1994).

A Tabela 7 apresenta uma compilação de resultados de estudos sobre o tratamento conjunto de lixiviados com esgotos sanitários.

Tabela 7. Estudos sobre o tratamento conjunto de lixiviado com esgotos sanitários.

Autoria	Condições de contorno	Efeitos observados
Boyle e Ham (1974)	DQO > 10.000 mg/L a) Volume de lixiviado: $V \leq 5\%$ b) Volume de lixiviado: $V > 5\%$	a) $V \leq 5\%$: Não houve prejuízo aos processos de tratamento ou à qualidade do efluente b) $V > 5\%$: <ul style="list-style-type: none"> – elevada produção de sólidos – aumento do consumo de oxigênio – baixa estabilização da biomassa

“continua”

Tabela 7. Estudos sobre o tratamento conjunto de lixiviado com esgotos sanitários.*“continuação”*

Autoria	Condições de contorno	Efeitos observados
Boyle e Ham (1974)	DQO \leq 8.800 mg/L Volume de lixiviado: $V \leq 2\%$	Não houve prejuízo aos processos de tratamento ou à qualidade do efluente
Chiam e De Walle (1977)	Volume de lixiviado: $V > 4\%$	Perda de eficiência da planta de tratamento
Henry (1985)	DQO \leq 24.000 mg/L a) Volume de lixiviado: $V \leq 2\%$ b) Volume de lixiviado: $V > 5\%$	a) $V \leq 2\%$: Não houve alteração na eficiência da planta de tratamento. b) $V > 5\%$: – efeitos prejudiciais à performance da estação – alta DBO do efluente
Henry (1985)	Avaliação da produção de lodo em sistemas de tratamento de esgoto e sistemas individualizados de tratamento de lixiviado	Produção de lodo em sistemas de tratamento exclusivos de lixiviado = 2 vezes a produção de lodo em plantas de tratamento esgoto Produção de lodo no tratamento de esgoto sanitário = 1 kg SS/kg DBO
Robinson e Maris (1979)	Volume de lixiviado: $V \leq 2\%$	Indicação de capacidade aparente para o tratamento conjunto com resultados aceitáveis
Outros estudos	Volume de lixiviado: $V \leq 0,5\%$	Problemas na sedimentação do lodo

Fonte: Qasim/Chiang e Farquhar, adaptado de BOCCHIGLIERI¹¹, 2005.

3.5.5. Capacidade de Recebimento das Cargas Provenientes do Lixiviado pelas Estações de Tratamento de Esgotos

Aspecto fundamental para a viabilização do tratamento do lixiviado de aterros em estações do sistema público de esgotos é verificar a capacidade das estações para receber, tratar e dispor adequadamente essas cargas.

Neste trabalho serão analisadas quatro estações de tratamento que recebem lixiviado de aterro. As avaliações serão feitas mediante os dados de projeto, sendo que apenas para a Estação de Tratamento de Esgotos - ETE - Barueri, que recebe um aporte muito grande de efluentes industriais, será realizada uma avaliação da capacidade disponível (“folga”) do sistema para recebimento de cargas, mediante alguns critérios específicos.

Para verificar se o sistema possui “folga” para o recebimento de cargas adicionais, é necessário estabelecer inicialmente os padrões de qualidade a serem atendidos. Sob esse enfoque, devem ser previstos o atendimento à legislação específica, a proteção aos sistemas biológicos de tratamento, bem como os usos pretendidos para o lodo e os efluentes gerados na estação.

Para tanto, existem várias metodologias de avaliação, que vão desde a caracterização físico-química dos efluentes a serem recebidos e a simples comparação dos resultados com os limites impostos pela legislação pertinente, até a realização de estudos por meio de testes de bancada, montagem de pilotos e mesmo ensaios em escala real.

SAPIA⁷², 2000 apresenta a descrição dos testes de toxicidade mais usuais aplicados aos processos biológicos de tratamento, e o seu emprego permite avaliar o “efluente como um todo, pelos efeitos observados sobre os organismos-teste, onde já se traduz o resultado das ações aditivas,

sinérgicas e antagônicas das substâncias bio-disponíveis que o compõe”, configurando-se, portanto, numa valiosa ferramenta para a avaliação da viabilidade do recebimento de efluentes com características não-domésticas pelo sistema público de esgotos.

A Resolução Conama nº 357/05⁵¹ estabelece em seu Artigo 34 - & 1º que “o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente”.

A legislação paulista para o controle da poluição do meio ambiente estabelece a obrigatoriedade do lançamento na rede pública dos efluentes de qualquer fonte poluidora, desde que provida de sistema de tratamento adequado, assim como estabelece os limites para o lançamento desses efluentes no sistema público de esgotos, conforme os artigos 19 e 19-A do Decreto Estadual nº 8468⁷⁰ de 08/09/1976.

De acordo com SAMPAIO⁶⁸ et al, 1999 os limites máximos estabelecidos pela referida legislação para as substâncias potencialmente prejudiciais aos sistemas de coleta e tratamento, foram adotados tomando-se como referência estudos realizados na década de 50 pela Environmental Protection Agency – EPA, que se baseou no critério da melhor tecnologia de pré-tratamento disponível na época. Dentre as condições de lançamento estabelecidas pelo Decreto Estadual nº 8468⁷⁰ de 08/09/1976, inclui a “ausência de solventes, gasolina, óleos leves e substâncias explosivas ou inflamáveis em geral”, o que o torna muito restritivo.

Esses estudos, não levaram em consideração a diluição dos efluentes no sistema de coleta e interceptação de esgotos sanitários, e precisam ser revistos, pois mesmo a tecnologia de tratamento/pré-tratamento de efluentes sofreu uma evolução significativa no período transcorrido até os dias atuais.

Desta forma, os efluentes lançados no sistema público de esgotos podem apresentar características diversas, que mesmo atendendo aos limites legais, podem vir a causar danos ao sistema, sendo o inverso também

verdadeiro, ou seja, o efluente poderá estar em desacordo com os padrões legais e seu lançamento poderá não causar qualquer tipo de dano, quando recebido pelo sistema de coleta e tratamento de esgotos (SAMPAIO⁶⁸ et al, 1999).

Por estas razões, a simples comparação das características físico-químicas de um efluente com os limites legais, não representa a efetiva garantia de proteção aos sistemas de esgotamento sanitário. Um aspecto positivo da legislação é que ela permite que o responsável pela operação dos sistemas de tratamento seja mais ou menos restritivo para alguns dos seus parâmetros, indicados em seu Artigo 19-A, parágrafo 1º.

SAMPAIO et al⁶⁸, 1999 propuseram uma metodologia que possibilita essa avaliação, a partir do modelo de gestão adotado no Canadá, mediante a utilização de um modelo matemático que permite a simulação do comportamento da estação de tratamento a partir do aporte de cargas em seu afluente. A utilização desta ferramenta possibilita o estabelecimento de limites locais, particularizados para cada estação de tratamento, a partir dos dados e condições operacionais da ETE, dos limites teóricos de toxicidade estabelecidos pela literatura e dos limites legais.

3.5.5.1. Limites de Qualidade Adotados

A capacidade de uma estação de tratamento de esgotos para o recebimento de cargas pode ser definida em função da máxima carga que a estação suporta, sem causar inibição aos processos biológicos de tratamento e sem causar danos ao meio ambiente e à saúde do operador, considerando-se para tal, que o lodo e o efluente da estação terão uma qualidade que permita sua disposição final adequada.

A máxima carga que uma estação pode suportar ou a “carga máxima admissível”, é estabelecida em função dos chamados “limites locais”.

O estabelecimento de limites locais considera:

- A proteção aos sistemas de tratamento biológicos e à saúde do trabalhador
- Os usos pretendidos para o lodo e para o efluente tratado
- Os limites legais

A seguir serão apresentados os critérios utilizados como referência na determinação dos limites locais, baseados na qualidade requerida para o lodo e o efluente, nos limites de toxicidade e nos limites legais, ressaltando-se que não foram considerados no presente trabalho os limites para a proteção à saúde do trabalhador.

a) Limites de proteção aos sistemas biológicos de tratamento

Os processos biológicos de tratamento são realizados pela ação dos microrganismos presentes nos esgotos que promovem a degradação da matéria orgânica através da sua utilização para obtenção de energia para suas atividades e como fonte de matéria prima para sua reprodução, ou seja, esses microrganismos obtêm nutrientes e energia pela progressiva estabilização da matéria orgânica dos despejos, em condições ambientais adequadas (PAGANINI⁵⁶ et al, 2003).

A atividade metabólica das populações de microrganismos pode ser afetada em função da presença de determinadas substâncias tais como metais pesados, sulfetos, cianetos, amônia e outros, que promovem um desequilíbrio do meio e que em determinadas concentrações podem levar ao colapso dos sistemas de tratamentos aeróbios (tanques de aeração, lagoas de estabilização, filtros biológicos) e anaeróbios (digestores, lagoas anaeróbias, reatores anaeróbios).

Para a proteção desses sistemas foram realizados diversos estudos buscando o estabelecimento de limites de concentração para diversos poluentes. HELOU³⁵, 2000, apresenta os limites inibitórios para o sistema de lodos ativados, para compostos inorgânicos (Tabela 8)

Tabela 8. – Limites dos efeitos inibitórios de compostos inorgânicos em lodos ativados e processo de nitrificação

Composto	Lodos ativados (mg/L)	Nitrificação (mg/L)	Digestão anaeróbia (mg/L)
Amônia	480 ^{(1)(*)}	...	1500 – 8000 ⁽¹⁾ 1500 – 3000 ⁽²⁾ 1500 ^(*)
Arsênio	0,1 ⁽¹⁾ 0,04 – 0,2 ⁽²⁾	1,5 ^{(1)(*)}	1,6 ^{(1)(*)} 0,1 – 1 ⁽²⁾
Boro	0,05 – 10 ⁽²⁾ 0,05 ^(*)	...	2 ^{(2)(*)}
Cádmio	1 – 10 ⁽¹⁾ 0,5 – 10 ⁽²⁾ 1 ^(*)	5,2 ^{(1)(*)} 5 – 9 ⁽²⁾	20 ^{(1)(*)} 0,02 – 1 ⁽²⁾
Cálcio	2500 ^{(2)(*)}	...	...
Cloretos		180 ^{(1)(*)}	20000 ^{(2)(*)}
Cromo total	1 – 100 ⁽¹⁾ 0,1 – 20 ⁽²⁾ 1 ^(*)	0,25 – 1,9 ⁽¹⁾ 0,25 – 1 ⁽²⁾ 0,25 ^(*)	1,5 – 50 ⁽²⁾ 110 ^(*)
Cromo hexavalente	1 ^{(1)(*)} 10 ⁽³⁾	1 – 10 ⁽¹⁾ 0,25 ⁽³⁾ 1 ^(*)	110 ^{(1)(*)}
Cromo trivalente	10 – 50 ⁽¹⁾ 15 – 50 ⁽³⁾ 10 ^(*)	...	130 ^{(1)(*)}
Cobre	1 ^{(1)(*)} 0,1 – 1 ⁽²⁾ 1 ⁽³⁾	0,05 – 0,48 ⁽¹⁾ 0,05 ^(*)	40 ^{(1)(*)} 0,5 – 100 ⁽²⁾
Cianeto	0,1 – 5 ⁽¹⁾ 0,05 – 20 ⁽²⁾ 0,1 – 5 ⁽³⁾ 0,1 ^(*)	0,34 – 0,5 ⁽¹⁾ 0,3 – 20 ⁽²⁾ 0,34 ^(*)	1 – 100 ⁽¹⁾ 0,1 – 4 ⁽²⁾ 4 ^(*)
Iodeto	10 ^{(1)(*)}	...	...
Ferro	5 – 500 ⁽²⁾ 50 ^(*)	...	5 ^{(2)(*)}
Chumbo	0,1 – 100 ⁽¹⁾ 0,1 – 10 ⁽²⁾ 0,1 ^(*)	0,5 ^{(1)(*)} 0,5 – 1,7 ⁽²⁾	340 ^{(1)(*)} 50 – 250 ⁽²⁾
Magnésio	...	50 ^{(2)(*)}	1000 ^{(2)(*)}
Manganês	10 ^{(2)(*)}	...	...

“continua”

Tabela 8. Limites dos efeitos inibitórios de compostos inorgânicos em lodos ativados e processo de nitrificação*“continuação”*

Composto	Lodos ativados (mg/L)	Nitrificação (mg/L)	Digestão anaeróbia (mg/L)
Mercúrio	0,1 - 1 (1) (3) 0,1 - 5 (2) 0,1 (*)	2 - 12,5 (2) 2 (*)	1400 (2) (*)
Níquel	1 - 2,5 (1) 1 - 5 (2) 1 (*)	0,25 - 5 (1) 0,25 - 0,5 (3) 0,25 (*)	10 - 146 (1) 2 - 200 (2) 10 (*)
Prata	0,25 - 5 (1) 0,25 (*)	0,25 (2) (*)	13 - 65 (1) 13 (*)
Sódio	...	...	3500 (2) (*)
Sulfato	...	...	500 - 1000 (1) 500 (*)
Sulfeto	25 - 30 (1) < 50 (2) 25 (*)	...	50 - 100 (1) 50 (*)
Estanho	...	...	9 (2) (*)
Zinco	0,08- 10 (1) 0,3 - 20 (2) 0,3 - 5 (3) 0,08 (*)	0,08 - 0,5 (1) (3) 0,01 - 1 (2) 0,08 (*)	400 (1) (*) 1 - 10 (2)

(1) EPA 1987; (2) Revisão EPA 1987; (3) Anthony e Beinhurst, 1981;

(*) Recomendado por Environmental Canada

Fonte: Extraído de Anthony e Beinhurst, 1981, citados por HELOU³⁵, 2000.

Os limites inibitórios para o sistema de lodos ativados compilados por HELOU³⁵, 2000, para compostos orgânicos são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Limites dos efeitos inibitórios de compostos orgânicos em lodos ativados e processo de nitrificação

Composto	Lodos ativados (mg/L)	Nitrificação (mg/L)	Digestão anaeróbia (mg/L)
Antraceno	500 (1) (*)	...	...
Benzeno	100 - 500 (1) 100 (*)	...	...
Benzideno	500 (3) (*)	...	...
Tetracloroeto de carbono	...	...	2 - 159,4 (1) 2,9 (*)
Ciclorofenol	5 - 200 (1) 20 - 200 (3) 5 (*)	...	...
Clorobenzeno	...	...	0,96 - 3 (1) 0,96 (*)

“continua”

Tabela 9. Limites dos efeitos inibitórios de compostos orgânicos em lodos ativados e processo de nitrificação

“continuação”

Composto	Lodos ativados (mg/L)	Nitrificação (mg/L)	Digestão anaeróbia (mg/L)
Clorofórmio	...	10 ^{(1) (*)}	...
1,2 Diclorobenzeno	5 ^{(1) (*)}	...	...
1, 3 Diclorobenzeno	5 ^{(1) (*)}	...	...
1,4 Diclorobenzeno	5 ^{(1) (*)}	...	...
2,4 Diclorofenol	64 ^{(1) (*)}	64 ^{(1) (*)}	...
2,4 Dimetilfenol	40 – 200 ⁽¹⁾ 50^(*)	...	...
2,4 Dinitrofenol	...	150 ^{(1) (*)}	...
2,4 Dinitrotolueno	5 ^{(1) (*)}	...	...
1,2 Difetilhidrazine	5 ^{(1) (*)}	...	...
Etilbenzeno	200 ^{(1) (*)}	...	...
Hexaclorobenzeno	5 ^{(1) (*)}	...	...
Naftaleno	500 ^{(1) (*)}	...	...
Nitrobenzeno	30 – 500 ⁽¹⁾
Pentaclorofenol	0,95 – 150 ⁽¹⁾ 50 ⁽³⁾ 0,95^(*)	...	...
Fenatreno	500 ^{(1) (*)}	...	...
Fenol	50 – 200 ⁽¹⁾ 50 ^(*)	4 – 10 ⁽¹⁾ 4 ^(*)	...
Surfactantes	100 – 500 ⁽¹⁾ 100^(*)	...	...
Tolueno	200 ^{(1) (*)}	...	...
2,4,6 Triclorofenol	50 – 100 ⁽¹⁾ 50	...	...

(1)EPA 1987;

(2) Revisão EPA 1987

(3) Anthony e Beinhurst, 1981

(*) Recomendado por Environmental Canada

Fonte: Extraído de Anthony e Beinhurst, 1981, citados por Helou³⁵, 2000.

Observando-se a Tabela 9 verifica-se que tanto os parâmetros orgânicos quanto os inorgânicos variam numa faixa muito grande de valores.

b) Qualidade do lodo

Para estabelecer a carga máxima admissível no afluente das estações, foram adotados nesta pesquisa os limites com a finalidade da utilização do lodo para fins agrícolas. A Tabela 10 apresenta os padrões estabelecidos pela US EPA 40CF Part 503⁸² e pela Resolução Conama nº 375/2006, com limites mais restritivos.

Ressalta-se, porém, que existem múltiplas alternativas para a disposição final do lodo gerado nas estações de tratamento de esgotos, tais como a disposição em aterro sanitário, reúso industrial, incineração, recuperação de solos e outros.

Tabela 10. Concentrações limites de metais no lodo. Valores em mg/kg.

Metais	Concentração máxima de metais (base seca)	
	USEPA ⁽¹⁾	CONAMA ⁽²⁾
Arsênio	75	41
Bário	...	1300
Cádmio	85	39
Cobre	4300	1500
Chumbo	840	300
Cromo	...	1000
Mercúrio	57	17
Molibdênio	75	50
Níquel	420	420
Selênio	100	100
Zinco	7500	2800

Fonte:

(1): US EPA 40CF Part 503⁸²

(2): Resolução Conama nº 375/2006⁵³

c) Qualidade do efluente final

Para a determinação da carga máxima admissível no afluente serão adotados os limites para lançamento dos efluentes nos corpos d'água, de acordo com a Resolução CONAMA n° 357⁵¹ de 17 de Março de 2005. Esses limites são apresentados na Tabela 11, assim como os limites exigidos pelo Decreto Estadual n° 8468⁷⁰ de 08/09/1976 – Artigo 18.

Tabela 11. Limites para lançamento de efluentes

PARÂMETROS INORGÂNICOS	Resolução Conama 357/05	Decreto Estadual 8648/76 Artigo 18
Arsênio total	0,5 mg/L As	0,2 mg/L
Bário total	5,0 mg/L Ba	5,0 mg/L
Boro total	5,0 mg/L B	5,0 mg/L
Cádmio total	0,2 mg/L Cd	0,2 mg/L
Chumbo total	0,5 mg/L Pb	0,5 mg/L
Cianeto total	0,2 mg/L CN	0,2 mg/L
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu	1,0 mg/L
Cromo total	0,5 mg/L Cr	5,0 mg/L
Cromo hexavalente	...	0,1 mg/L
Estanho total	4,0 mg/L Sn	4,0 mg/L
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe	15,0 mg/L
Fluoreto total	10,0 mg/L F	10,0 mg/L
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn	1,0 mg/L
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg	0,01 mg/L
Níquel total	2,0 mg/L Ni	2,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N	...

"continua"

Tabela 11. Limites para lançamento de efluentes*“continuação”*

PARÂMETROS ORGÂNICOS	Resolução Conama 357/05	Decreto Estadual 8648/76 Artigo 18
Prata total	0,1 mg/L Ag	0,02 mg/L
Selênio total	0,30 mg/L Se	0,02 mg/L
Sulfeto	1,0 mg/L S	...
Zinco total	5,0 mg/L Zn	5,0 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L	
Dicloroetano	1,0 mg/L	
Fenóis totais	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH	0,5 mg/L
Tetracloroeto de Carbono	1,0 mg/L	
Tricloroetano	1,0 mg/L	

3.5.5.2. Cálculo da Carga Máxima Admissível no Afluente

Para o estabelecimento da carga máxima admissível no afluente foi utilizada neste trabalho, para o sistema de lodos ativados convencional, uma ferramenta auxiliar, o modelo matemático denominado TOXCHEM⁺. Este modelo que permite simular uma estação de tratamento de esgotos e verificar o comportamento / processamento de algumas substâncias na estação, por meio de mecanismos que simulam a volatilização, biodegradação e a partição de sólidos na planta.

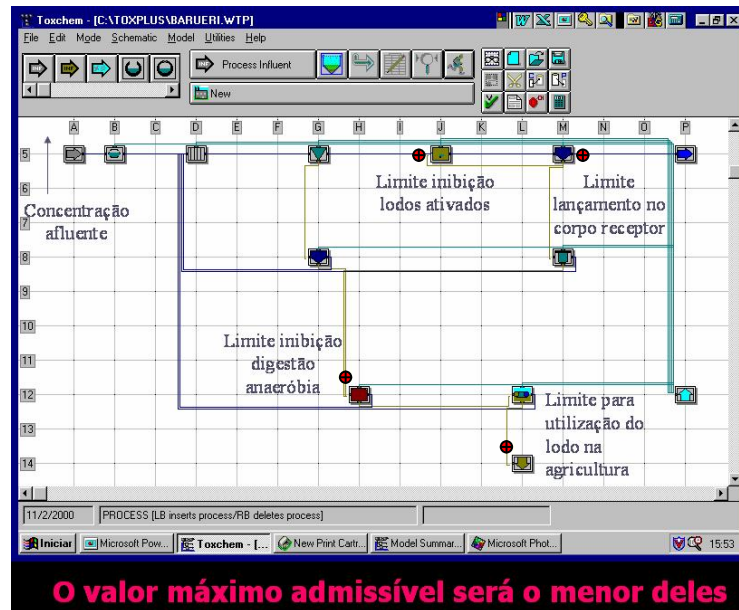
Esse programa é interativo e oferece opções para construir o diagrama esquemático de estações de tratamento, estabelecendo a relação entre os componentes unitários de uma estação, como grade, caixa de areia,

decantador, tanque de aeração, digestor, adensador, dentre outros, que podem ser organizados em seqüências distintas, permitindo vários arranjos, podendo ser alimentado com dados específicos ou pré-definidos. O programa permite a modelagem para um ou mais contaminantes, que são avaliados isoladamente, um a um, pois o programa não possui mecanismos para avaliar a sinergia entre as substâncias presentes nos esgotos.

Após a montagem do diagrama da estação e alimentação do programa com os dados específicos da ETE em estudo, inicia-se a simulação, escolhendo-se um poluente para a avaliação. Admitindo-se um valor aleatório de concentração no afluente para a substância em estudo, executa-se o programa, comparando as concentrações obtidas em cada fase do processo de tratamento com os limites teóricos pré-estabelecidos para eles. Por exemplo, numa planta de lodos ativados como a Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri - SP, o programa calcula a concentração de um determinado metal após o esgoto ter passado pelo tratamento primário, ou seja, na saída do decantador primário. Após receber o tratamento primário o esgoto passa para o tanque de aeração. Nessa fase do processo de tratamento, compara-se a concentração do metal avaliado com os limites de inibição ao tratamento biológico aeróbio, pois é com essas características que o esgoto irá entrar no tanque de aeração. O processo consiste em aumentar-se gradativamente a concentração do poluente no afluente da estação, até que seja atingido o limite teórico para cada uma das variáveis analisadas (lodo, efluente, inibição do processo biológico). O valor máximo admissível será o menor deles, pois a partir daí poderá haver comprometimento do sistema quanto aos processos biológicos de tratamento, à qualidade do lodo ou do efluente final (HELOU e EBERT³⁶, 1999).

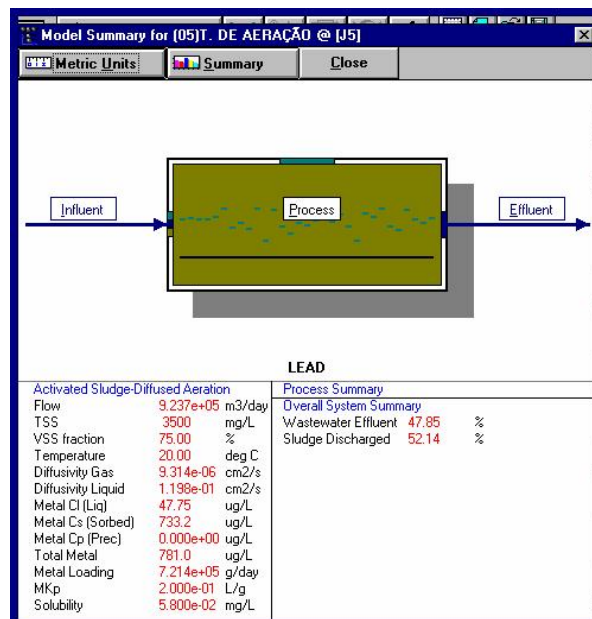
A Figura 11 mostra o esquema da ETE Barueri elaborado a partir do software TOXCHEM+, indicando os pontos da estação nos quais serão feitas as comparações do esgoto em tratamento com os limites de referência adotados na simulação pelo TOXCHEM+.

Figura 11. Representação esquemática da ETE Barueri-TOXCHEM+



A título de exemplo, na Figura 12 apresenta-se a tela do modelo para o tanque de aeração.

Figura 12. Representação esquemática do tanque de aeração pelo TOXCHEM+



Observando-se a Figura 12, na linha onde se lê “Total Metal”, apresenta-se o valor da concentração do metal avaliado no afluente ao tanque de aeração, no caso o chumbo (*lead*). Este valor deve ser comparado ao limite de toxicidade e deve permanecer sempre inferior a ele, pois de outra forma, poderá haver inibição ao processo de tratamento biológico em função da elevada concentração deste metal.

3.5.5.3. Definição da Capacidade Adicional Disponível - “Folga”

Conhecida a carga máxima admissível no afluente, que é o produto da concentração máxima admissível (calculada pelo modelo matemático), pela vazão afluente à ETE, pode-se compará-la com a carga observada na ETE, que é obtida pelo monitoramento de rotina da planta, através da caracterização do esgoto que chega à estação. Essa comparação permite a avaliação do sistema quanto à sua capacidade para recebimento de determinadas substâncias no sistema. Quando a carga máxima admissível no afluente é superior à carga observada, existe “folga” no sistema para receber efluentes que contenham a substância avaliada.

Quando a “folga” for esgotada todo o processo de recebimento deve ser revisto. Inicialmente deve-se consultar a estação de tratamento para verificar a ocorrência de alguma anormalidade na operação em relação aos processos biológicos de tratamento. Caso não haja evidência de problemas, os valores teóricos adotados para calcular os limites locais podem estar superdimensionados (BOCCHIGLIERI¹¹, 2005).

3.6. EXPERIÊNCIAS QUE REFLETEM OS ASPECTOS PRÁTICOS DO TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS

3.6.1. Estudos de Alternativas de Tratamento de Lixiviado – Ribeirão Preto - SP

LIMA⁴³ et al, 2005 estudaram várias alternativas para o tratamento do lixiviado gerado no novo aterro sanitário da cidade de Ribeirão Preto - SP. Dentre os critérios adotados para o estudo, optaram por considerar a pior condição de operação para o desenvolvimento da avaliação. Desta forma, o dimensionamento preliminar dos sistemas de tratamento, foi calculado com base no valor estimado para a maior carga orgânica a ser recebida para tratamento.

Os sistemas estudados foram lagoas de estabilização, reator anaeróbio de manta de lodo e lodos ativados, contemplando a opção de recirculação total do percolado, além da análise do tratamento conjunto pelo sistema público de esgotos, procedimento atualmente praticado pelo aterro local.

Os estudos apontaram que a opção mais vantajosa em termos econômicos seria a adoção de lagoas de estabilização do tipo sistema australiano, composto por lagoa anaeróbia seguida de facultativa, especialmente pela disponibilidade de área no aterro.

A opção de tratamento conjunto foi considerada a melhor opção no início do projeto, porém apresentou os custos mais elevados em final de plano. A interligação via rede coletora (estimada em 5 km) se mostrou inviável em função dos elevados custos de implantação.

Ressalta-se que os autores relatam que os estudos apresentaram algumas limitações de estimativa dos custos locais, além da adoção de parâmetros de projeto ainda não consolidados.

3.6.2. Tratamento Exclusivo de Lixiviado – Santa Maria - RS

O aterro sanitário da Caturrita, localizado no município de Santa Maria no Rio Grande do Sul, está em operação há 20 anos. GOMES e SILVA³³, 2005, avaliaram a eficiência do sistema de tratamento local, composto por lagoas de estabilização, concluindo que a eficiência média do sistema de lagoas de tratamento ficou em 68,5% na avaliação da DBO, com concentração média no efluente de 390 mg/L. No entanto, esse valor não atende à legislação estadual local, que estabelece o limite de lançamento nos corpos d'água de 200 mg DBO/L.

Sugerem o aumento da área e do volume úteis de tratamento a partir do aumento do número de unidades em operação, ou a implantação de sistemas de aeração e adição química, dentre outros. Os valores da DBO encontrados para o lixiviado oscilaram entre 353 mg/L e 5.610 mg/L.

3.6.3. Experiência de Tratamento Conjunto de Lixiviado – Canoas - RS

A estação de tratamento de esgotos de Canoas - RS adota o processo de lodos ativados em batelada, e atualmente está operando abaixo de sua

capacidade nominal. Em função da capacidade ociosa na estação, a ETE recebe efluentes por caminhão, provenientes da limpeza de fossas sépticas e banheiros químicos, além de lixiviados de aterros sanitários.

A entrada de esgoto doméstico bruto na ETE é contínua e obedece ao hidrograma convencional de vazões de redes coletoras públicas. As cargas extras são recebidas na estação no período entre 7h00 e 19h00, via caminhões tanque, com volumes variando de 6 a 36 m³.

KLUSENER F^{o40} et al, 2009 realizaram o monitoramento do esgoto afluyente à estação visando observar as flutuações dos parâmetros físico-químicos DBO, QDO, Alcalinidade, pH, Condutividade, Turbidez e Série de Sólidos.

Os dados levantados foram cruzados com os dados operacionais de recebimento de cargas onde constam informações sobre o tipo de efluente recebido, volume, pH, data e horário dos despejos recebidos.

Com os dados obtidos verificou-se que houve acréscimo nas concentrações afluentes nos parâmetros analisados em função das cargas recebidas por caminhão, com variações para mais, em até 10 vezes, em relação ao valor típico do esgoto sanitário afluyente à estação. Os parâmetros que apresentaram maiores variações foram alcalinidade e condutividade.

Os valores médios para a DBO do esgoto bruto variaram de 34 mg/L até 101 mg/L; para a mistura com os efluentes recebidos via caminhão (lixiviado e fossa), a DBO máxima encontrada oscilou entre 140 mg/L e 321 mg/L, ou seja, mesmo com o aporte de cargas adicionais, provenientes do lixiviado e outras fontes, a concentração da DBO afluyente à estação pode ser considerada baixa.

3.6.4. Tratamento Isolado de Lixiviado – Jaboatão dos Guararapes - Pe

O Aterro da Muribeca localizado em Jaboatão dos Guararapes – Pe recebe os resíduos das cidades de Recife e Jaboatão dos Guararapes. O aterro possui um sistema local isolado de tratamento de lixiviado composto por uma série de 5 lagoas sendo 1 Lagoa de Decantação, seguida de 1 Lagoa Anaeróbia e 3 Lagoas Facultativas.

Estudos desenvolvidos por ROCHA⁶⁴ et al, 2005, avaliaram o comportamento da estação de tratamento em função de variáveis como a chuva, a vazão e o pH. Os parâmetros estudados foram DBO_{5,20}, DQO e sólidos. As caracterizações qualificaram o lixiviado do aterro como um efluente de difícil biodegradabilidade.

O sistema apresenta eficiência para a redução das concentrações, mas para a obtenção de melhores resultados seria necessário implantar um sistema para a regularização das vazões afluentes (equalização)

A influência das chuvas na vazão de entrada da estação foi claramente observada durante o período avaliado, conforme descrevem os autores. No momento da precipitação, a vazão afluente apresentava tendência a subir, mantendo-se elevada por um período de tempo. Havendo outro evento de chuva em curto espaço de tempo, a vazão da estação apresentava tendência a aumentar ainda mais no instante inicial da precipitação, mantendo-se elevada por um período de tempo e passando então a diminuir gradativamente com o tempo.

Outro aspecto ressaltado pelos pesquisadores se refere à necessidade de se realizar as coletas do afluente da estação e do efluente da estação, mantendo-se um intervalo entre elas equivalente ao tempo de detenção hidráulica total da planta. Deste modo é possível uma comparação melhor

entre o que está entrando na estação e o que está saindo, após o tratamento. Durante o período de estudo, verificou-se que os valores obtidos para a redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e da Demanda Química de Oxigênio - DQO foram baixos. Outro aspecto apontado pelos pesquisadores em relação à DBO e à DQO foi que as concentrações medidas ao longo do processo de tratamento não apresentaram o comportamento coerente com a seqüência das lagoas (diminuindo gradativamente a cada etapa do processo), e nem foram proporcionais com as variações da vazão observadas no período.

Mencionam também que mesmo no período chuvoso, quando deveria ocorrer a diluição do lixiviado, esse fato não se verificou, sendo atribuído ao arraste pela chuva do material retido nos sólidos.

Os autores observam que vários fatores operacionais como a compactação, a cobertura e a drenagem do aterro, afetam diretamente a qualidade e a tratabilidade do lixiviado. No caso estudado evidenciou-se a necessidade de um tratamento complementar ao sistema. Como caracterização do lixiviado do aterro mostrou tratar-se de um efluente de baixa biodegradabilidade foi recomendado o tratamento físico-químico.

Outro aspecto apontado na pesquisa menciona que a legislação ambiental vigente não apresenta padrões específicos de lançamento para o efluente de estações de tratamento de lixiviado de aterros sanitários. Os autores entendem que a legislação deveria tratar desses lançamentos de maneira particularizada, em função das peculiaridades do lixiviado, como as cargas elevadas e suas oscilações.

3.6.5. Tratamento Conjunto de Lixiviado – Pesquisa em Campo com Escala Reduzida – Rio de Janeiro - RJ

SANTOS VIANA⁶⁹ et al, 2009, desenvolveram pesquisa para avaliar em campo e em escala de demonstração, a eficiência do tratamento de lixiviado de aterro em estações de tratamento de esgotos domésticos. Para tanto foram montadas duas linhas de tratamento em escala piloto, alimentadas com o esgoto afluyente à estação, em tempo real.

A linha 01 consistiu numa lagoa facultativa seguida de uma lagoa de maturação, operando com o recebimento do lixiviado do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, localizado no Município de Duque de Caxias – RJ.

A linha 02 foi composta por lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação, e recebeu o lixiviado do Aterro Gericinó, localizado em Bangu, na cidade do Rio de Janeiro – RJ.

As avaliações contemplaram cinco fases em diferentes diluições do lixiviado, variando de 0,2% a 2% nas duas linhas. A fase 05 foi operada de maneira diferenciada, pois o controle da vazão afluyente foi estabelecido em função da relação entre a carga de amônia do lixiviado e a carga de amônia do esgoto bruto. A diluição adotada foi a mesma que determinou uma relação máxima de cargas em 5%.

Concluem os autores que a operação da Linha 01 (lagoa facultativa + lagoa de maturação) não respondeu bem ao processo de tratamento combinado, nem mesmo quando a carga afluyente de amônia foi reduzida em função da diluição do lixiviado.

O sistema de lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação alcançou melhores resultados, apresentando-se como uma alternativa viável para o tratamento combinado, atingindo valores satisfatórios para remoção de DBO.

A redução da DQO, no entanto, não ofereceu respostas com o mesmo nível de eficiência apresentado para a redução da DBO.

O conjunto de lagoa aerada e lagoa de sedimentação apresentou maior estabilidade em relação ao conjunto de lagoa facultativa e lagoa de maturação.

A lagoa aerada apresentou boa redução de amônia em algumas fases operacionais, para valores de diluição do lixiviado inferior a 2% em relação ao esgoto afluente.

3.6.6. Recirculação dos Lixiviados nos Aterros

Experimentos realizados por Doedens & Cordlandwheir (1989) citados por CHRISTENSEN¹⁷ et al, 1997 mencionam a recirculação do lixiviado como uma vantagem econômica e um eficiente sistema de pré-tratamento.

De acordo com os estudos realizados por Pohland (1976), Robinson et al, (1982) e Tittlebaum (1982), citados por BARBER e MARIS⁸, 1997 verificou-se que as concentrações de DQO, em aterros que promoveram a recirculação contínua do lixiviado, sofreram uma redução de 20.000 mg/L para valores abaixo de 1.000 mg/L, no período de 1 ano.

Essa redução de cargas é possível, pois a massa de sólidos disposta no aterro funciona como um reator anaeróbio de leito fixo, e os componentes orgânicos do lixiviado são reduzidos pela atividade biológica dos microrganismos presentes nas células do aterro. A esse processo, soma-se a evaporação do lixiviado que ocorre a cada recirculação por evapotranspiração.

São várias as vantagens da recirculação descritas na literatura, destacando-se:

- a aceleração da estabilização do aterro;
- redução assegurada dos compostos orgânicos presentes no lixiviado;
- possível diminuição do volume devido à evapotranspiração;
- redução nos custos envolvidos no tratamento do lixiviado

Como desvantagens, podem ser destacados:

- risco de poluição do solo e das águas subterrâneas por infiltração do excesso de lixiviado recirculado, se houver algum problema na camada impermeabilizante do aterro;
- possibilidade de arraste de substâncias elevando as concentrações de sais e metais pesados no lixiviado;
- problemas com odor
- problemas relacionados à estabilidade das células de lixo

CINTRA²¹, 2003 realizou estudos para avaliar os fatores que influenciam nos mecanismos de degradação e estabilização dos resíduos sólidos urbanos, com ênfase na recirculação do chorume. Os estudos foram desenvolvidos em reatores experimentais submetidos à recirculação com chorume cru e chorume submetido à pré-tratamento por RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente). A partir dessa pesquisa foi possível identificar vários aspectos positivos da recirculação nos processos de degradação da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos, sugerindo, inclusive, a utilização de chorume de células antigas para auxiliar no processo de decomposição dos resíduos dispostos em células novas. Os estudos apontam que a recirculação deverá ser efetuada até o momento em que a produção de lixiviado não comprometa a estabilidade do aterro, sendo que a partir deste momento, é indicada a implantação do sistema de tratamento de chorume, para uso de seu efluente no processo de decomposição de resíduos e descarte do

excedente operacional. Ressalta-se que o comportamento dos reatores inoculados com chorume cru foi muito semelhante aos que receberam o chorume submetido ao pré-tratamento.

Chama à atenção ter sido mencionado que será necessário realizar o tratamento do chorume após um determinado período de tempo, quando a recirculação do chorume pelas células de resíduo poderá comprometer a estabilidade do aterro, ou seja, existe um limite a essa prática, que não pode ser considerada de modo genérico como solução definitiva para os lixiviados gerados em aterros sanitários.

No Estado de São Paulo muitos aterros empregam o sistema de recirculação de lixiviado nas células do aterro, sem grandes dificuldades operacionais, conforme foi possível constatar no desenvolvimento deste trabalho, em visitas realizadas em alguns aterros sanitários localizados no interior do Estado.

Serão descritas a seguir, três formas diferentes de operacionalizar a recirculação, praticadas em alguns desses aterros visitados, que serão chamados de aterro “A”, “B” e “C”. (Vale mencionar que as avaliações do tratamento conjunto realizadas no presente trabalho não se referem a esses aterros “A”, “B” e “C”)

O aterro “A” possui um sistema local de tratamento. Neste aterro, o lixiviado é recolhido numa lagoa onde é feita uma inoculação com microrganismos cultivados (adquiridos de um fabricante), sendo posteriormente bombeado e transportado via rede para o sistema de tratamento (lagoa anaeróbia + facultativa). Parte do lixiviado já tratado é recirculado para as células do aterro, por bombeamento e mangotes. O sistema de mangotes permite uma flexibilidade operacional, pois eles são facilmente deslocados de uma célula para outra. Foi mencionado que é necessário monitorar a estabilidade dos taludes, uma vez que eles estão sempre saturados.

No aterro de “B” o lixiviado é recolhido numa caixa e bombeado para uma lagoa de acumulação, localizada na parte superior do aterro. O lixiviado

armazenado na lagoa é recirculado para as células do aterro por gravidade, mediante o emprego de mangotes que ligam a lagoa aos pontos de introdução do lixiviado na massa de sólidos, sendo normalmente utilizados os drenos de gás para essa finalidade.

No aterro de “C”, o lixiviado é recolhido numa caixa e bombeado para lagoas instaladas sobre as células já encerradas (Figura 13) das quais ele recircula por infiltração pela massa de resíduos.

Figura 13. Lagoa de recirculação situada sobre a célula do aterro.



Na ocasião da visita ao aterro “C”, o mesmo já estava em operação há 11 anos, praticando a recirculação do lixiviado sem realizar nenhum descarte de lixiviado para fora do aterro. Decorrido alguns meses da visita, foi noticiada uma intervenção da agência ambiental no aterro em questão.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos os critérios adotados para a escolha das estações de tratamento de esgotos contempladas no presente estudo, seguindo-se de uma breve descrição dessas estações, indicando a origem e a forma de recebimento dos lixiviados dos aterros pelas mesmas.

São apresentadas as fontes consultadas para a obtenção dos dados secundários utilizados na pesquisa, bem como metodologia adotada para a obtenção dos dados primários. São também descritos os métodos empregados para realizar as avaliações propostas, de verificação da viabilidade do tratamento conjunto nas ETEs estudadas, incluindo a avaliação da variabilidade da geração de lixiviado nos aterros em função da precipitação.

Finalmente apresenta a metodologia empregada para o desenvolvimento de uma análise simplificada da qualidade dos aterros do Estado de São Paulo, a partir das informações disponibilizadas pela Cetesb.

4.1. IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE PESQUISA

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foi realizada uma consulta às unidades operacionais da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp para levantar informações sobre o recebimento de lixiviados de aterros em suas estações para tratamento conjunto com o esgoto sanitário.

De acordo com as respostas recebidas, foram realizados vários estudos de aceitabilidade para diferentes municípios, dentre eles Presidente Prudente, Jales, Meridiano, Piedade, Pinhal, São Sebastião (Juquehy) e Itanhaém, entretanto, nem todos os potenciais recebimentos de lixiviado foram operacionalizados.

Os casos efetivados de tratamento conjunto não são muitos, mas representam grandes volumes, pois na Região Metropolitana de São Paulo todos os aterros da Prefeitura Municipal de São Paulo enviam os lixiviados por caminhões para as Estações de Tratamento de Esgotos da Sabesp e vários aterros privados também adotam essa prática.

A partir dessas informações verificou-se que o universo possível para o desenvolvimento das pesquisas tornou-se bastante limitado, porém, diante das opções apresentadas, buscou-se compor uma amostra representativa para o desenvolvimento das avaliações, com base nos seguintes critérios:

- Indicação de sistemas que empregassem diferentes processos de tratamento de esgotos
- Indicação de sistemas que pudessem compor uma amostra diversificada em termos de porte da estação de tratamento de esgotos
- Indicação de sistemas que recebessem lixiviado de aterros em operação e de aterros encerrados
- Estações de tratamento que recebessem volumes diferenciados de lixiviado em relação à vazão tratada na estação
- Estações de tratamento localizadas em diferentes regiões do Estado de São Paulo

Com base nesses critérios foram escolhidas para compor os estudos, as estações de tratamento de esgotos de Tupã, Boiçucanga, Fernandópolis e Barueri, que serão apresentadas a seguir.

4.1.1. Tupã – SP

Tupã é um município brasileiro localizado na região oeste do Estado de São Paulo que conta atualmente com cerca de 65 mil habitantes. A cidade de Tupã está distante 435 km da capital do Estado de São Paulo (WIKIPEDIA⁸⁷).

A Figura 14 apresenta o mapa do Estado de São Paulo com a localização do município de Tupã.

Figura 14. Localização do município de Tupã.



Fonte: Extraído de WIKIPEDIA⁸⁷

4.1.1.1. *Estação de Tratamento de Esgotos de Tupã - SP*

A Estação de Tratamento de Esgotos de Tupã, localizada no município de Tupã, foi concebida para tratar os esgotos pelo processo de lagoas aeradas seguidas de lagoas de sedimentação.

A Figura 15 apresenta a imagem de satélite da ETE Tupã na qual é possível visualizar as lagoas aeradas, as lagoas de sedimentação e os leitos de secagem da estação.

Figura 15. ETE Tupã – Imagem de satélite.



Fonte: Adaptado de *GOOGLE EARTH*³⁴

A ETE Tupã está em operação desde o mês de julho/2002 e lança seus efluentes no córrego Afonso XIII, classe 4.

4.1.1.2. Recebimento de Lixiviados de Aterros Sanitários pela ETE Tupã

A ETE Tupã trata uma vazão de 132 L/s e recebe, via caminhão, em torno de 12 m³/d de lixiviado do Aterro Sanitário de Tupã. A estação também recebe uma contribuição representativa de esgotos com características não domésticas (efluente de laticínio), o que se configura num importante

aspecto a ser considerado na avaliação da viabilidade do tratamento conjunto de lixiviados de aterros com esgotos sanitários.

O lixiviado gerado é coletado pelo sistema de drenagem do aterro e armazenado em uma lagoa de acumulação, que pode ser visualizada na imagem de satélite da área do aterro sanitário de Tupã, referente ao mês de setembro/2005, apresentada na Figura 16.

Figura 16. Aterro sanitário de Tupã – Imagem de satélite.



Fonte: Adaptado de *GOOGLE EARTH*³⁴

O aterro sanitário de Tupã recebe cerca de 30 t/d de resíduos sólidos orgânicos e atende a cidade de Tupã e os distritos de Varpa, Universo e Parnaso, pertencentes ao município de Tupã.

O aterro está em operação desde o ano de 2004 e no ano de 2008 obteve IQR = 9,6, sendo classificado como “adequado” pela CETESB¹⁵, 2008.

A Figura 17 mostra o detalhe de uma célula de resíduos em operação no aterro sanitário de Tupã.

Figura 17. Célula de resíduos do aterro sanitário de Tupã



O lixiviado da lagoa é recolhido por caminhões e transportado até o local indicado para o seu recebimento pelo sistema público de esgotos. Com a finalidade de promover a homogeneização da mistura do lixiviado com os esgotos sanitários, o caminhão realiza o despejo do efluente em um poço de visita do sistema de esgotamento sanitário de Tupã, distante a aproximadamente 5 km da estação de tratamento de esgotos.

Esse procedimento operacional é bastante simples, mas seus efeitos são benéficos ao tratamento, que fica imune ao recebimento de uma carga concentrada pelo despejo do caminhão diretamente na estação de tratamento de esgotos, que pode causar choque ao tratamento biológico.

4.1.2. São Sebastião - SP

O município de São Sebastião – SP está localizado no litoral norte do Estado de São Paulo. A cidade de São Sebastião está distante aproximadamente

204 km da capital do Estado e no ano de 2006, o município contava com uma população de 76 mil habitantes (WIKIPEDIA⁸⁷).

A Figura 18 apresenta o mapa do Estado de São Paulo com a localização do município de São Sebastião.

Figura 18. Localização do município de São Sebastião.



Fonte: Extraído de WIKIPEDIA⁸⁷

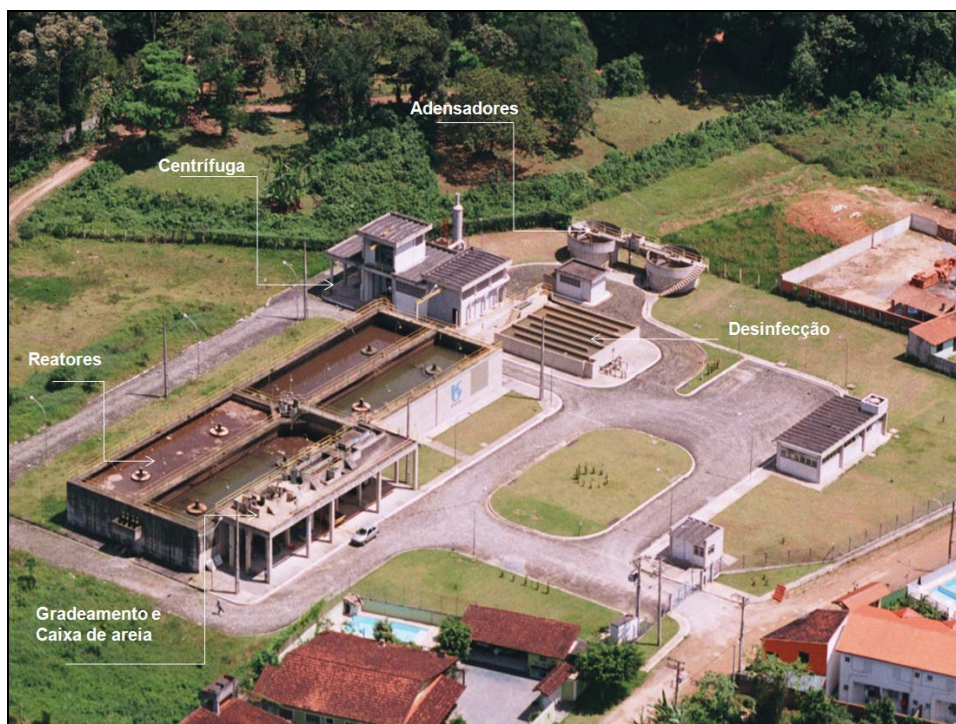
4.1.2.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Boiçucanga – Praia de Boiçucanga – São Sebastião - SP

A Estação de Tratamento de Esgotos de Boiçucanga está localizada no município de São Sebastião – SP, na Praia de Boiçucanga, litoral norte do Estado de São Paulo.

A estação foi concebida para tratar os esgotos pelo processo de lodos ativados em bateladas e recebe uma vazão média de 6 L/s. Além dos esgotos sanitários, a ETE recebe despejos de caminhões autofossa e lixiviado de aterro sanitário, proveniente do Aterro da Baleia, localizado na Praia da Baleia, no município de São Sebastião.

A Figura 19 apresenta uma imagem aérea da ETE Boiçucanga.

Figura 19. Imagem aérea da ETE Boiçucanga



Fonte: Adaptado de SABESP^{III}

A estação entrou em operação no mês de setembro/2003 e lança seus efluentes no Rio Boiçucanga, classe 2.

4.1.2.2. Recebimento de Lixiviados de Aterros Sanitários pela ETE Boiçucanga - São Sebastião - SP

O volume médio de lixiviado recebido para tratamento na ETE Boiçucanga é de 24 m³/d, transportado em caminhões com capacidade de 12 m³. O lixiviado é despejado diretamente na estação, que possui uma pequena

^{III} Documento interno.

estrutura preparada para o recebimento de despejos de efluentes por caminhões.

O Aterro da Baleia está desativado desde o ano de 2005. Estima-se que no período entre 1988 até 2005 o aterro tenha recebido aproximadamente 280.000 t de resíduos para disposição final, sendo que até o ano 2000 os resíduos foram dispostos sobre o solo sem nenhuma proteção. A partir de 2001 o resíduo passou a ser submetido a um tratamento “mecânico-biológico”, sendo disposto posteriormente em células impermeabilizadas e providas de sistemas de drenagem. No ano de 2005 o aterro foi fechado e submetido à realização de obras para recuperação dos sistemas de drenagem do aterro e do sistema de captação do lixiviado gerado, dentre outros (AMBIENTAL LITORAL NORTE⁶, 2008).

Atualmente o lixiviado do aterro é direcionado para uma caixa de acumulação de onde é bombeado para os caminhões e encaminhado para tratamento na ETE Boiçucanga.

Em função da interdição do aterro não foi possível uma autorização para visitar o local.

A Figura 20 apresenta uma imagem de satélite mais próxima do Aterro da Baleia e a Figura 21 mostra uma célula de resíduo do aterro, destacando um canal de drenagem de águas pluviais.

Figura 20. Aterro da Baleia – imagem de satélite.



Fonte: Extraído de *GOOGLE EARTH*³⁴

Figura 21. Sistema de drenagem - Aterro da Baleia.



Fonte: Extraído de VEJA⁸⁴

De acordo com os dados da Cetesb apresentados no Inventário de Resíduos Sólidos⁷, 2008, o IQR obtido pelo Aterro da Baleia variou de 4,0 a 5,3, durante o período de 1997 até 2004.

4.1.3. Fernandópolis – SP

A cidade de Fernandópolis localiza-se na região noroeste do Estado de São Paulo, a uma distância de aproximadamente 554 km da capital.

A Figura 22 apresenta o mapa do Estado de São Paulo com a localização do município de Fernandópolis que conta atualmente com uma população de aproximadamente 63 mil habitantes (WIKIPEDIA⁸⁷).

Figura 22. Localização do município de Fernandópolis.



Fonte: Extraído de WIKIPEDIA⁸⁷

4.1.3.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Fernandópolis - SP

A cidade de Fernandópolis possui duas estações de tratamento de esgotos. A *ETE 1 Fernandópolis* atende aproximadamente 60% da população urbana e a *ETE 2 Fernandópolis* atende aos 40% restantes.

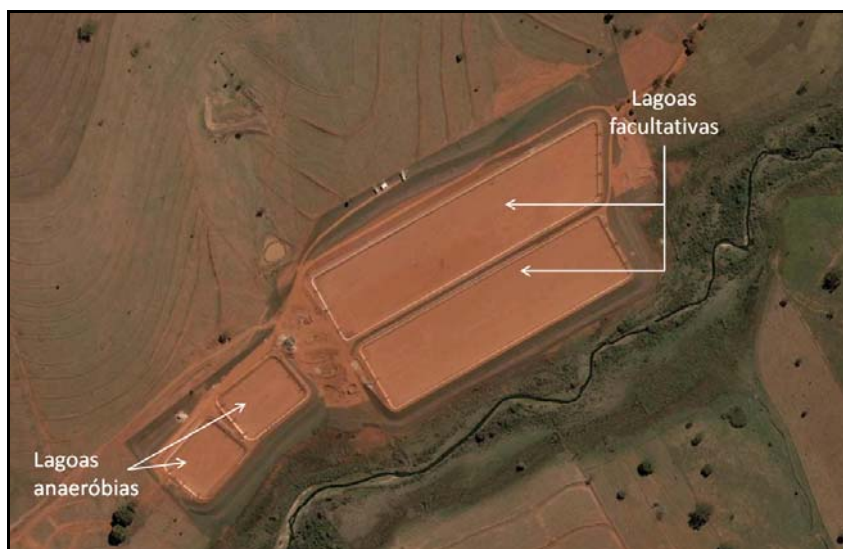
Neste trabalho serão feitas avaliações referentes à *ETE 2 Fernandópolis*, pois é a estação que recebe lixiviados de aterro para tratamento em conjunto com os esgotos sanitários.

A Estação de Tratamento de Esgotos 2 Fernandópolis trata uma vazão média de 45 L/s pelo processo de tratamento de esgotos chamado de sistema australiano, que consiste em lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas.

A Figura 23 apresenta uma imagem de satélite onde é possível visualizar a ETE 2 Fernandópolis. A imagem disponibilizada pelo *GOOGLE EARTH*³⁴ é referente ao mês de abril / 2004. Nessa época a estação ainda não estava em operação e a imagem apresentada permite visualizar a estrutura civil da

ETE, com as lagoas ainda em construção, antes do recebimento dos esgotos para tratamento.

Figura 23. Imagem de satélite da ETE 2 Fernandópolis.



Fonte: Extraído de *GOOGLE EARTH*³⁴

A ETE 2 Fernandópolis entrou em operação em setembro/2005 e lança seus efluentes no Córrego da Aldeia, classe 4.

4.1.3.2. Recebimento de Lixiviados de Aterros Sanitários pela ETE Fernandópolis

A ETE 2 Fernandópolis recebe o lixiviado gerado no Aterro Meridiano, localizado no município de Meridiano, vizinho à Fernandópolis.

O Aterro Meridiano é um aterro privado que está em operação desde o mês de agosto/2006 e recebe em média 80 t/d de resíduos sólidos para

disposição final, provenientes dos municípios de Fernandópolis e Votuporanga.

A Figura 24 apresenta o detalhe da frente de operação do aterro de Meridiano.

Figura 24. Célula de resíduos. Frente de operação do Aterro de Meridiano



Fonte: Extraído de CETESB^{IV}

O lixiviado gerado no aterro é armazenado em duas lagoas de acumulação, apresentadas na Figura 25 e delas é encaminhado para tratamento na ETE 2 Fernandópolis. A estação recebe em média 36 m³/semana de lixiviado, que são lançados no sistema de esgotamento sanitário de Fernandópolis em um poço de visita distante aproximadamente 2 km da estação, de modo a promover a mistura do lixiviado com os esgotos sanitários antes da chegada à estação de tratamento.

^{IV} Documento interno.

Figura 25. Vista parcial das lagoas de lixiviado ao Aterro Meridiano.



4.1.4. Região Metropolitana de São Paulo - SP

A Região Metropolitana de São Paulo – RMSP - que também é conhecida como Grande São Paulo reúne 39 municípios do Estado que em conjunto com a capital paulista formam uma mancha urbana contínua. Com 19.889.559 habitantes, é considerado o maior centro urbano do Brasil e da América, e a sexta maior área urbana do mundo (WIKIPEDIA⁸⁷).

A Figura 26 apresenta o mapa do Estado de São Paulo com a localização da RMSP.

Figura 26. Localização da RMSP



Fonte: Extraído de WIKIPEDIA⁸⁷

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp é a responsável pela prestação dos serviços de saneamento na maior parte dos municípios que integram a RMSP, conforme mostra a Figura 27.

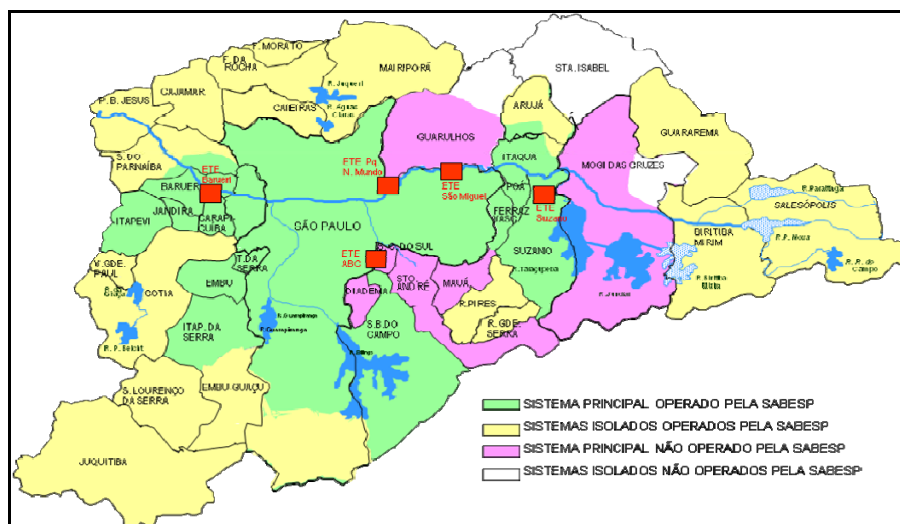
Mesmo alguns municípios não operados, como Mogi das Cruzes, mandam parte dos esgotos gerados nos municípios para tratamento nas estações do sistema integrado da RMSP.

O sistema de tratamento de esgotos da RMSP está estruturado em um sistema principal ou integrado, composto por cinco grandes estações de tratamento, além de vários sistemas isolados localizados em municípios distintos da RMSP.

O sistema integrado de esgotos da RMSP apresenta uma capacidade nominal instalada de 18 m³/s, sendo composto pelas seguintes estações:

- Estação de Tratamento de Esgotos ABC = 3,0 m³/s
- Estação de Tratamento de Esgotos Barueri = 9,5 m³/s
- Estação de Tratamento de Esgotos Parque Novo Mundo = 2,5 m³/s
- Estação de Tratamento de Esgotos São Miguel = 1,5 m³/s
- Estação de Tratamento de Esgotos Suzano = 1,5 m³/s

Figura 27. Sistemas de Esgotos da RMSP

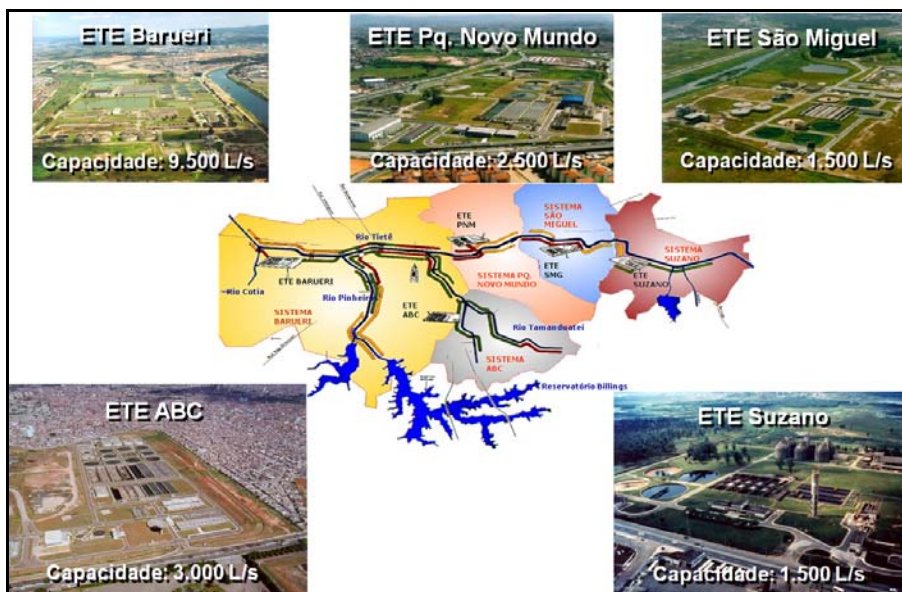


Fonte: Extraído de SABESP, 2008^v

^v Documento interno

O Sistema integrado de esgotos da RMSP, conforme mostra a Figura 28, possui cinco estações de tratamento de esgotos que empregam o processo de lodos ativados.

Figura 28. Sistema principal de esgotos da RMSP



Fonte: Extraído de SABESP, 2008⁵

O Projeto Tietê, iniciado em 1992, tem como objetivo a melhoria da qualidade da água da bacia do Rio Tietê na Região Metropolitana de São Paulo, por meio da ampliação da infraestrutura de coleta, afastamento e tratamento de esgoto.

A 1ª e a 2ª etapas do programa colaboraram para que a coleta dos esgotos produzidos na Região Metropolitana de São Paulo subisse de 66% para 84%, e o tratamento dos esgotos coletados saltasse de 24% para 70%. Atualmente, cerca de 13 milhões de habitantes da Região Metropolitana têm esgoto coletado e mais de oito e meio milhões têm esgoto tratado. A 2ª etapa do projeto possibilitou a conclusão das interligações do sistema Pinheiros, elevando em conjunto com outras intervenções, em 4.000 L/s a vazão dos esgotos tratados na RMSP. A 3ª etapa do programa inclui 600 km de coletores tronco e redes coletoras de esgoto, bem como a ampliação da capacidade da ETE Barueri

para 12,5 m³/s. A ampliação da estação está prevista para 16 m³/s em etapas futuras do Projeto Tietê.

Atualmente, todas as estações de tratamento de esgotos que compõem o sistema principal de esgotos da RMSP recebem lixiviado para tratamento conjunto. De janeiro a novembro de 2009 foram recebidos 1.947.327 m³ de lixiviados de aterros por essas estações. Desse montante, 80% foi encaminhado para a ETE Barueri, o que corresponde a aproximadamente 4.700 m³/d. Por essa razão a ETE Barueri foi escolhida para compor o presente estudo.

4.1.4.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri - SP

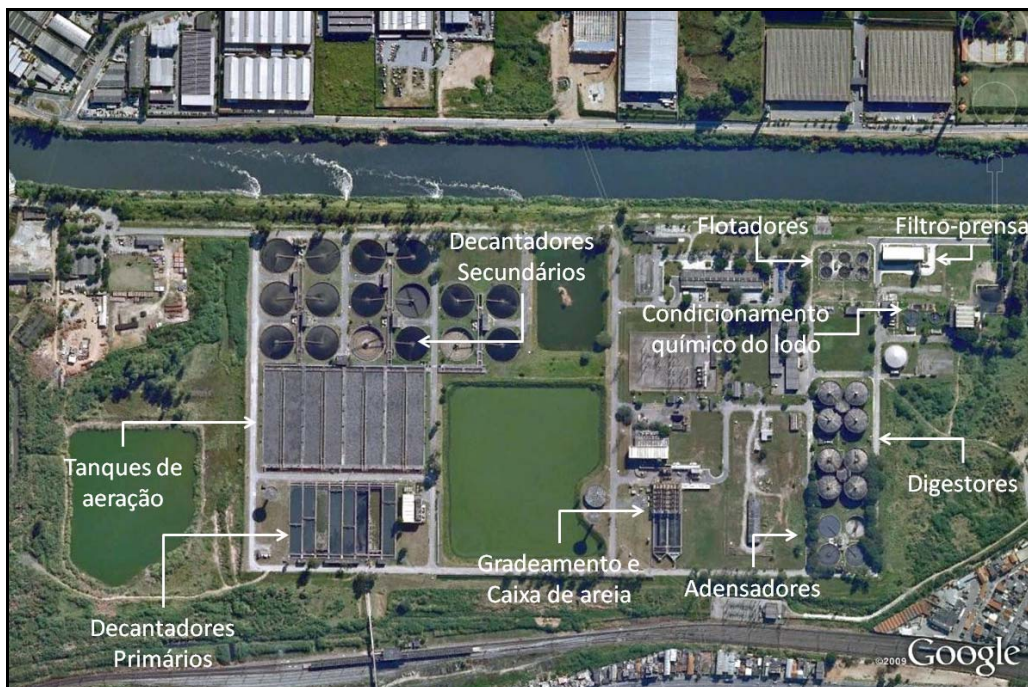
A Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri está localizada no município de Barueri - SP que pertence à Região Metropolitana de São Paulo – RMSP. A ETE Barueri trata parte dos esgotos gerados na cidade de São Paulo, e também recebe os esgotos de Jandira, Itapevi, Barueri, Carapicuíba, Osasco, Taboão da Serra e de parte dos municípios de Cotia e Embu.

A Figura 29 mostra a imagem de satélite da ETE Barueri. Nela foram indicados os componentes da estação para facilitar a identificação das etapas do processo de tratamento.

A Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri foi concebida para tratar os esgotos pelo processo de lodos ativados convencional e recebe atualmente uma vazão média de 10 m³/s.

A ETE Barueri está em operação desde maio/1988 e lança seus efluentes no Rio Tietê, classe 4.

Figura 29. Imagem de satélite – ETE Barueri.



Fonte: Extraído de *GOOGLE EARTH*³⁴

4.1.4.2. Recebimento de Lixiviados de Aterros Sanitários pela ETE Barueri

A ETE Barueri recebe um grande volume de lixiviado proveniente de aterros municipais e privados. O lixiviado é transportado por caminhão até a Estação Elevatória de Esgotos – EEE - Piqueri, onde funciona um Posto de Recebimento de efluentes por caminhão, apresentado na Figura 30.

O Posto possui um pátio com vários pontos para descarte dos efluentes dos caminhões. Os efluentes descartados são coletados por uma rede interna que descarrega em um ponto a jusante da elevatória, interligado ao sistema de interceptação. O lixiviado e demais efluentes descartados no Posto de

recebimento são conduzidos por gravidade, em conjunto com os esgotos sanitários, até a ETE Barueri.

Figura 30. EEE Piqueri. Posto de Recebimento de Efluentes por Caminhão.



Fonte: Extraído de *GOOGLE EARTH*³⁴

Atualmente existem 26 aterros sanitários cadastrados para descartar os lixiviados gerados no Posto de Recebimento de Efluentes do Piqueri e a vazão média dos lixiviados recebidos no Posto em 2009 (janeiro a novembro) foi de 4.700 m³/d. Dos 26 aterros cadastrados, 20 aterros compareceram ao Posto para realizar descartes.

Os aterros que recebem ou já receberam os resíduos domésticos coletados pela Prefeitura Municipal de São Paulo foram os responsáveis pelos maiores volumes de lixiviados encaminhados para a ETE Barueri em 2009, da seguinte forma:

- Aterro São João (operando atualmente como transbordo), com 1.126 m³/d.
- Aterro Essencis Soluções Ambientais S.A. - CTR Caieiras, com 878 m³/d.
- Aterro CDR Pedreira Centro de Disposição de Resíduos Ltda, com 801 m³/d.
- Aterro Bandeirantes (encerrado), com 777 m³/d.

A Figura 31 apresenta a imagem de satélite desses aterros.

Figura 31. Vista dos aterros com maior contribuição de lixiviado para a ETE Barueri



Fonte: Adaptado de *GOOGLE EARTH*³⁴

4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS

Para o desenvolvimento dos estudos foram utilizados dados primários e secundários.

4.2.1. Dados Secundários

As informações sobre os aterros foram obtidas a partir dos dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, referentes ao cadastro dos aterros, sendo também utilizado como fonte de consulta o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares⁷, 2008, publicado pela Cetesb. Foram levantadas informações complementares sobre os aterros mediante consultas às áreas operacionais dos mesmos.

As informações sobre o volume dos lixiviados dos aterros encaminhados para tratamento foram obtidas na Companhia de Saneamento Básico do Estado Paulo - Sabesp, que também forneceu alguns laudos de caracterização dos lixiviados.

O Departamento de Limpeza Urbana – Limpurb – da Prefeitura Municipal de São Paulo forneceu dados sobre o aterro São João, dentre eles o volume de lixiviado, as taxas de precipitação, além de alguns dados de caracterização dos lixiviados dos aterros sob sua responsabilidade.

Os dados operacionais e de monitoramento das estações de tratamento de esgotos foram fornecidos pela Sabesp. Foram também consultados vários relatórios internos da Companhia, como Planos Diretores e dados de projeto das estações de tratamento de esgotos.

São considerados dados básicos das ETEs para o presente estudo: dados operacionais relativos à caracterização do afluente e efluente das estações de tratamento de esgotos, vazão tratada, características físicas das estações de tratamento de esgotos, dentre outros.

Para avaliar a capacidade de recebimento de cargas nas estações de tratamento de esgotos foram levantadas informações sobre a projeção do crescimento populacional, além de dados complementares em instituições / órgãos / fontes oficiais, tais como IBGE, SEADE, SNIS, etc.

4.2.2. Obtenção de Dados Primários

Para o desenvolvimento das avaliações propostas neste trabalho, além dos dados secundários levantados, foram realizadas coletas e análises dos lixiviados dos aterros, e também a caracterização das estações de tratamento avaliadas, mediante coleta e análise dos esgotos na entrada e na saída das estações (afluente e efluente das ETEs).

As coletas de amostras nas estações de tratamento de esgotos foram realizadas em datas escolhidas de modo a representar os períodos de chuva e seca, conforme a Tabela 12, a seguir.

Tabela 12. Coletas realizadas nas estações de tratamento de esgotos

ETE	Data das coletas		Pontos coletados
Fernandópolis	13/04/2009	04/08/2009	Afluente e Efluente
Tupã	24/02/2009	17/08/2009	Afluente e Efluente
Boiçucanga	19/02/2009	16/06/2009	Afluente e Efluente

Para as avaliações referentes à ETE Barueri foram utilizados apenas dados secundários, pois a estação, em função de seu porte, dispõe de uma grande quantidade de dados de monitoramento, que inclui a caracterização completa mensal da ETE.

A Tabela 13 apresenta o calendário de coletas do lixiviado dos aterros sanitários no qual também se buscou contemplar os meses de chuva e seca.

Tabela 13. Realização de coletas dos lixiviados dos aterros sanitários

Aterro	Data das coletas		Ponto de coleta
	Chuva	Seca	
Bandeirantes	24/03/2009	02/06/2009 e 01/07/2009	Caminhão
Santo Amaro	18/03/2009	*	Caminhão
São João	11/03/2009	*	Caminhão
Vila Albertina	03/03/2009	14/07/2009	Caminhão
Caieiras	02/02/2009	08/06/2009 ⁶	Caminhão
Fernandópolis	13/04/2009	04/08/2009	Lagoa do aterro
Tupã	24/02/2009	17/08/2009	Lagoa do aterro
Boiçucanga	19/02/2009	16/06/2009	Caminhão

* Análises não realizadas

Os parâmetros analisados, a metodologia de ensaio e o Limite de Detecção do Método – LDM - são apresentados na Tabela 14. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Controle Sanitário da Unidade de Negócio Centro da Sabesp.

Tabela 14. Parâmetros analisados, limites de detecção do método e métodos analíticos*

Análise	Método	LDM
Arsênio	Espec. Emissão Plasma	0,01
Cádmio	Espec. Emissão Plasma (Efluentes)	0,01
Carbono Orgânico Total	NPOC1	0,9
Chumbo	Espec. Emissão Plasma (Efluentes)	0,025
Cianeto	Colorimétrico	0,05
Cloreto	Colorimétrico	1
Cobre	Espec. Emissão Plasma (Efluentes)	0,04
Condutividade	Eletrométrico	0,1
DBO (5 dias)	Respirométrico	5
DQO	Titulométrico Refluxo Aberto SMEWW 5220 B	4,4

"continua"

Tabela 14. Parâmetros analisados, limites de detecção do método e métodos analíticos*

“continuação”

Análise	Método	LDM
Fenol	Colorimétrico	0,08
Ferro	Espec. Emissão Plasma (Efluentes)	0,25
Fósforo Total	Colorimétrico	0,094
Manganês	Espec. Emissão Plasma	0,01
Mercúrio	Gerador de Hidretos (Efluentes)	0,003
Molibdênio	Espec. Emissão Plasma (Efluentes)	0,2
Níquel	Espec. Emissão Plasma (Efluentes)	0,05
Nitrito+Nitrato	Colorimétrico	0,05
Nitrogênio Amoniacal	Colorimétrico	0,08
Nitrogênio Total Kjeldahl	Colorimétrico	0,059
Óleos e Graxas	Gravimétrico - SMEWW	1,65
pH	Eletrométrico - SMEWW - 4500-H+B	2
Potássio	Espec. Emissão Plasma (Efluentes)	1,35
Sólidos em Suspensão Totais	Gravimétrico - SMEWW - 2540 D	2,2
Sólidos Suspensos Fixos	Gravimétrico - SMEWW	
Sólidos Suspensos Voláteis	Gravimétrico - SMEWW	
Sulfato	Fotométrico	0
Sulfeto	Titulométrico	
Zinco	Espec. Emissão Plasma (Efluentes)	0,1

Fonte: Laboratório de Controle Sanitário da Unidade de Negócio Centro da Sabesp

* As análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - SMEWW - 21ª Edição, 2005.

4.3. CRITÉRIOS E MODELOS EMPREGADOS PARA OS ESTUDOS DE VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO

Para verificar a viabilidade do tratamento do lixiviado de aterros em conjunto com os esgotos sanitários nas estações do sistema público de esgotos,

foram feitas avaliações em relação à capacidade dos sistemas, contemplando a proteção aos processos biológicos de tratamento, considerando-se os seguintes aspectos:

- Processos biológicos anaeróbios
- Processos biológicos aeróbios
- Conformidade legal do efluente final gerado na estação
- Requisitos de qualidade para a utilização do lodo na agricultura

Para avaliar a capacidade disponível para o recebimento do lixiviado dos aterros nas estações de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização (sistema australiano), lagoas aeradas e sistemas de lodos ativados por bateladas, foram utilizados os critérios de dimensionamento de sistemas de tratamento adotados por VON SPERLING^{85,86} (1996, 2002), bem como os parâmetros de projeto das estações e as normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Para a estação de tratamento de Barueri, que emprega o processo de tratamento por lodos ativados convencional, foi adotado o modelo matemático TOXCHEM⁺ descrito anteriormente no item 3.5.5.2., que simula uma estação de tratamento de esgotos e possibilita avaliar o comportamento dos poluentes em cada unidade que compõe o sistema de tratamento. A partir dessa avaliação é possível estabelecer qual a capacidade máxima da estação de tratamento para o recebimento de cargas.

Esse modelo matemático permite realizar simulações para vários compostos voláteis e também para os metais Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel e Zinco. Neste trabalho o modelo foi empregado para avaliar o comportamento dos metais na ETE Barueri.

4.4. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA PRODUÇÃO DE LIXIVIADO NOS ATERROS

A avaliação da influência das chuvas no volume dos lixiviados gerados nos aterros sanitários foi também observada neste trabalho, pois o volume dos lixiviados encaminhados para as estações de tratamento de esgotos tende a ser muito maior em função das chuvas, especialmente em aterros desprovidos de sistemas de proteção adequados.

Essa é uma informação importante a ser considerada tanto no dimensionamento de sistemas exclusivos de tratamento de lixiviados quanto no caso do tratamento conjunto, devendo ser observada com a finalidade de se evitar choques ou desequilíbrios nos processos de tratamento.

Atualmente, verifica-se uma forte tendência voltada para o aproveitamento dos gases do aterro para a produção de energia elétrica e geração de créditos de carbono. Os aterros concebidos com essa finalidade são planejados para operar executando a cobertura das células de resíduos, utilizando mantas impermeáveis de polietileno de alta densidade – PAD ou similares. Nesses casos, a influência das chuvas sobre o volume do lixiviado é nula.

Nos aterros providos de sistemas de drenagem de águas pluviais bem executados, numa escala de zero a dez, pode-se dizer que a influência das chuvas no lixiviado gerado seja equivalente a cinco. Em compensação, nos aterros desprovidos de sistemas de drenagem, ou com problemas na sua manutenção, a influência das chuvas sobre a geração de lixiviados pode ser considerada igual a dez.

Para mensurar a variação da produção do lixiviado em função da precipitação será calculado o coeficiente de correlação de Pearson (ρ), que permite medir o grau da correlação entre duas variáveis lineares quaisquer,

neste caso, o volume de lixiviado com a precipitação (FONSECA E MARTINS³⁰, 1980)

Este coeficiente varia entre os valores -1 e 1, indicando se a correlação é positiva ou negativa, e também se a correlação é forte ou fraca, sendo que:

- Para $(\rho) = 1$, a correlação é perfeita (forte) e positiva entre as variáveis, que são diretamente proporcionais
- Para $(\rho) = -1$, a correlação é perfeita (forte) e negativa entre as variáveis, que são inversamente proporcionais
- Para $(\rho) = 0$, não há correlação linear, as variáveis são independentes, ou seja, quanto mais próxima de zero, mais fraca é a correlação.

O coeficiente de correlação de Pearson calcula-se segundo a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

Onde:

ρ é o Coeficiente de correlação

x_i e y_i são as variáveis a serem comparadas

\bar{x} = Média aritmética da variável x_i , *calculada da seguinte forma:*

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$$

\bar{y} = Média aritmética da variável y_i , *calculada da seguinte forma:*

$$\bar{y} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n y_i$$

4.4.1. O Caso Demonstrativo do Aterro São João – São Paulo - SP

Para avaliar as variações da produção de lixiviado pela influência das chuvas foram adotados os dados de precipitação e produção de lixiviado observados para o aterro São João.

O aterro São João (Figura 32) foi escolhido, pois no ano de 2008 foi o aterro que enviou a maior quantidade de lixiviado para tratamento na ETE Barueri, correspondente a aproximadamente 400.000 m³. O Departamento de Limpeza Urbana - Limpurb - do Município de São Paulo disponibilizou a série histórica de dados relativa ao ano de 2008, com registros diários da precipitação e da vazão do lixiviado gerado no aterro, medida por uma calha Parshall. Também foram disponibilizados os valores médios mensais observados no ano de 2009.

Ressalta-se que os dados sobre a precipitação observada no Aterro São João foram obtidos por um pluviômetro instalado no próprio aterro sanitário.

A correlação entre a precipitação e o volume de lixiviado é um dado relativo, variável para cada aterro, pois está sujeita à interferência de vários fatores estruturais e operacionais como o escoamento superficial, a evaporação, a capacidade de retenção de umidade pelas células de aterro, lembrando-se que os aterros sanitários são normalmente providos de sistemas de drenagem da água de chuva com a finalidade de evitar que a água infiltre pelas células de resíduos.

Figura 32. Aterro São João.

Fonte: Extraído de ECOURBIS²⁶

O Aterro São João, em operação no ano de 1992, está localizado na Estrada de Sapopemba km 33, em São Mateus e foi concebido como um aterro sanitário, adotando as melhores técnicas disponíveis na época para proteção ao meio ambiente, com identificação e isolamento das nascentes e veios d'água locais, execução de impermeabilização com solo compactado e manta de PVC de 2,00 mm, drenos para chorume e gases. Posteriormente foram adotadas as mantas de alta densidade - PAD para a impermeabilização da base das células. O aterro conta com equipamentos para o acompanhamento da estabilidade do maciço de lixo, dos níveis de água e dos dados pluviométricos, conforme LIMPURB^{VI}, 2009.

No dia 13 de agosto de 2007 houve um desabamento em algumas células no aterro. Em função deste acidente, o aterro que recebia cerca de 6.000 toneladas diárias de resíduos para disposição final está operando atualmente como transbordo, recebendo cerca de 1.000 toneladas diárias de resíduos sólidos.

^{VI} Informações da área operacional

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho foram organizados em quatro blocos. O primeiro se refere às avaliações da viabilidade do tratamento dos lixiviados dos aterros em conjunto com os esgotos sanitários, nas estações de tratamento de esgotos de Tupã, Boiçucanga, Fernandópolis e Barueri.

Esse primeiro bloco apresenta a descrição das ETEs, a caracterização dos esgotos das estações de tratamento e dos lixiviados dos aterros, assim como uma avaliação dos impactos desse recebimento pela ETE e algumas considerações sobre tratamento conjunto em cada estação.

O segundo bloco discute algumas alternativas para viabilizar o recebimento de lixiviados de aterros sanitários em estações de tratamento de sistemas públicos de esgotos, de maneira geral.

O terceiro bloco mostra as avaliações sobre a influência da precipitação sobre o volume dos lixiviados gerados nos aterros. Os resultados apresentados se referem ao aterro São João, escolhido em função das condições de contorno especificadas no item 4.4.1. – página 129.

Finalmente, no quarto bloco são discutidos alguns aspectos observados no Inventário de Resíduos Sólidos¹⁵, 2008 publicado pela Cetesb, no que se refere aos Índices de Qualidade de Aterros de Resíduos.

5.1. VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO NA ETE TUPÃ - TUPÃ - SP

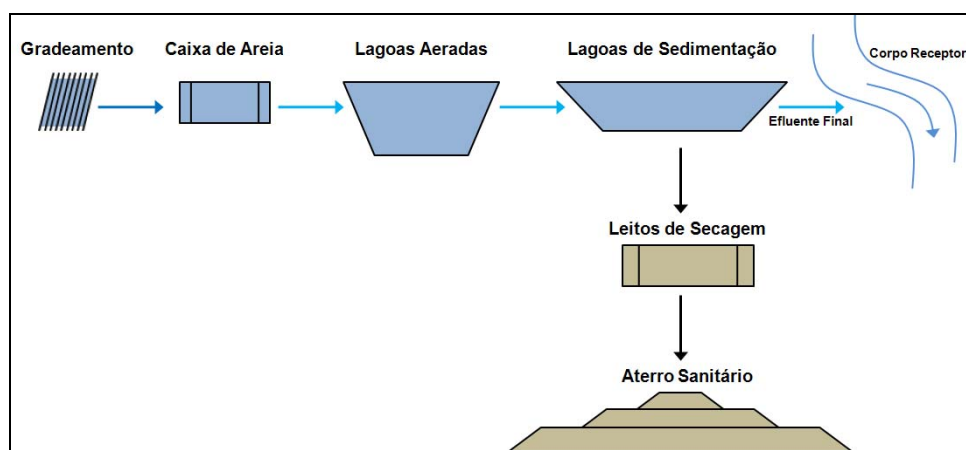
Para verificar a viabilidade do tratamento conjunto na ETE Tupã realizou-se inicialmente a avaliação da conformidade legal do efluente da estação.

A verificação da capacidade da estação para o recebimento das cargas adicionais provenientes do lixiviado foi feita mediante uma comparação entre a potência instalada dos aeradores da estação e a necessidade de oxigênio para suprir a demanda do tratamento biológico. Em relação ao lodo gerado, foi avaliada a capacidade da lagoa de sedimentação e dos leitos de secagem.

5.1.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Tupã - SP

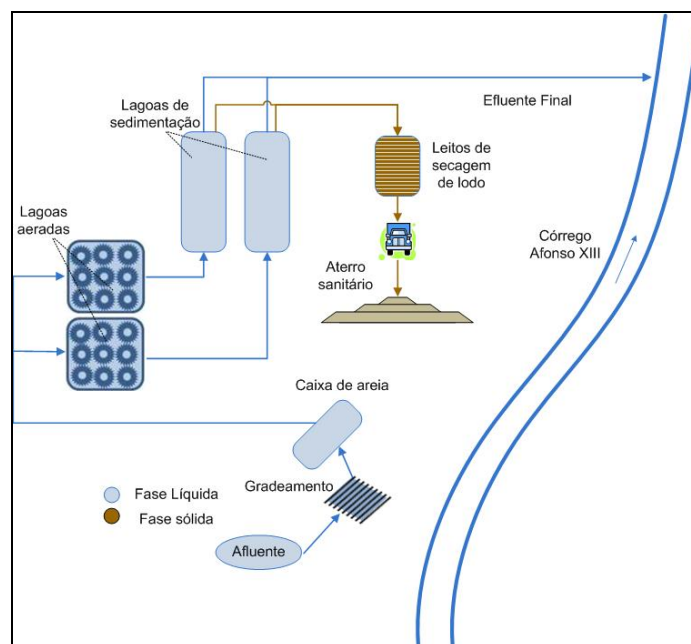
A Estação de Tratamento de Esgotos de Tupã, conforme esquema apresentado na Figura 33, foi concebida para tratar os esgotos pelo processo de lagoas aeradas seguidas de lagoas de sedimentação.

Figura 33. Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos de Tupã.



A Figura 34 apresenta uma planta esquemática da ETE Tupã, que é composta pelas unidades descritas a seguir, conforme projeto da estação⁴².

Figura 34. Planta esquemática da ETE Tupã - SP



a) Tratamento preliminar (Figura 35)

- Grade grossa
- Grade média mecanizada
- Desarenador mecanizado

Figura 35. Visa do gradeamento e caixa de areia da ETE Tupã - SP



b) Fase Líquida da ETE Tupã (Figura 36)

A estação de tratamento de esgotos de Tupã emprega o processo biológico de tratamento por lagoas aeradas seguidas de lagoas de estabilização.

Figura 36. Vista parcial das lagoas aeradas e de sedimentação da ETE Tupã



As lagoas aeradas apresentam as seguintes características:

- Número de unidades: 2 lagoas aeradas
- Comprimento: 74,62 m
- Largura: 74,62 m
- Profundidade útil: 3,5 m
- Volume útil da lagoa: 19.487 m³
- 18 aeradores de 40 HP (9 aeradores em cada lagoa)

As lagoas de sedimentação apresentam as seguintes características:

- Número de unidades: 2 lagoas de sedimentação
- Comprimento: 161 m
- Largura: 54 m
- Profundidade útil: 3,18 m

c) Fase sólida (Figura 37)

A fase sólida da ETE Tupã é composta por leitos de secagem de lodo. Os leitos de secagem apresentam as seguintes características:

- Número de leitos de secagem: 20 células
- Comprimento: 16 m
- Largura: 8 m

Figura 37. Vista parcial dos leitos de secagem de lodo da ETE Tupã - SP



5.1.2. Avaliação da Conformidade Legal do Efluente da ETE

5.1.2.1. Caracterização dos Esgotos da ETE Tupã - SP

Na Tabela 15 são apresentados os resultados das análises realizadas para o afluente e o efluente da ETE Tupã, considerando-se os parâmetros DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal e pH.

Tabela 15. Caracterização da ETE Tupã: DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal e pH

Data	Ponto	DBO mg/L O ₂	DQO mg/L	Nitrogênio Amoniacal mg/L N	Fósforo Total mg/L P	pH
17/07/08*	Afluente	680	1.269	...	...	7,20
	Efluente	58	272	46,60	...	7,32
27/11/08*	Afluente	620	1.026	...	...	7,23
	Efluente	56	302	53,80		7,23
24/02/09**	Afluente	850	1.519	25,82	9,23	5,92
	Efluente	40	268	26,32	10,06	7,40
24/03/09*	Afluente	640	1.156	...	...	7,08
	Efluente	60	243	51,80	...	7,46
16/07/09*	Afluente	540	1.444	...	...	7,30
	Efluente	35	223	...	...	7,56
17/08/09**	Afluente	540	662	83,95	14,16	7,48
	Efluente	55	187	38,75	9,92	7,62

Notas:

(*)Dados operacionais da ETE. Fonte: SABESP⁶⁷ (2008 e 2009)

(**)Dados levantados nesta pesquisa

Observa-se que o mês de Fevereiro/09 apresentou uma elevada concentração de DBO afluente, acima da faixa de valores observada no período avaliado. O pH também está baixo, permitindo inferir que no dia da coleta a estação poderia estar sob a influência de alguma contribuição proveniente de fontes com características não domésticas. De acordo com informações da área operacional a ETE Tupã recebe os efluentes gerados por um laticínio local.

A Tabela 16 também apresenta os resultados obtidos nas análises para a caracterização da ETE Tupã em relação os demais parâmetros avaliados.

Os dados obtidos para o efluente tratado da estação atendem as exigências da Resolução Conama nº 357/05⁵¹ para lançamento em corpos hídricos, para os parâmetros amostrados

Tabela 16. Resultados da caracterização do esgoto afluente e efluente da ETE Tupã – vários parâmetros

Local	Unidade	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
		24/02/09		17/08/09	
Arsênio	mg/L As	0,015	< 0,01	< 0,01	0,01
Cádmio	mg/L Cd	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01
Carbono Orgânico Total	mg/L	39.649	13.992	23.703	11.981
Chumbo	mg/L Pb	0,03	< 0,025	0,04	0,04
Cianeto	mg/L CN	< 0,0054	< 0,0054	0,006	< 0,0054
Cloreto	mg/L	64	53	68	53
Cobre	mg/L Cu	< 0,04	< 0,04	0,04	< 0,04
Condutividade	mg/L Cr	925,5	923	1393	1026
Fenol	C6H5OH	0,089	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Ferro	mg/L Fe	2,5	< 0,25	2,5	0,5
Fósforo Total	mg/L P	9,23	10,06	14,16	9,92
Manganês	mg/L Mn	0,05	0,03	0,1	< 0,05
Mercúrio	mg/L Hg	< 0,0035	< 0,0035	< 0,0035	< 0,0035
Molibdênio	mg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Níquel	mg/L Ni	< 0,05	< 0,05	0,05	< 0,05
Nitrito+Nitrato	mg/L N	0,74	0,6	0,55	0,38
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	25,82	26,32	83,95	38,75
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L N	45,05	45,37	107,01	60,42
Óleos e Graxas	mg/L	163	< 1,65	84	46
pH	UpH	5,92	7,40	7,48	7,62
Potássio	mg/L K	23,2	17,1	21,33	20,3
Sólidos em Suspensão Totais	mg/L	400	196	136	164
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	40	36	12	40

“continua”

Tabela 16. Resultados da caracterização do esgoto afluente e efluente da ETE Tupã – vários parâmetros*“continuação”*

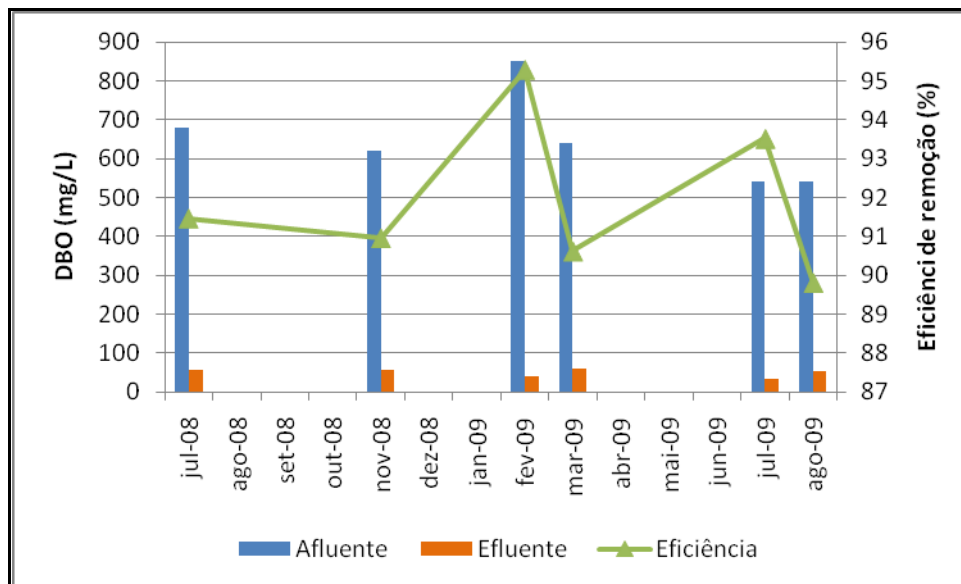
Local	Unidade	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
		24/02/09	17/08/09	17/08/09	17/08/09
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	360	160	124	124
Sulfato	mg/L SO ₄	40	38	49	108
Sulfeto	mg/L S	0,152	0,059	0,186	0,259
Zinco	mg/L Zn	0,148	< 0,1	0,19	< 0,1

Nota: Dados levantados nesta pesquisa

Comparando-se os resultados encontrados para os esgotos de Tupã (Tabela 15 e Tabela 16), com os valores da Tabela 6 – página 71, que apresenta os valores típicos para esgotos domésticos verifica-se que o esgoto de Tupã tem características de um esgoto forte. Apenas o parâmetro Carbono Orgânico Total – COT – apresentou valores muito acima do sugerido, o que pode ser atribuído ao próprio lixiviado recebido pela estação.

5.1.2.2. Eficiência de Remoção de DBO

A Figura 38 apresenta a eficiência de remoção de DBO. De acordo com a legislação ambiental vigente, essa eficiência deve ser maior do que 80% ou a concentração da DBO do efluente da estação deve ser inferior a 60 mg/L. Nas avaliações realizadas as duas condições são atendidas pela ETE Tupã.

Figura 38. ETE Tupã: Eficiência de remoção de DBO

Nota-se que os dados obtidos para a DBO não têm frequência mensal. Deste modo, conforme mostra a Figura 38, a interligação entre os pontos que representam a eficiência de remoção é uma inferência.

5.1.3. Avaliação do Impacto na ETE de Tupã Decorrente do Recebimento de Lixiviado

5.1.3.1. Caracterização dos Lixiviados Recebidos para Tratamento na ETE Tupã - SP

A caracterização do lixiviado do aterro de Tupã está apresentada na Tabela 17. Os valores de DBO encontrados para o lixiviado em Tupã foram de 600 mg/L em fevereiro e de 100 mg/L em agosto de 2009. Essas concentrações são baixas para um aterro em operação há menos de cinco anos, como é o caso de Tupã. Os valores adotados no projeto do aterro são bastante

superiores, nos quais a carga de DBO estimada é de 470 kg DBO/d, correspondendo a uma concentração de aproximadamente 10.000 mg/L^{VII}.

Tabela 17. Resultados da caracterização do lixiviado do aterro de Tupã

Local	Unidade	24/02/09	17/08/09
Arsênio	mg/L As	0,017	< 0,01
Cádmio	mg/L Cd	< 0,01	0,01
Carbono Orgânico Total	mg/L	54.453	48.971
Chumbo	mg/L Pb	< 0,025	0,17
Cianeto	mg/L CN	< 0,0054	0,035
Cloreto	mg/L	274	440
Cobre	mg/L Cu	< 0,04	< 0,04
Condutividade	mg/L Cr	531	4480
DBO (5 dias)	mg/L O ₂	600	100
DQO	mg/L	1453,15	738,62
Fenol	C ₆ H ₅ OH	< 0,08	< 0,08
Ferro	mg/L Fe	1,7	6,4
Fósforo Total	mg/L P	0,16	1,88
Manganês	mg/L Mn	0,1	0,22
Mercúrio	mg/L Hg	< 0,0035	< 0,0035
Molibdênio	mg/L	< 0,2	< 0,2
Níquel	mg/L Ni	< 0,05	0,13
Nitrito+Nitrato	mg/L N	3,48	0,44
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	66	24,59
Óleos e Graxas	mg/L	< 1,65	38
pH	UpH	6,93	9,16
Potássio	mg/L K	23,8	556,2

“continua”

^{VII} Extraído de Relatório de Caracterização e destinação do Chorume do Aterro Sanitário de Tupã. Fornecido pela Prefeitura Municipal de Tupã.

Tabela 17. Resultados da caracterização do lixiviado do aterro de Tupã*“continuação”*

Local	Unidade	24/02/09	17/08/09
Sólidos em Suspensão Totais	mg/L	186,7	204
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	26,7	52
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	160	152
Sulfato	mg/L SO ₄	3	25
Sulfeto	mg/L S	0,502	0,312
Zinco	mg/L Zn	< 0,1	< 0,1

Nota: Dados levantados nesta pesquisa

Na Tabela 18 estão os valores médios de precipitação no município para o ano de 2009, correspondente ao período de coleta de amostras do lixiviado.

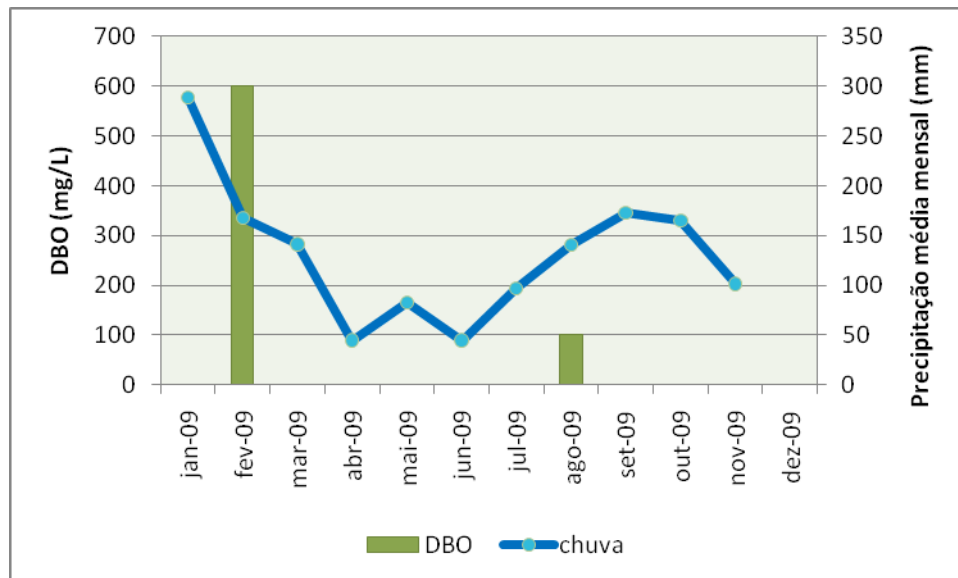
Tabela 18. Valores médios de precipitação no município de Tupã (mm)

Mês	Dias de Chuva	Chuva Total
jan-09	17	289
fev-09	15	167
mar-09	9	142
abr-09	5	45
mai-09	7	83
jun-09	11	45
jul-09	12	97
ago-09	7	140
set-09	15	173
out-09	13	165
nov-09	10	102

Fonte: Adaptado de CIAGRO²⁰

A Figura 39 apresenta a variação da DBO com a precipitação, verificando-se, nas duas amostras analisadas, o efeito das chuvas na diluição do lixiviado gerado.

Figura 39. Variação da DBO com a precipitação – Lixiviado do aterro de Tupã



Observa-se que em agosto/09, quando foram realizadas as coletas relativas ao período seco, o índice pluviométrico mensal em Tupã chegou a 145 mm, de acordo com as informações do Centro integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO²⁰ do Governo do Estado de São Paulo.

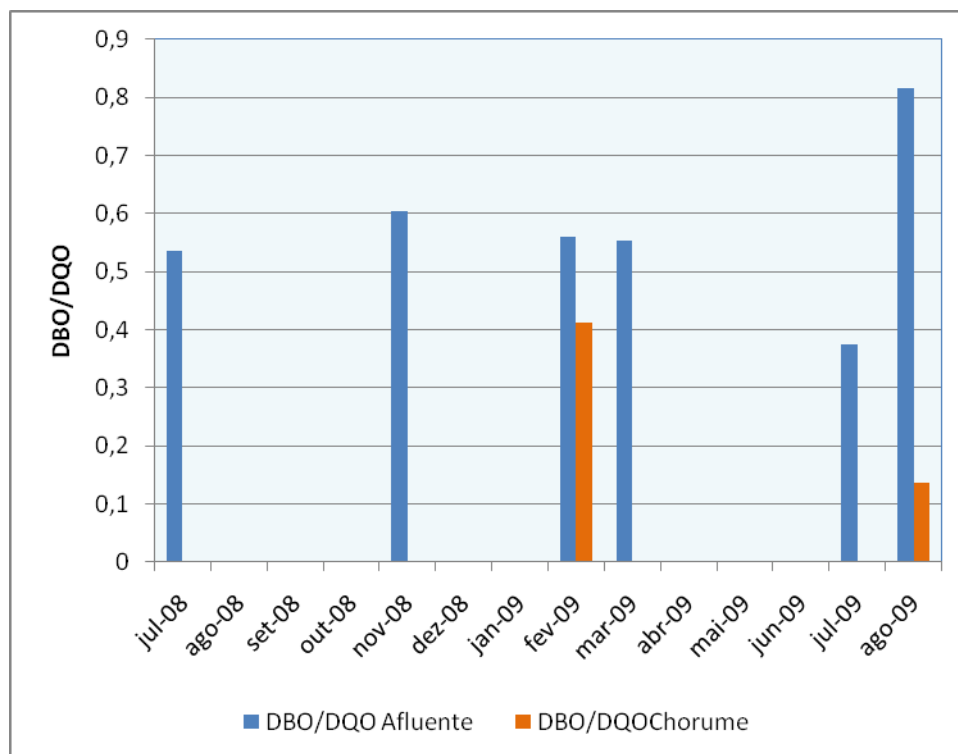
A série histórica para o mês de agosto, disponibilizada pelo Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo⁷⁸, no período de 1942 a 2000, é de 29 mm, ou seja, a coleta realizada no mês de agosto não foi representativa do período seco.

A Figura 40 mostra a relação DBO/DQO para o esgoto afluente à estação e para o lixiviado.

Analisando-se a relação DBO/DQO obtida para o lixiviado no mês de agosto/09, verifica-se que ela é muito baixa, característica de aterro velho, o

que não corresponde à realidade, denotando mais uma vez, apenas a influência das chuvas no período.

Figura 40. Variação da biodegradabilidade do afluente da ETE Tupã e do lixiviado



A relação DBO/DQO para o esgoto afluente à estação em agosto/09 apresentou um valor muito acima dos valores obtidos nos monitoramentos anteriores, porém, o resultado da análise da DQO do esgoto nessa coleta foi muito baixo, da ordem de 50% da média obtida no período de julho/08 a julho/09. Como não houve nenhuma coleta posterior a essa, não é possível a confirmação desse resultado. Analisando-se o comportamento da estação em função dos resultados anteriores, verifica-se que a relação DBO/DQO para o esgoto afluente à estação varia de 0,4 a 0,6, indicando uma boa condição de biodegradabilidade do esgoto recebido na estação.

5.1.3.2. Avaliação da Capacidade da Fase Líquida - Processo Biológico Aeróbio

As estimativas de cargas afluentes às estações de tratamento de esgotos foram feitas mediante os dados populacionais relativos aos sistemas avaliados. Analisando-se os dados referentes à ETE de Tupã, verificou-se que os valores de projeção da população apresentavam diferenças significativas entre as fontes consultadas. Pelos dados do projeto (LATIN CONSULT⁴², 1997) estimou-se que a população atingiria 101.460 habitantes em 2019; no PLANO DIRETOR DE ESGOTOS⁵⁷, 2003 considerou-se que em 2015 a população seria de 60.336 habitantes, sofrendo um decréscimo a partir de 2016 e os dados estimados pelo SEADE⁷⁵ apresentam uma população de 62.985 habitantes, conforme mostra a Tabela 19.

Foram adotados nesta avaliação, os valores estimados pelo SEADE, que se aproximam mais do Plano Diretor, e ainda são um pouco maiores, favorecendo a segurança na execução dos cálculos das cargas encaminhadas para tratamento.

Tabela 19. Valores adotados para projeção da população. Tupã.

Ano	População (habitantes)		
	SEADE ⁷⁵	Projeto ⁷⁷	Plano Diretor ⁸⁰
2000	...	70.958	58.919
2001	63.703	72.886	59.080
2002	64.120	74.866	59.242
2003	64.541	76.900	59.404
2004	64.963	78.989	59.567
2005	65.389	80.657	59.730
2006	65.737	82.360	59.827
2007	66.088	84.100	59.924

“continua”

Tabela 19. Valores adotados para projeção da população. Tupã.*“continuação”*

Ano	População (habitantes)		
	SEADE ⁷⁵	Projeto ⁷⁷	Plano Diretor ⁸⁰
2008	66.440	85.876	60.022
2009	66.795	87.689	60.119
2010	67.151	89.138	60.217
2011	...	90.612	60.241
2012	...	92.109	60.264
2013	...	93.631	60.288
2014	...	95.179	60.312
2015	68.407	96.403	60.336
2016	...	97.643	60.285
2017	...	98.899	60.233
2018	...	100.171	60.182
2019	...	101.460	60.131
2020	69.132	...	60.080

Conforme observado anteriormente, no item 5.1.3.1, os resultados obtidos para as amostras de lixiviado coletadas no aterro de Tupã foram muito baixos (Tabela 17- pg 141). Deste modo, os estudos para avaliação do recebimento de lixiviado pela ETE foram desenvolvidos a partir de valores teóricos, que expressam condições mais restritivas, a favor da segurança.

Portanto, consideraram-se os valores de projeto do aterro, nos quais a concentração da DBO do lixiviado foi estimada em 10.000 mg/L.

A vazão média adotada foi de 12 m³/d, que corresponde à vazão efetivamente recebida pela estação em 2009. A carga de lixiviado estabelecida para o fim de plano foi de 470 kgDBO/d, com uma vazão correspondente de 94 m³/d. Foram efetuados também os cálculos para o ano de 2015, pois correspondente a um período intermediário da faixa de tempo estudada.

5.1.3.3. Avaliação da Capacidade da Fase Líquida - Processo Biológico Aeróbio

- Cálculo da carga de DBO afluente à ETE

Para o cálculo da carga de DBO afluente à ETE, considerou-se:

$$\text{Carga DBO}_{\text{af}} = \text{Carga DBO}_{\text{doméstica}} + \text{Carga DBO}_{\text{lixiviado}}$$

$$\text{Carga DBO}_{\text{doméstica}} = 54 \text{ (g/hab.d)} * \text{população (hab)}/1000 \text{ (g/kg)}$$

$$\text{Carga DBO}_{\text{lixiviado}/2009} = 10.000 \text{ (mg/L)} * 12 \text{ (m}^3\text{/d)} * 1000 \text{ (L/m}^3\text{)} / 10^6 \text{ (mg/kg)}$$

$$\text{Carga DBO}_{\text{lixiviado}/2009} = 120 \text{ kg/d}$$

$$\text{Carga DBO}_{\text{lixiviado}/2020} = 470 \text{ kg/d (conforme projeto do aterro)}$$

Na Tabela 20 estão apresentados os valores das cargas afluentes a estação, ao longo do tempo, considerando-se o lançamento do lixiviado.

Tabela 20. Evolução da carga afluente à ETE Tupã

Ano	População (hab)	Carga (kg DBO/dia)		
		Doméstica	Lixiviado	Total
2.009	66.795	3.607	120	3.727
2.015	68.407	3.694	363	4.057
2.020	69.132	3.733	470	4.203

- **Cálculo da vazão afluyente à ETE e do tempo de detenção hidráulica**

Adotando-se:

- Consumo “per capita” de água: 160 L/hab.dia
- Coeficiente de retorno: 0,8
- Comprimento de rede: 5 m/hab
- Coeficiente de infiltração: 0,1 L/s.km

Tem-se que:

$$Q_{\text{afl}} = [Q_{\text{dom}} + Q_{\text{lixiviado}} + Q_{\text{infiltração}}] \text{ (L/s)}$$

$$Q_{\text{dom}} = 160 \text{ (L/hab.d)} \times 0,8 \times \text{população (hab)} / 86400 \text{ (s/d)}$$

$$Q_{\text{lixiviado}} = \text{conforme mencionado}$$

$$Q_{\text{infiltração}} = 5 \text{ (m/hab)} \times \text{população (hab)} / 0,1 \text{ (L/s.km)} / 1000 \text{ (m/km)}$$

Tempo de detenção hidráulica: t

$$t = \text{Volume da lagoa} / \text{Vazão afluyente (d)} = (2 * 19.487) / Q_{\text{afl}} * 86,4$$

Na Tabela 21 estão apresentadas as vazões afluentes à ETE ao longo do tempo e o tempo de detenção hidráulica (t) na lagoa aerada.

Tabela 21. Vazões afluentes à ETE Tupã e tempo de detenção hidráulica

Ano	População (hab)	Vazão (L/s)			Total	t (dias)
		Doméstica	Infiltração	Lixiviado		
2.009	66.795	99,0	33,4	0,1	132,5	3,4
2.015	68.407	101,3	34,2	0,6	136,1	3,3
2.020	69.132	102,4	34,6	1,1	138,1	3,3

- **Cálculo da potência necessária para atender à demanda de oxigênio da lagoa aerada - Pot**

a) *DBO solúvel do efluente da lagoa*

$$S_e = \frac{1 + b \cdot t}{y \cdot k \cdot t}$$

Onde:

Se: DBO solúvel do efluente da lagoa

b: coeficiente de respiração endógena (b = 0,075 dia⁻¹)

t: tempo de detenção hidráulica (dias)

y: coeficiente de síntese celular (y = 0,75 kg SSV/kg DBO_{removida})

k: taxa específica de remoção de substrato (0,05 L/mg dia)

b) *Cálculo da carga de DBO removida diariamente*

$$\text{Carga de DBO}_{\text{removida}} = 86,4 \times Q_{\text{total}} \times (S_o - S_e) \times 10^{-3}$$

Onde:

Q_{total}: vazão afluyente a ETE (L/s)

S_o: concentração de DBO afluyente à ETE (mg/L)

S_e: concentração de DBO solúvel efluente à ETE (mg/L)

c) *Cálculo dos requisitos de oxigênio*

$$RO = a * \text{carga de DBO}_{\text{removida}}$$

onde:

RO = Requisito de oxigênio (kg O₂/d)

a = coeficiente de consumo de oxigênio, podendo variar de 1,1 a 1,4 kgO₂/kg DBO₅ removida.

Será adotado: a = 1,25 kg O₂/ kg DBO_{removida}

d) Cálculo da taxa de transferência de oxigênio dos aeradores para condição de campo

Sabendo-se que:

N₀ = Taxa de transferência de oxigênio nas condições padrão

N = Taxa de transferência de oxigênio nas condições de campo,

Tem-se:

N₀ = 1,36 kg O₂/kW.h (dado de projeto)

N = λ * N₀

Sendo:

λ = coeficiente de campo, calculado pela seguinte fórmula:

$$\lambda = \frac{\alpha (\beta \cdot C_{sw} - Cl) 1,02^{T-20}}{9,17},$$

Onde:

α: relação entre a taxa de transferência de O₂ para esgoto pela taxa de transferência para água limpa (0,85);

Cl: concentração de OD no líquido (1,5 mg/L)

C_{sw} : concentração de saturação de O_2 para a altitude e temperatura do local (7,8 mg/L - valor adotado)

β : relação entre o OD de saturação para esgoto pelo OD de saturação para água limpa (0,95)

T = temperatura (26°C)

e) *Cálculo do coeficiente λ para a condição de verão (crítica)*

$$\lambda = \frac{0,85(0,95 \times 7,8 - 1,5)1,02^{26-20}}{9,17}$$

$$\lambda = 0,62$$

Assim, a eficiência de oxigenação nas condições de campo N é igual a:

$$N = 0,62 \times 1,36 = 0,84 \text{ kg } O_2/\text{kW.h}$$

Portanto, a potência dos aeradores para atender demanda de oxigênio é:

$$Pot = Potência\ Necessária = \frac{Oxigênio\ necessário\ (kgO_2/h)}{N(kgO_2/kWh)} = \frac{RO}{N}$$

Nas Tabelas 22 e 23 estão reunidos os resultados dos cálculos descritos nos itens anteriores.

Tabela 22. Cálculo da carga diária de DBO removida. ETE Tupã.

Ano	t (dias)	DBO afluente (So) (mg/L)	DBO solúvel (Se) (mg/L)	DBO removida (kg DBO/dia)
2.009	3,4	326	9,8	3.614
2.015	3,3	345	10,0	3.939
2.020	3,3	352	10,2	4.082

Tabela 23. Potência necessária para degradar a matéria orgânica afluyente à ETE Tupã.

Ano	DBO removida (kg DBO/dia)	Oxigênio necessário (kg O ₂ /h)	Potência necessária (HP)
2.009	3.614	188	300
2.015	3.939	205	327
2.020	4.082	213	339

- **Verificação da potência instalada**

*Potência instalada = nº de lagoas em operação * nº de aeradores instalados/lagoa * capacidade unitária dos aeradores*

*Potência instalada = 2*9*40 = 720 HP*

Considerando-se que a maior potência necessária (339 HP) para fornecer oxigênio aos microorganismos para degradar a matéria orgânica afluyente é menor que a potência instalada (720 HP), e que como o tempo de detenção hidráulica (t) na lagoa aerada é maior do que 3 dias, podemos concluir que a ETE, em relação ao tratamento biológico, terá capacidade em suas unidades para absorver a carga extra proveniente do lançamento do lixiviado.

É usual nas lagoas aeradas com mistura completa, a potência dos aeradores ser determinada pela densidade de potência necessária para manter os sólidos em suspensão e não somente pela necessidade de oxigênio para promover a degradação da matéria orgânica presente. Desta forma, normalmente se verifica uma “sobra” de oxigênio no sistema, que não se configura como um fator limitante do processo.

5.1.3.4. Avaliação da Capacidade da Fase Sólida

- Avaliação da capacidade da lagoa de sedimentação

O aumento de vazão devido ao recebimento de lixiviado é muito baixo, equivalente a 1,1 L/s. Deste modo, a lagoa de sedimentação não será afetada de forma significativa que prejudique a operação da mesma.

Entretanto, como a carga afluyente a estação será maior, o lodo depositado no fundo da lagoa deverá ser retirado com frequência maior.

A quantidade de lodo produzido em um ano poderá ser estimada da seguinte forma:

$$\Delta X_{\text{retido}} = Q * X_{\text{retido}}$$

Onde:

ΔX_{retido} : Carga de sólidos acumulada na lagoa (produção específica de lodo total)

Q : vazão anual tratada na ETE (m³/ano);

X_{retido} : Concentração de sólidos em suspensão totais retidos na lagoa de sedimentação, calculado da seguinte forma:

$$X_{\text{retido}} = X_{\text{lagoa aerada}} - X_{\text{efluente}} \text{ (mg/L),}$$

Sendo:

$$X_{\text{lagoa aerada}} = \frac{X_v}{0,7} \Rightarrow X_v = \frac{y(S_o - S_e)}{(1 + b.t)}$$

0,7 é a fração volátil (SV/SF), conforme projeto

X é a concentração de sólidos em suspensão totais (mg/L)

X_v é a concentração de sólidos em suspensão voláteis (mg/L)

Na Tabela 24 estão apresentados os resultados dos cálculos.

Tabela 24. Lodo acumulado durante o ano na lagoa de sedimentação. ETE Tupã. Valores em mg/L, exceto onde indicado.

Ano	So	Se	X _v	X _{lagoa}	X _{retido}	ΔX _{retido} (t/ano)
	DBO _{total} (afluente)	DBO _{solúvel} (efluente)				
2.009	326	9,8	189	269	239	572
2.015	345	10,0	201	287	257	632
2.020	352	10,2	206	294	264	659

Para o cálculo do volume acumulado de lodo após um período de anos, será adotada a equação modificada de Arceivala (1981):

$$V_t = \frac{\frac{M_{ov}}{K_{Lv}} * (1 - e^{-K_{Lv} * t}) + t * M_{ov}}{1000 * (\text{Fração de sólidos secos})}, \text{ onde:}$$

V_t = Volume de lodo acumulado após um período de t anos (m³)

M_{ov} = massa de sólidos em suspensão voláteis retidos na lagoa por unidade de tempo (kg SSV/ano)

Fração volátil: 70% (dado de projeto)

M_{of} = massa de sólidos em suspensão fixos retidos na lagoa por unidade de tempo (kg SSf/ano)

K_{Lv} = coeficiente de degradação dos sólidos em suspensão voláteis no lodo em condições anaeróbias (ano⁻¹). K_{Lv} varia de 0,4 a 0,6 ano⁻¹

T = período de anos (ano)

Fração de sólidos secos = fração de sólidos secos no lodo = (1 - fração de umidade do lodo)

Sendo:

$$M_{ov} = X_{retido}(mg/L) * 0,7 * Q(L/s) * 86400(s/d) * 30(d/mês) * 12(mês/ano) * 10^{-6}(kg/mg)$$

$$M_{of} = (M_{ov}/0,7) - M_{ov}$$

$$K_{Lv \text{ adotado}} = 0,5 \text{ ano}^{-1}$$

Fração sólidos secos = 8% (Valor adotado. Fonte: Marcos Von Sperling⁸⁴)

Na Tabela 25 estão apresentados os resultados dos cálculos para estimar o volume de lodo acumulado na lagoa ao longo do tempo.

Tabela 25. Volumes em m³ de lodo acumulado na lagoa ao longo do tempo. ETE Tupã.

X _{retido} (mg/L)	M _{ov} (kg SSV/ano)	M _{of} (kg SSF/ano)	Volume de lodo acumulado na lagoa			
			2009 (t = 1)	2010 (t = 2)	2011 (t = 3)	2012 (t = 4)
239	690.837	296.073	10.496	18.319	24.520	29.737

- *Cálculo do volume reservado para acúmulo de lodo*

De acordo com os dados de projeto, a lagoa de sedimentação possui as seguintes dimensões:

- Largura = 54 m
- Comprimento = 161 m
- Altura ocupada pela camada de lodo = 1,68 m
- N° de lagoas = 2 unidades

Desta forma, podemos estimar o volume destinado à acumulação de lodo:

$$V_{disponível} = 54 * 161 * 1,68 * 2$$

$$V_{disponível} = 29.212 \text{ m}^3$$

Comparando-se o volume disponível com os valores obtidos na Tabela 26, verifica-se que o lodo depositado na lagoa deverá ser retirado durante o quarto ano de operação, que corresponde ao ano de 2012.

- **Avaliação da capacidade dos leitos de secagem**

Para uma taxa de aplicação de sólidos de 15 kg SST/ciclo (NBR 1209/92) no leito de secagem e para um ciclo de 20 dias, a área necessária para desidratar o lodo será de:

$$\text{Área do leito de secagem} = \frac{\text{Quantidade de lodo produzido em um ano}}{\text{Taxa de aplicação de sólidos} * \text{número de ciclos em um ano}}$$

A Tabela 26 apresenta a área necessária e o número de leitos de secagem para atender a demanda do lodo produzido na ETE.

Tabela 26. Área do leito de secagem necessária para desidratar o lodo produzido na ETE Tupã.

Ano	Quantidade lodo ΔX_{retido} (ton/ano)	(Duração do ciclo = 20 dias)	
		Área do leito de secagem (m ²)	Número de leitos necessários (un)
2009	572	2.091	17
2015	632	2.309	18
2020	659	2.406	19

A área existente dos leitos de secagem é de 2.520 m² (20 leitos de secagem com de 126 m²/leito) e, portanto, é suficiente para atender as necessidades da estação até o ano de 2020.

5.1.4. Considerações sobre o Recebimento de Lixiviado na ETE Tupã - SP

Observando-se os valores da DBO afluente à estação obtidos pelas caracterizações realizadas em 2009, conforme a Tabela 15 - página 136, verifica-se que eles são superiores aos valores estimados na simulação do recebimento de lixiviado pela estação apresentados na Tabela 22 - página 150, mesmo tendo-se superestimado o valor da contribuição de lixiviado.

Os dados observados na estação indicam o recebimento de cargas adicionais provenientes de fontes não domésticas. De acordo com informações da área operacional, a estação recebe os efluentes de um laticínio local.

A sobrecarga advinda desse recebimento é bastante elevada e a sua manutenção poderá causar interferências no processo de tratamento com reflexos operacionais significativos, podendo comprometer a eficiência da estação ou limitar a sua capacidade para o recebimento de lixiviados de aterros sanitários ou de cargas adicionais provenientes de outras fontes.

As avaliações realizadas mostram que a estação tem capacidade para receber o lixiviado gerado no Aterro Meridiano sem limitações em relação à capacidade de aeração do sistema.

Quanto ao volume disponível para acúmulo de lodo nas lagoas de sedimentação, pelas avaliações realizadas haveria necessidade de remoção de lodo apenas a partir de 2012, porém a estação já está executando a remoção de lodo das lagoas de sedimentação. Essa necessidade pode ser oriunda do recebimento dos efluentes gerados no laticínio.

5.2. VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO NA ETE BOIÇUCANGA - PRAIA DE BOIÇUCANGA – SÃO SEBASTIÃO - SP

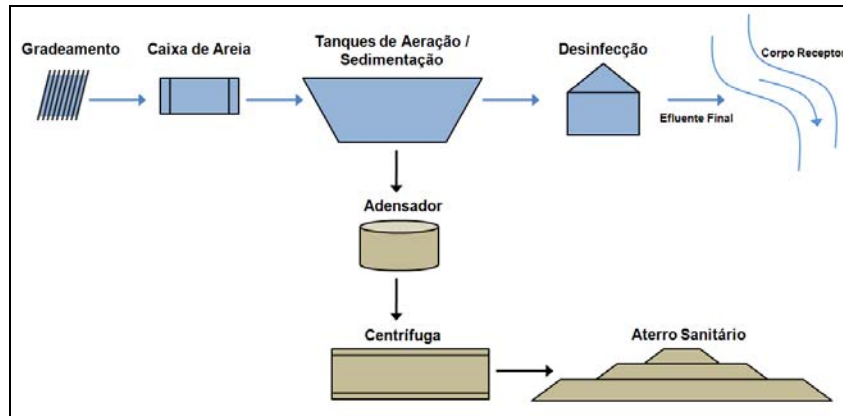
Para verificar a viabilidade do tratamento conjunto na ETE Boiçucanga realizou-se inicialmente a avaliação da conformidade legal do efluente da estação.

A verificação da capacidade da estação para o recebimento das cargas adicionais provenientes do lixiviado foi feita mediante uma comparação entre a potência instalada dos aeradores da estação e a necessidade de oxigênio para suprir a demanda do tratamento biológico. Em relação ao lodo gerado, foi avaliada a capacidade da centrífuga para o desaguamento do lodo gerado.

5.2.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Boiçucanga – São Sebastião - SP

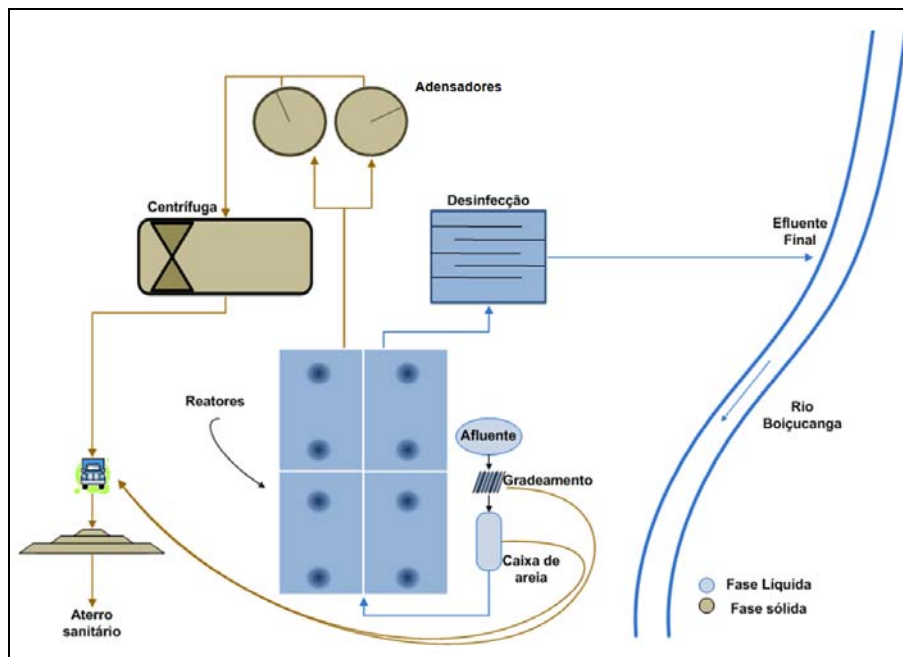
A Estação de Tratamento de Esgotos de Boiçucanga, conforme esquema apresentado na Figura 41, está localizada na Praia de Boiçucanga em São Sebastião – SP e emprega o processo de tratamento por lodos ativados em batelada.

Figura 41. Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos de *Boiçucanga*



A Figura 42 apresenta a planta esquemática da Estação de Tratamento de Esgotos de Boiçucanga, que é composta pelas unidades descritas a seguir, conforme o Projeto da estação⁶⁰, 1997.

Figura 42. Planta esquemática da ETE Boiçucanga – São Sebastião – SP



a) *Tratamento preliminar (Figura 43)*

- Uma grade de barras de limpeza manual e uma grade mecanizada
- Caixa de areia de canal (limpeza manual)
- Calha Parshall

Figura 43. Vista dos equipamentos que compõem o tratamento preliminar da ETE Boiçucanga



b) *Fase líquida*

O tratamento de esgotos na ETE Boiçucanga é realizado pelo processo de lodos ativados por batelada.

b.1.) *Características dos tanques de aeração/sedimentação (Figura 44)*

- Número de unidades: 4 células na primeira etapa e mais 2 na segunda etapa.
- Dimensões: 9 x 28 x 3,97 m (altura útil)
- Potência dos aeradores/tanque: 2 x 15 cv;
- Taxa de transferência de oxigênio = 1,5 kg O₂/ HP.h

Figura 44. Vista parcial dos reatores da ETE Boiçucanga



b.2) Características do sistema de desinfecção do efluente (Figura 45)

- Unidade de desinfecção: Tanque de contato de cloro
- Tempo de contato: 20 minutos para descarga simultânea de três tanques.
- Dimensões: 11,8 x 13 x 2 m

Figura 45. Vista do sistema de desinfecção do efluente da ETE Boiçucanga



c) Fase sólida (Figura 46)

A fase sólida da ETE Boiçucanga é composta por:

c.1.) Adensador de lodo por gravidade

- Número de unidades: 2

c.2.) Desaguamento do lodo

- Número de unidades: 1
- Modelo: Centrífuga (Pieralisi modelo FP 600/M)
- Capacidade: 5 m³/h (valor recomendado pelo fabricante)

Figura 46. Vista dos equipamentos que compõem a fase sólida da ETE Boiçucanga



5.2.2. Avaliação da Conformidade Legal do Efluente da ETE

5.2.2.1. Caracterização dos Esgotos da ETE Boiçucanga - São Sebastião - SP

Na Tabela 27 são apresentados os resultados das análises realizadas para o afluente e o efluente da ETE Boiçucanga, considerando-se os parâmetros DBO e DQO.

A ETE Boiçucanga trata atualmente uma vazão média de 6 L/s. Essa vazão aumenta de forma significativa durante a ocorrência de chuvas. Além do esgoto doméstico e do lixiviado, a ETE recebe despejos de caminhões limpa fossa, num volume médio diário de 24 m³.

Tabela 27. Caracterização da ETE Boiçucanga: DBO e DQO

Data	DBOafluente mg/L O ₂	DBOefluente mg/L O ₂	DQOafluente mg/L	DQOefluente mg/L
jan-08	207	44	398	75
jan-08	199	39	382	72
fev-08	124	22	190	39
fev-08	122	31	202	47
abr-08	54	27	90	92
abr-08	94	7	182	39
jul-08	92	22	181	49
jul-08	85	18	174	37

“continua”

Tabela 27. Caracterização da ETE Boiçucanga: DBO e DQO*“continuação”*

Data	DBOafluente mg/L O ₂	DBOefluente mg/L O ₂	DQOafluente mg/L	DQOefluente mg/L
out-08	101	21	196	42
out-08	122	22	241	41
dez-08	143	24	274	51
dez-08	127	27	262	47
jan-09	211	58	401	124
jan-09	222	61	434	101
fev-09	252	52	471	102
fev-09	157	57	312	118
fev-09*	140	28	215	76
abr-09	101	43	187	83
abr-09	112	49	212	87
jun-09*	50	5	252	26
jul-09	232	22	432	39
jul-09	263	33	514	58
out-09	61	37	90,00	63,00
out-09	200	34	323,00	60,00

Nota:

Dados operacionais da Estação de Tratamento de Esgotos^{VIII}

(*): Dados levantados nesta pesquisa

A Tabela 28 também apresenta valores de caracterização da ETE Boiçucanga em relação aos demais parâmetros avaliados.

Os dados obtidos para o efluente tratado da estação atendem as exigências da Resolução Conama nº 357/05 para lançamento em corpos hídricos, para os parâmetros amostrados

^{VIII} Sabesp. Documentos internos.

Tabela 28. Resultados da caracterização do esgoto afluente e efluente da ETE Boiçucanga – São Sebastião - SP

Local	Unidade	19/02/2009		16/06/2009	
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Arsênio	mg/L As	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cádmio	mg/L Cd	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Carbono Orgânico Total	mg/L	9.539	2.389	46,06	4,578
Chumbo	mg/L Pb	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Cianeto	mg/L CN	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054
Cloreto	mg/L	32	26	34	30
Cobre	mg/L Cu	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Condutividade	mg/L Cr	661	656	581	310
Fenol	C6H5OH	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Ferro	mg/L Fe	9,1	0,9	3,6	< 0,25
Fósforo Total	mg/L P	7,78	1,3	3,05	0,11
Manganês	mg/L Mn	0,5	0,27	0,27	< 0,05
Mercúrio	mg/L Hg	< 0,0035	< 0,0035	< 0,0035	< 0,0035
Molibdênio	mg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Níquel	mg/L Ni	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrito+Nitrato	mg/L N	0,67	0,68	1,91	1,42
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	34,1	8,3	17,61	0,56
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L N	44,81	17,2	27,31	0,81
Óleos e Graxas	mg/L	< 1,65	< 1,65	14	18
pH	UpH		7,11	7,08	6,98
Potássio	mg/L K	12,6	12,6	8,19	4,96
Sólidos em Suspensão Totais	mg/L	114	34	32	< 2,2
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	114	64	64	0,8
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	12	0	32	1,2
Sulfato	mg/L SO ₄	15	41	30	26
Sulfeto	mg/L S	0,046	0,125	0,106	0,252
Zinco	mg/L Zn	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Nota: Dados levantados nesta pesquisa

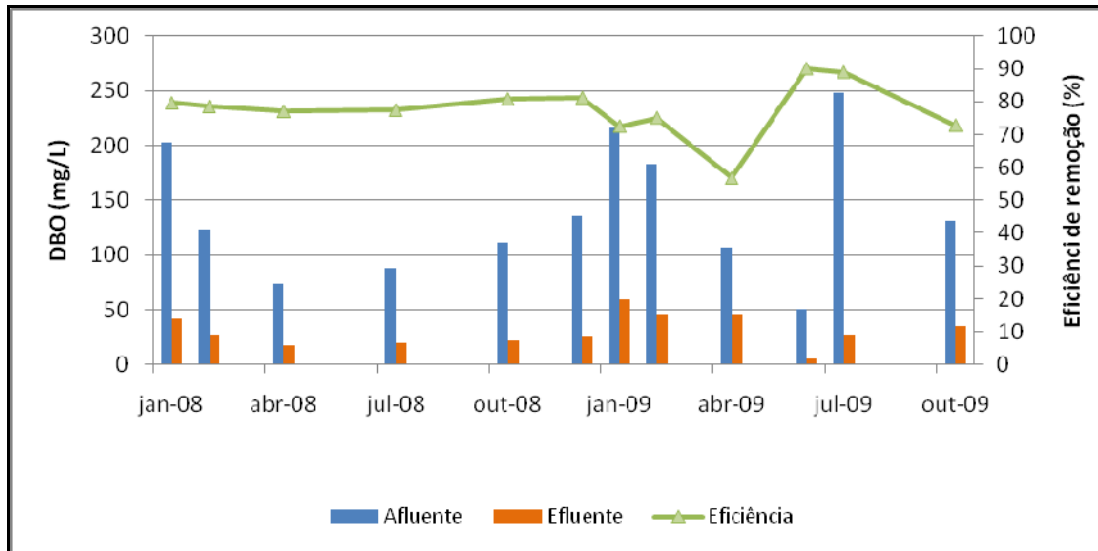
Comparando-se os resultados encontrados para os esgotos de Boiçucanga (Tabela 27 e Tabela 28), com os valores da Tabela 6, página 71, que apresenta os valores típicos para esgotos domésticos verifica-se que o esgoto de Boiçucanga tem características de um esgoto fraco (diluído). Apenas o parâmetro Carbono Orgânico Total – COT – apresentou valores muito acima do sugerido, que pode ser atribuído ao próprio lixiviado recebido pela estação.

Na avaliação do mês de junho os resultados para o COT mostram o valor afluente bem menor do que o efluente denotando que pode ter havido problemas analíticos ou mesmo de coleta, uma vez que o tempo de detenção hidráulica entre as coletas não foi obedecido nesse procedimento.

5.2.2.2. Eficiência de Remoção de DBO

A Figura 47 apresenta a eficiência de remoção de DBO. De acordo com a legislação ambiental vigente essa eficiência deve ser maior do que 80% ou a concentração da DBO do efluente da estação deverá ser inferior a 60 mg/L.

Nas avaliações realizadas a eficiência de remoção de DBO ficou abaixo de 80% em várias ocasiões no período observado, porém a DBO do efluente atendeu ao limite máximo de 60 mg/L. A dificuldade para atender a exigência da eficiência se deve ao fato da DBO afluente ser muito baixa, podendo-se observar na Figura 47 que em todas as avaliações ela foi menor do que 300 mg/L, valor considerado típico para esgotos domésticos.

Figura 47. Eficiência de remoção de DBO – ETE Boiçucanga – São Sebastião – SP

Nota-se que os dados obtidos para a DBO não têm frequência mensal. Deste modo, conforme mostra a Figura 47, a interligação entre os pontos que representam a eficiência de remoção é uma inferência.

5.2.3. Avaliação do Impacto na ETE Boiçucanga Decorrente do Recebimento de Lixiviado

5.2.3.1. Caracterização dos Lixiviados Recebidos para Tratamento na ETE Boiçucanga - SP

A caracterização do lixiviado do aterro da Baleia está apresentada na Tabela 29. Os valores de DBO encontrados para o lixiviado foram de 165 mg/L em fevereiro e de 35 mg/L em agosto de 2009. Essas concentrações são baixas, sendo que o valor de 35 mg/L está muito abaixo da faixa de DBO esperada para lixiviados de aterros.

Como não foi possível verificar as condições locais do aterro, as hipóteses para justificar os valores encontrados não podem ser verificadas, porém, como a interdição do aterro se deveu a problemas ambientais pode-se supor que o sistema de drenagem do aterro não é suficiente.

Tabela 29. Resultados da caracterização do lixiviado recebido em Boiçucanga

Local	Unidade	19/02/2009	16/06/2009
Arsênio	mg/L As	0,015	< 0,01
Cádmio	mg/L Cd	< 0,01	< 0,01
Carbono Orgânico Total	mg/L	24696	144,9
Chumbo	mg/L Pb	< 0,025	< 0,025
Cianeto	mg/L CN	0,034	< 0,0054
Cloreto	mg/L	79	73
Cobre	mg/L Cu	0,07	< 0,04
Condutividade	mg/L Cr	536	1962
DBO (5 dias)	mg/L O ₂	165	35
DQO	mg/L	186,26	168
Fenol	C ₆ H ₅ OH	< 0,08	< 0,08
Ferro	mg/L Fe	58,3	4,1
Fósforo Total	mg/L P	8,77	0,55
Manganês	mg/L Mn	1,82	1,13
Mercúrio	mg/L Hg	< 0,0035	< 0,0035
Molibdênio	mg/L	< 0,2	< 0,2
Níquel	mg/L Ni	0,05	< 0,05
Nitrito+Nitrato	mg/L N	1,09	5,38
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	97,98	89,27
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L N	120,84	125,36
Óleos e Graxas	mg/L	< 1,65	18
pH	mg/L P	7,22	7,49
Potássio	UpH	57,6	61,61

“continua”

Tabela 29. Resultados da caracterização do lixiviado recebido em Boiçucanga*“continuação”*

Local	Unidade	19/02/2009	16/06/2009
Sólidos em Suspensão Totais	mg/L K	496	44
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	496	28
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	0	16
Sulfato	mg/L SO ₄	0	12
Sulfeto	mg/L S	0,099	0,252
Zinco	mg/L Zn	0,23	< 0,1

Nota: Dados levantados nesta pesquisa

A Tabela 30 apresenta os valores médios de precipitação no município para o ano de 2009, correspondente aos períodos de coletas de amostras da estação.

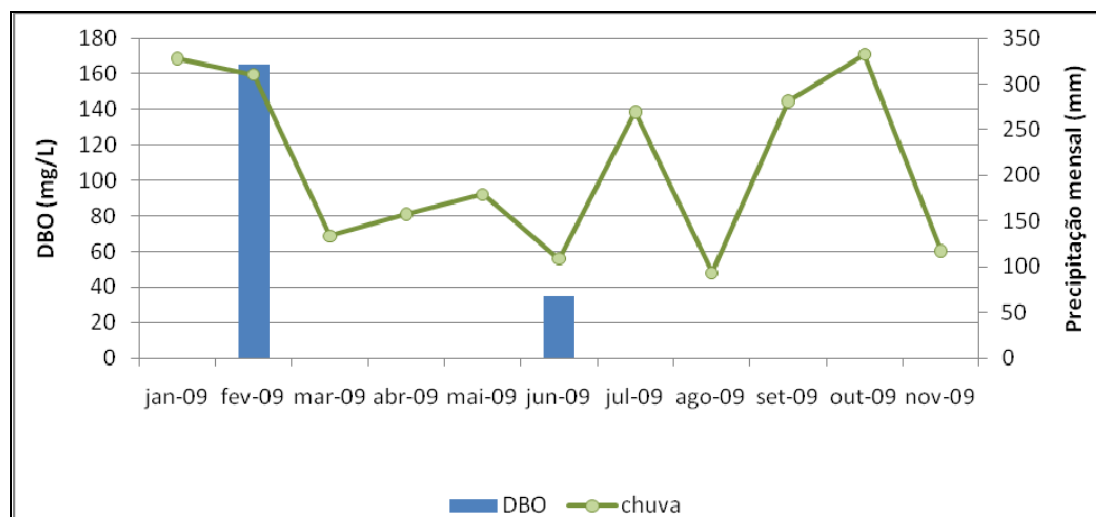
Tabela 30. Valores médios de precipitação no município de São Sebastião (mm)

Mês	Dias de Chuva	Chuva Total
jan-09	23	328
fev-09	14	310
mar-09	16	134
abr-09	15	157
mai-09	13	179
jun-09	16	109
jul-09	21	269
ago-09	22	93
set-09	20	281
out-09	24	332
nov-09	7	117
dez-09	...	...

Fonte: Adaptado de CIIAGRO²⁰

A Figura 48 apresenta a variação da DBO do lixiviado com a precipitação. Verifica-se que não foi possível o estabelecimento de correlação entre eles.

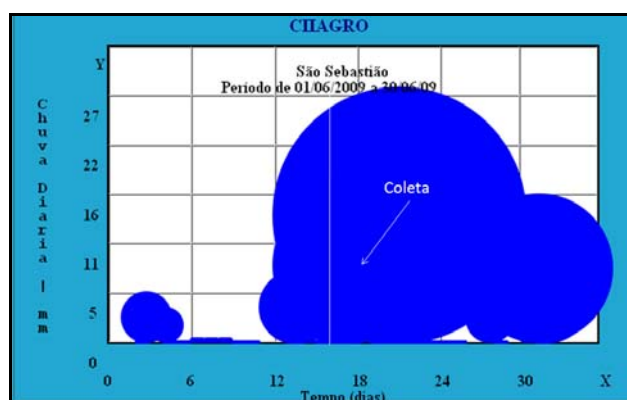
Figura 48. Variação da DBO com a precipitação – Lixiviado do Aterro da Baleia. São Sebastião - SP



De acordo com as informações do Centro integrado de Informações Agrometeorológicas – CIAGRO²⁰ do Governo do estado de São Paulo, a série histórica de chuvas não apresentou nenhuma anormalidade no período em avaliação, verificando-se os maiores índices pluviométricos para os meses chuvosos, como é esperado.

A Figura 49 apresenta os dados diários da precipitação observada no mês de junho de 2009, quando se realizou a coleta de amostra do lixiviado.

Figura 49. Dados gráficos de chuva diária no município de São Sebastião



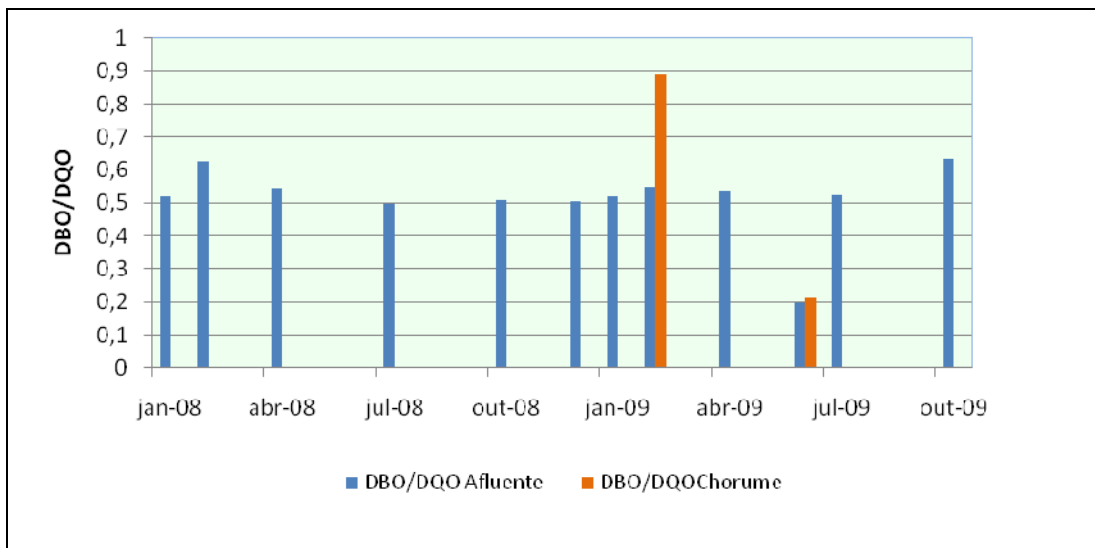
Extraído de CIAGRO²⁰

Conforme mostra a Figura 49, a coleta realizada no dia 16/06/09 foi em meio à ocorrência de chuvas, podendo-se inferir que a caixa de acumulação de chorume deveria estar saturada de água de chuva.

A Figura 50 mostra a relação DBO/DQO para o esgoto afluente à estação e para o lixiviado.

A relação DBO/DQO para o esgoto afluente à estação é maior do que 0,5, indicando boa condição de biodegradabilidade do esgoto recebido para tratamento a ETE.

Figura 50. Variação da biodegradabilidade do afluente à ETE Boiçucanga e do lixiviado



Para o lixiviado, em função das observações anteriores, os valores obtidos não são conclusivos, apresentando características antagônicas nas avaliações realizadas. Entretanto, é possível observar que o esgoto afluente à estação no mês de junho teve o mesmo comportamento observado para o lixiviado.

5.2.3.2. Avaliação do Processo Biológico Aeróbio. Fase Líquida.

- **Cálculo da carga afluyente à ETE**

Atualmente a ETE de Boiçucanga recebe as seguintes contribuições orgânicas:

- Esgoto doméstico:

A vazão afluyente à estação foi estimada em função do hidrograma de consumo de água.

$$\text{Carga}_{\text{esgoto}} = 6 \text{ L/s} * 86.400 \text{ s/d} * 95 \text{ mgDBO/L} * 10^{-6}$$

$$\text{Carga}_{\text{esgoto}} = 49 \text{ kg DBO/dia}$$

- Limpa fossa

Para o cálculo da carga proveniente das fossas residenciais, será admitido neste estudo que a ETE o recebimento de quatro caminhões limpa-fossa por dia, de acordo com informações da área operacional.

A concentração de $\text{DBO}_{5,20}$ de fossas sépticas varia numa faixa de 2.000 a 30.000 mg/L, com valor típico de 6.000 mg/L.

$$\text{Carga}_{\text{limpa fossa}} = 4 \text{ caminhão/dia} * 6 \text{ m}^3/\text{caminhão} * 6 \text{ kg DBO/m}^3$$

$$\text{Carga}_{\text{limpa fossa}} = 144 \text{ kg DBO/d}$$

- Lixiviado

Volume do caminhão: 12 m^3

$$\text{Carga}_{\text{lixiviado}} = 12 \text{ m}^3/\text{caminhão} * 3 \text{ caminhões} * 100 \text{ mg/L} * 10^{-3}$$

$Carga_{\text{lixiviado}} = 4 \text{ kg/d}$

Portanto, a carga de DBO lançada na ETE é:

$Carga_{\text{Afluente total}} = 49 + 144 + 4 = 197 \text{ kg DBO/dia}$

- **Ciclo operacional da ETE**

A ETE Boiçucanga está operando atualmente apenas com dois tanques, e adota o seguinte ciclo operacional:

- Alimentação com aeração: 3 horas
- Decantação: 2 horas
- Descarga: 1 hora

- **Verificação do sistema de aeração**

A Norma NBR-12.209¹(1992) recomenda a taxa de aplicação de oxigênio de $2,5 \text{ kg O}_2/\text{kg DBO}_{\text{aplicada}}$

Demanda de oxigênio = $2,5 \text{ kg O}_2/\text{kg DBO}_{\text{aplicada}} * 197 \text{ kg DBO/d}$

Demanda de oxigênio = $492,5 \text{ kg O}_2/\text{d}$

Para o ciclo operacional adotado na estação, os aeradores funcionam 12 horas por dia. Deste modo a potência necessária será de:

$$Potência\ Necessária = \frac{492,5 \text{ kg O}_2 / \text{d}}{12 \text{ h / dia} \times 1,5 \text{ kg O}_2 / \text{HP.h}} = 27,4 \text{ HP} < 60 \text{ HP} \Rightarrow \text{Ok!}$$

Verifica-se que o fornecimento de oxigênio é suficiente para atender as condições atuais de recebimento de carga, entretanto nas condições de campo, a capacidade de transferência de oxigênio dos aeradores pode não atingir os valores especificados pelo fabricante, sendo usual a adoção de valores da eficiência de oxigenação no campo em torno de 60% dos valores padrão.

Nessas condições de campo, a eficiência de oxigenação (EO) verificada é equivalente a:

$$EO_{\text{campo}} = 0,6 * 1,5 \text{ kg } O_2/\text{HP.h} = 0,9 \text{ kg } O_2/\text{HP.h}$$

Portanto, nas condições de campo a potência requerida passa a ser:

$$Potência\ Necessária = \frac{492,5 \text{ kg } O_2 / d}{12 \text{ h/dia} \times 0,9 \text{ kg } O_2 / \text{HP.h}} = 45,6 \text{ HP} < \mathbf{60 \text{ HP}}$$

5.2.3.3. Avaliação da Capacidade da Fase Sólida

- **Desaguamento do lodo**

A produção de lodo, para sistemas com aeração prolongada em batelada, é de aproximadamente:

$$\Delta x = 0,75 \times \text{DBO}_{\text{removido}} = 0,75 \times Q \times (S_0 - S)$$

Onde:

Δx : Excesso de lodo (kg ST/dia)

Q: Vazão tratada (m³/dia)

S_0 : Concentração de DBO afluente a ETE (kg/m³)

$$S_0 = 197 / (6 \times 86,4) = 0,38 \text{ kg/m}^3$$

S: Concentração de DBO solúvel do efluente do tanque de aeração (kg/m³)

$$S = 0,010 \text{ kg/m}^3 \text{ (valor adotado)}$$

$$\Delta x = 0,75 \times \text{DBO}_{\text{removido}} = 0,75 \times 6 \times 86,4 \times (0,38 - 0,010)$$

$$\Delta x = 144 \text{ kg ST/dia}$$

Para lodo adensado a 3%, a vazão lodo a ser desidratado por dia será de:

$$\text{Teor de sólidos} = \frac{\text{Massa de sólidos secos}}{\text{Massa da mistura}} \Rightarrow 0,03 = \frac{0,144}{\text{Massa da mistura}}$$

$$\text{Massa da mistura} = 4,8 \text{ t/dia}$$

Considerando-se a densidade do lodo $\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$, tem-se que

$$Q_{\text{lodo}} = 4,8 \text{ t/d} / 1,2 \text{ t/m}^3$$

$$Q_{\text{lodo}} = 4,0 \text{ m}^3/\text{dia}$$

A centrífuga instalada (FP 600/M), segundo o fabricante, tem capacidade para operar com uma vazão de 5 m³/h. (>>> 4,0 m³/dia)

- **Cálculo da capacidade de desidratação**

Para a centrífuga instalada, adotando-se a capacidade recomendada pelo fabricante de 5,0 m³/h, o tempo de operação necessário para tratar o lodo gerado no tratamento será de:

$$\text{Tempo} = \frac{\text{Vazão diária de lodo}}{\text{capacidade de desidratação}} = \frac{4,0}{5,0} = 0,80h / \text{dia}$$

Ou seja, o sistema de desidratação da ETE está operando utilizando apenas 3% de sua capacidade de trabalho.

5.2.4. Considerações sobre o Recebimento de Lixiviado na ETE Boiçucanga

Em função das avaliações realizadas verifica-se que a estação de tratamento de esgotos de Boiçucanga está operando bem abaixo de sua capacidade nominal, que é de 127 L/s.

Deste modo a ETE apresenta condições de receber a carga orgânica do lixiviado, especialmente nesse caso, onde os valores de DBO são muito reduzidos.

Para a vazão atual, dois tanques de aeração/sedimentação são mais do que suficientes para tratar os esgotos de Boiçucanga. Ressalta-se ainda, que a capacidade do sistema de aeração da estação poderá aumentar com a mudança do ciclo operacional.

Caso a ETE Boiçucanga passe a receber lixiviado de aterro com teores mais elevados de carga orgânica, vale ressaltar que nos processos de tratamento por batelada, o controle do lançamento de despejos com altas concentrações de carga orgânica deve ser realizado com mais critério do que num processo contínuo. Isso se deve a menor capacidade de diluição devido ao fracionamento da massa biológica em diversos tanques. Dentre os cuidados a serem observados, deve-se estabelecer um limite da carga a ser lançado em cada tanque por dia.

5.3. VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO NA ETE FERNANDÓPOLIS - FERNANDÓPOLIS - SP

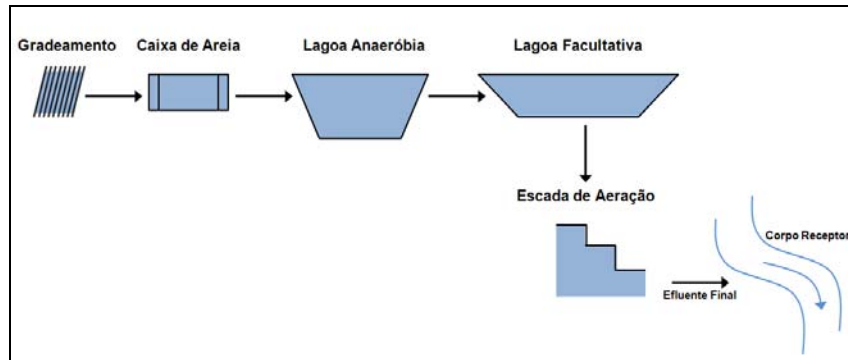
Para verificar a viabilidade do tratamento conjunto na ETE 2 Fernandópolis realizou-se inicialmente a avaliação da conformidade legal do efluente da estação.

A verificação da capacidade da estação para o recebimento das cargas adicionais provenientes do lixiviado foi feita mediante a avaliação da área da lagoa facultativa necessária para suprir a demanda do tratamento biológico. A capacidade do recebimento foi também avaliada limitando-se o volume de lixiviado a ser recebido na estação e verificando-se a capacidade de recebimento de nitrogênio amoniacal total proveniente dos lixiviados do aterro sanitário de Meridiano.

5.3.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Fernandópolis - SP

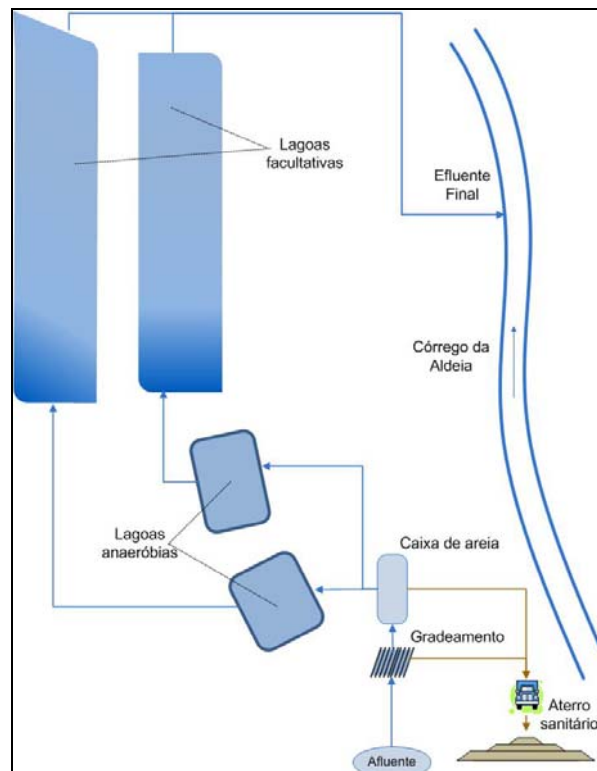
A Estação de Tratamento de Esgotos 2 de Fernandópolis, conforme esquema apresentado na Figura 51, foi concebida para tratar os esgotos pelo processo de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas, denominado por sistema australiano.

Figura 51. Esquema da ETE 2 Fernandópolis.



A Figura 52 apresenta a planta esquemática da Estação de Tratamento de Esgotos 2 de Fernandópolis, que é composta das unidades descritas a seguir, conforme o Plano Diretor²⁹, 2003.

Figura 52. Planta esquemática da ETE 2 Fernandópolis



a) *Tratamento preliminar (Figura 53)*

- Grade média com limpeza manual
- Grade fina com limpeza manual
- Caixa de areia
- Calha Parshall

Figura 53. Elementos que compõem o tratamento preliminar da ETE 2 Fernandópolis



b) *Tratamento biológico*

A ETE Fernandópolis 2 (Figura 54) emprega o processo de tratamento denominado um sistema australiano, composto por duas baterias em paralelo de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas.

Figura 54. Vista parcial das lagoas de estabilização da ETE 2 Fernandópolis



A ETE 2 Fernandópolis possui uma escada de aeração na saída do efluente conforme mostra a Figura 55.

Figura 55. Escada de aeração da ETE 2 Fernandópolis.



5.3.2. Avaliação da Conformidade Legal do Efluente da ETE

5.3.2.1. Caracterização dos Esgotos da ETE 2 Fernandópolis - SP

Na Tabela 31 são apresentados os resultados das análises realizadas para o afluente e o efluente da ETE Fernandópolis considerando-se os parâmetros DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total e pH.

Analisando-se a Tabela 31 verifica-se que em relação ao comportamento da DBO afluente à estação, a concentração observada no mês de agosto/2009, apresentou comportamento atípico, com valores abaixo da média observada no período avaliado (2008/2009).

Tabela 31. Caracterização da ETE Fernandópolis: DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal e pH

Data	Ponto	DBO mg/L O ₂	DQO mg/L	Nitrogênio Amoniacal mg/L N	Fósforo Total mg/L P	pH
12/2/2008*	Afluente	294	980	26,0	8,00	7,0
	Efluente	13	140	20,0	4,50	7,8
10/7/2008*	Afluente	260	795	29,0	...	6,9
	Efluente	31	230	32,5	...	7,7
26/8/2008*	Afluente	310	804	32,0	7,90	7,1
	Efluente	35	310	33,0	3,60	8,1
10/3/2009*	Afluente	315	840	36,0	3,30	7,3
	Efluente	63	265	33,6	0,80	7,9
13/4/2009**	Afluente	300	540	82,7	14,22	7,5
	Efluente	35	180	34,2	6,67	7,7
4/8/2009**	Afluente	120	187	24,89	2,67	7,5
	Efluente	100	312	37,53	8,13	8,0
20/10/2009*	Afluente	331	871	32,8	3,40	7,2
	Efluente	75	256	31,9	2,80	8,1

Nota:

(*) Dados operacionais da ETE. Fonte Sabesp^{IX}

(**) Dados levantados nesta pesquisa

A Tabela 32 também apresenta valores de caracterização da ETE Fernandópolis para os demais parâmetros avaliados.

^{IX} Sabesp: Documento interno

Tabela 32. Resultados da caracterização do esgoto afluente e efluente da ETE Fernandópolis

Local	Unidade	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
		13/04/2009		04/08/2009	
Arsênio	mg/L As	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,016
Cádmio	mg/L Cd	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Carbono Orgânico Total	mg/L	25.009	11.318	363,8	709,8
Chumbo	mg/L Pb	0,03	< 0,025	0,04	0,04
Cianeto	mg/L CN	0,019	0,015	0,007	< 0,0054
Cloreto	mg/L	87	76	120	54
Cobre	mg/L Cu	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Condutividade	mg/L Cr	1452	971	2030	1178
Fenol	C6H5OH	0,085	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Ferro	mg/L Fe	4,7	0,3	1,1	0,4
Fósforo Total	mg/L P	14,22	6,67	2,67	8,13
Manganês	mg/L Mn	0,1	0,05	0,34	< 0,05
Mercúrio	mg/L Hg	< 0,0035	< 0,0035	< 0,0035	< 0,0035
Molibdênio	mg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Níquel	mg/L Ni	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrito+Nitrato	mg/L N	0,25	0,17	0,3	0,33
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	82,7	34,24	24,89	37,53
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L N	83,38	42,7	31,51	55,1
Óleos e Graxas	mg/L	71	8	33	32
Potássio	mg/L K	23,7	16	18,85	17,16
Sólidos em Suspensão Totais	mg/L	252	80	76	136
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	44	16	4	28
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	208	64	72	< 0,2
Sulfato	mg/L SO4	48	29	64	< 0,05
Sulfeto	mg/L S	1,512	0,865	0,485	0,33
Zinco	mg/L Zn	0,108	< 0,1	0,081	37,53

Nota: Dados levantados nesta pesquisa

Os dados obtidos para o efluente tratado da estação atendem as exigências da Resolução Conama nº 357⁵¹ (2005) para lançamento em corpos hídricos, para as substâncias amostradas

Comparando-se os resultados encontrados para Fernandópolis (Tabela 31 e Tabela 32), com os valores da Tabela 6, página 71, que apresenta os valores típicos para esgotos domésticos verifica-se que o esgoto de Fernandópolis tem características de um esgoto fraco (diluído).

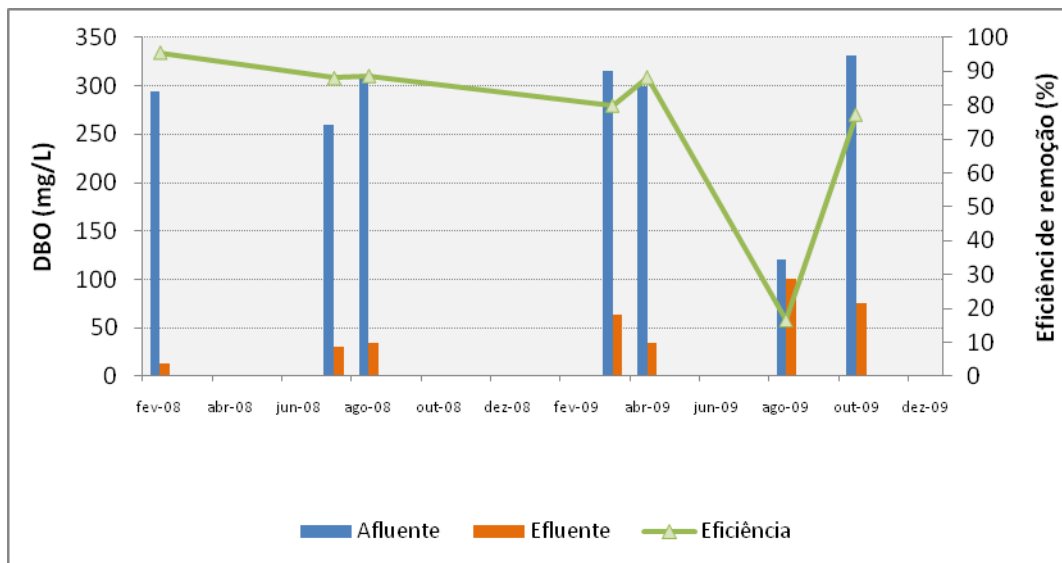
Da mesma forma que para as outras estações de tratamento contempladas neste estudo, o parâmetro Carbono Orgânico Total – COT – apresentou valores muito acima do sugerido, que pode ser atribuído ao próprio lixiviado recebido pela estação.

Comparando os valores do COT do esgoto afluente com o lixiviado recebido em Fernandópolis, verifica-se que eles apresentaram o mesmo comportamento no mês de agosto/09, denotando a direta relação entre essas variáveis.

5.3.2.2. Eficiência de Remoção de DBO

A Figura 56 apresenta a eficiência de remoção de DBO. De acordo com a legislação ambiental vigente essa eficiência deve ser maior do que 80% ou a DBO do efluente da estação deverá ser inferior a 60 mg/L. A estação não atendeu aos limites nas avaliações nos meses de agosto e outubro de 2009.

Nota-se que os dados obtidos para a DBO não têm frequência mensal. Deste modo, conforme mostra a Figura 56, a interligação entre os pontos que representam a eficiência de remoção é uma inferência.

Figura 56. Eficiência de remoção de DBO para a ETE Fernandópolis

5.3.3. Avaliação do Impacto na ETE 2 Fernandópolis Decorrente do Recebimento de Lixiviado

5.3.3.1. Caracterização dos Lixiviados Recebidos para Tratamento na ETE 2 Fernandópolis - SP

A caracterização do lixiviado do Aterro de Meridiano recebido para tratamento na ETE 2 Fernandópolis está apresentada na Tabela 33. Os valores de DBO obtidos para o lixiviado são baixos.

Tabela 33. Resultados da caracterização do lixiviado recebido pela ETE 2 Fernandópolis.

Parâmetro	Unidade	13/04/2009	04/08/2009
Arsênio	mg/L As	0,177	0,141
Cádmio	mg/L Cd	< 0,01	< 0,01
Carbono Orgânico Total	mg/L	137.992	1.325
Chumbo	mg/L Pb	0,19	0,21
Cianeto	mg/L CN	0,049	0,102
Cloreto	mg/L	1450	820
Cobre	mg/L Cu	< 0,04	< 0,04
Condutividade	mg/L Cr	13,7	11160
DBO (5 dias)	mg/L O ₂	300	450
DQO	mg/L	1.680	1.877,12
Fenol	C ₆ H ₅ OH	0,091	< 0,08
Ferro	mg/L Fe	12,6	2,4
Fósforo Total	mg/L P	44,45	1,98
Manganês	mg/L Mn	0,4	0,32
Mercúrio	mg/L Hg	< 0,0035	< 0,0035
Molibdênio	mg/L	< 0,2	< 0,2
Níquel	mg/L Ni	0,19	0,06
Nitrito+Nitrato	mg/L N	4,24	0,3
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	682,92	77,62
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/L N	909,6	150,7
Óleos e Graxas	mg/L	< 1,65	31
pH	UpH	8,04	8,53
Potássio	mg/L K	723	1126
Sólidos em Suspensão Totais	mg/L	150	1292
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	50	820
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	100	472
Sulfato	mg/L SO ₄	350	810
Sulfeto	mg/L S	0,951	0,631
Zinco	mg/L Zn	0,144	0,039

Nota: Dados levantados nesta pesquisa

Na Tabela 34 estão os valores médios de precipitação no município para os anos de 2008 e 2009, correspondentes aos períodos de coleta de amostras da estação.

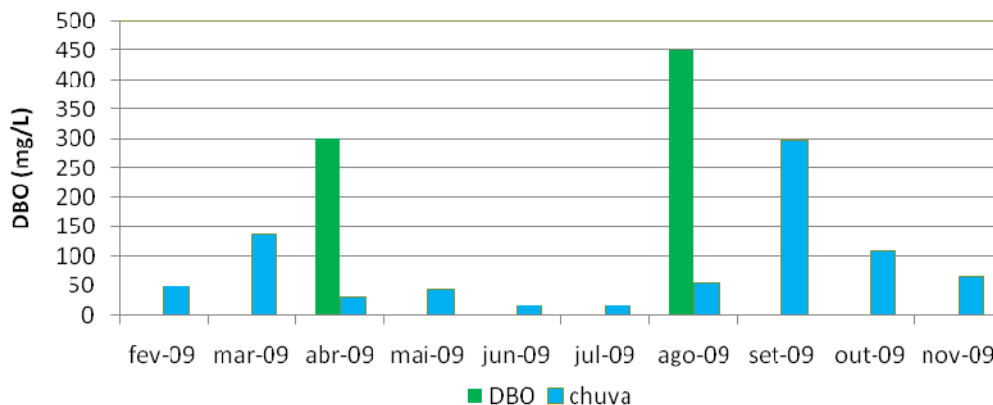
Nos meses relativos às coletas de lixiviado verifica-se que os valores observados para a precipitação não foram elevados.

Tabela 34. Valores totais de precipitação. Fernandópolis (mm)

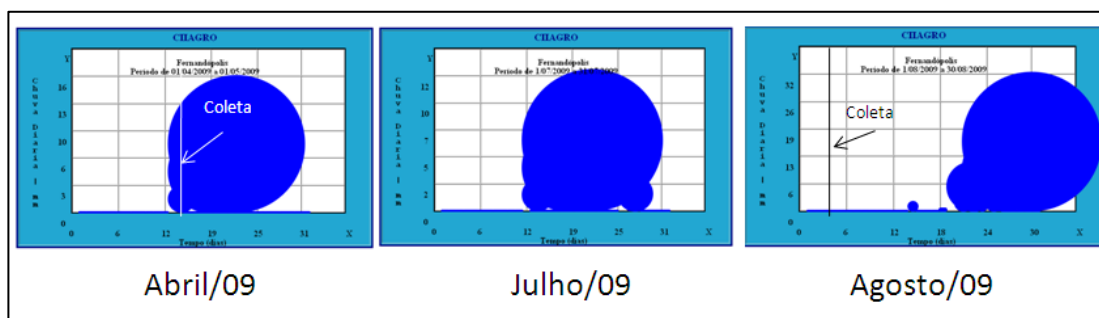
Mês	Dias de Chuva	Chuva Total
jan-09	...	...
fev-09	7	48
mar-09	18	137
abr-09	2	30
mai-09	5	43
jun-09	9	16
jul-09	4	17
ago-09	8	56
set-09	14	297
out-09	13	109
nov-09	10	66
dez-09	0	....

Fonte: Extraído de CIIAGRO²⁰

A Figura 57 apresenta a variação da DBO com a precipitação.

Figura 57. Variação da DBO com a precipitação – Aterro Meridiano

Consultando os dados de pluviometria para o período da coleta, conforme mostra a Figura 58, não houve interferência significativa das chuvas na coleta das amostras (dias 13/04/2009 e 04/08/2009).

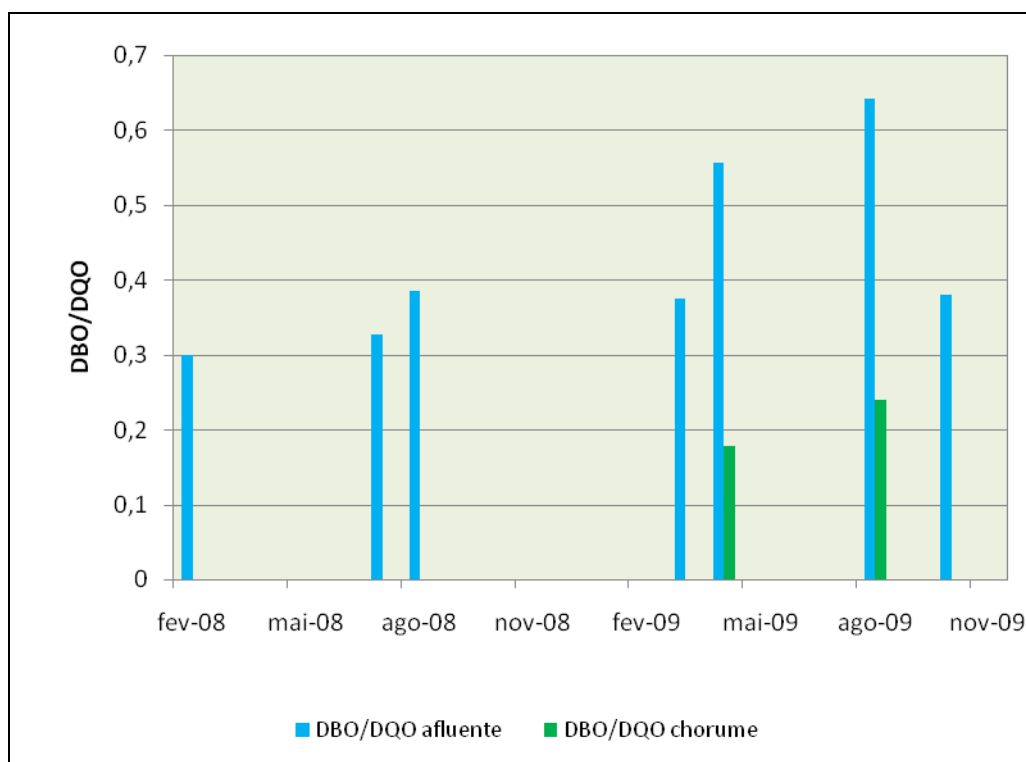
Figura 58. Representação gráfica da precipitação observada em Fernandópolis em abril, julho e agosto de 2009

Fonte: Extraído de CIIAGRO²⁰

A Figura 59 mostra a relação DBO/DQO para o esgoto afluente à estação e para o lixiviado.

A relação DBO/DQO para o esgoto afluente à estação é mais elevada do que a encontrada para o lixiviado, conforme esperado. O lixiviado de aterro quando recebido para tratamento pelo sistema de esgoto sanitário adquire uma condição melhor de biodegradabilidade.

Figura 59. Variação da biodegradabilidade do afluente à ETE e do lixiviado. Fernandópolis



5.3.3.2. Avaliação da Capacidade das Lagoas Anaeróbias – Processo Biológico Anaeróbio

- **Cálculo da carga afluente à estação**

De acordo com os dados do projeto do aterro⁶¹ a máxima carga de DBO estimada para o lixiviado foi de aproximadamente 150 kg DBO/d, prevista para ocorrer em 2010 – 2011.

A partir dos volumes encaminhados para tratamento na ETE 2 Fernandópolis e das análises do lixiviado realizadas, verificou-se que a

carga proveniente do lixiviado não chega a atingir 5% do valor estimado em projeto.

Desta forma, no presente estudo, optou-se pela realização de uma avaliação teórica das cargas de lixiviado na ETE, considerando-se a máxima carga estimada para o aterro, verificando a capacidade da ETE para absorvê-la até o final de plano, de modo a não comprometer o processo biológico de tratamento e a eficiência da ETE, garantindo-se também o atendimento às demandas municipais decorrentes do crescimento vegetativo.

As cargas de DBO foram calculadas e avaliadas quanto à existência ou não de capacidade adicional disponível - “folga na ETE”, para o recebimento das cargas incrementais provenientes do lixiviado. Esta avaliação foi baseada nas cargas estimadas para o ano de 2025, conforme horizonte do projeto da ETE 2 Fernandópolis.

Ressalta-se que a cidade de Fernandópolis possui duas bacias de esgotamento, denominadas 1 e 2. A Estação de Tratamento de Esgotos 1 de Fernandópolis trata 60% dos esgotos gerados e a Estação de Tratamento de Esgotos 2 de Fernandópolis, objeto deste estudo, foi projetada para atender os 40% da população restante.

- **Situação em 2025**

Dados: População urbana 2025 = 64.730 habitantes

População atendida = 64.730*40% = 25.892 habitantes

$$C \text{ arg } a_{DBO_{dom}} = \frac{54gDBO / hab.d}{1000g / kg} * 25.892hab = 1.398kgDBO / d$$

$$C \text{ arg } a_{DBO_{afl_{ETE}}} = C \text{ arg } a_{DOM} + C \text{ arg } a_{CHORUME} = 1.398 + 150 = 1.548kgDBO / d$$

- **Cálculo do tempo de detenção hidráulica – t - na lagoa anaeróbia**

$$V_{\text{anaeróbia}} = 30.150 \text{ m}^3$$

$$Q_{2025} = 60 \text{ L/s}$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{30.150 * 1000}{60 * 86400} = 5,82 \text{ dias} > 3 \text{ dias} \rightarrow \text{ok!}$$

5.3.3.3. Avaliação da capacidade das lagoas facultativas

- **Cálculo da carga afluenta à lagoa facultativa**

Admitindo-se 50% de remoção na lagoa anaeróbia, tem-se que:

$$Carga\ DBO_{\text{afl}\ \text{facultativa}} = \frac{1.548}{2} = 774 \text{ kg} / \text{dia}$$

- **Cálculo da área necessária para a lagoa facultativa**

Adotando-se uma taxa de aplicação superficial de DBO igual a 170 kg DBO/ha*d, tem-se que:

$$\text{área}_{\text{nec}_{\text{lafac}}} = \frac{774 \text{ kg DBO} / \text{d}}{170 \text{ kg DBO} / \text{ha} * \text{d}} = 4,5529 \text{ ha}$$

$$\text{área}_{\text{nec}_{\text{lafac}}} = 45.529 \text{ m}^2$$

- **Área das lagoas facultativas**

A ETE 2 Fernandópolis possui duas lagoas facultativas (LF).

$$\text{Área existente} = \text{Área LF}_1 + \text{Área LF}_2$$

$$\text{Área existente} = 27.176 + 29.722 =$$

$$\text{Área existente} = 56.948 \text{ m}^2 > 45.529 \text{ m}^2 \rightarrow \text{ok}$$

Uma vez que a área existente é maior do que a área necessária para o tratamento na ETE, incluindo o recebimento do lixiviado, verifica-se que a estação possui capacidade disponível para o recebimento do lixiviado.

- **Avaliação da capacidade de recebimento de lixiviado em relação à vazão afluyente à ETE**

Uma vez que a ETE possui capacidade para receber as cargas de lixiviado até o final de plano, foi realizada uma avaliação limitando o recebimento de lixiviado ao máximo de 2% em relação ao volume total tratado na estação, pois de acordo com diversos estudos apresentados na literatura específica, há uma maior incidência de problemas operacionais em estações que recebem um volume de lixiviado acima deste valor.

Dados:

$$Q_{\text{atual}} = 45 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{nom}} = Q_{2025} = 60 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{máxima de chorume}_{\text{atual}}} = 45 \text{ L/s} * 2\% = (0,9 \text{ L/s}) * (86400 \text{ s/d}) / (1000 \text{ L/m}^3) = 78 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

$$Q_{\text{máxima admissível de chorume}} = 60L/s * 2\% = (1,2/s) * (86400s/d) / (1000L/m^3) = 104m^3 / dia$$

Em relação ao volume de lixiviado, verifica-se que também há uma “folga” muito grande, uma vez que o limite máximo admissível atual é de 78 m³/d e a estação recebe aproximadamente 5 m³/d (36 m³/semana).

- **Avaliação da capacidade do recebimento de nitrogênio amoniacal proveniente do lixiviado**

A Resolução Conama n° 357/2005 estabelece os padrões e condições de lançamentos de efluentes nos corpos hídricos. Dentre os parâmetros de controle limitou-se a concentração máxima de nitrogênio amoniacal no efluente em 20 mg/L. Porém, de acordo com a Resolução n° 397/2008 do Conama, o parâmetro nitrogênio amoniacal não mais se aplica aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

Deste modo, a presente avaliação não está focada no atendimento aos padrões legais e sim no aspecto da estabilidade do processo de tratamento, com base em experiências relatadas na literatura.

Esta avaliação foi baseada numa experiência realizada na ETE Lami²⁸ em Porto Alegre, que adota o processo de tratamento por lagoas de estabilização (sistema australiano + lagoa de maturação) e recebe o lixiviado gerado no aterro de Extrema, por despejos de caminhão.

A referida ETE, após 6 meses do início do recebimento de lixiviado para tratamento em conjunto com os esgotos domésticos, passou a enfrentar sérios problemas operacionais, apresentando condições de anaerobiose nas lagoas facultativas, mesmo havendo um controle da DBO afluente, que era mantida abaixo dos níveis previstos em projeto.

O volume de lixiviado recebido na ETE chegou a atingir 10,7% em relação à vazão de esgoto afluente à estação. Foram realizadas várias pesquisas para identificar as substâncias responsáveis pelos problemas observados na estação, verificando-se que a carga de nitrogênio amoniacal afluente chegou a ultrapassar 100 kg N/dia, com concentrações afluentes à lagoa facultativa chegando a até 200 mg/L.

A partir desse diagnóstico foram estabelecidos procedimentos para limitar a carga de Nitrogênio amoniacal recebida na estação, o que possibilitou o reequilíbrio do processo e a adoção de uma faixa segura de recebimento de lixiviado pela estação.

De acordo com estudos realizados por Abeliovich e Azov (1976), citados por FACHIN²⁸ et al (2000), concentrações de amônia maiores que 28 mg/L podem ser tóxicas à população de algas, inibindo a sua atividade fotossintética, especialmente para valores de pH próximos de 9,0. Porém, estudos desenvolvidos em estações de tratamento de esgotos sanitários, indicam que as concentração de nitrogênio amoniacal no afluente superam este valor regularmente, não tendo sido relatados problemas operacionais ou desequilíbrios no processo, ou seja, a concentração de 28 mg/L proposta é muito restritiva.

A concentração de nitrogênio amoniacal no esgoto doméstico varia numa faixa média de 12 a 45 mg/L (METCALF e EDDY⁴⁸, 1991), sendo que 45 mg/L corresponde a um esgoto classificado como forte (concentrado).

Estudos realizados na ETE Lami²⁸ - RS mostraram que elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal afluente à lagoa facultativa repercutiam no desenvolvimento da população de algas cianofíceas e clorofíceas, no mês subsequente. Após vários meses de observação, passou-se a limitar o lançamento de lixiviado em até 1,4% em volume no afluente da estação e o aterro passou a realizar um pré-tratamento, instalando aeradores na lagoa de equalização do lixiviado. A partir da operação desse pré-tratamento, as concentrações do nitrogênio amoniacal

no lixiviado passaram a variar entre 620 mg/L a 1384 mg/L, o que possibilitou aumentar o percentual recebido na ETE Lami para 4,2% em relação à vazão afluyente da estação.

A concentração de nitrogênio amoniacal no lixiviado encaminhado para a ETE Fernandópolis apresentou o valor máximo de 683 mg/L e mínimo de 78 mg/L. Os aterros em operação na Região Metropolitana de São Paulo atingem concentrações próximas de 2000 mg/L de Nitrogênio amoniacal. Adotando-se uma concentração máxima de nitrogênio amoniacal no afluyente da estação em 60 mg/L, é possível estabelecer uma vazão limite para o recebimento de lixiviado na ETE de tal modo que essa concentração máxima afluyente possa ser controlada.

a) Cálculo das cargas de Nitrogênio amoniacal

Sendo:

$$\text{Conc}_{\text{máxNamoniacal_ETE}} = 60 \text{ mg/L}$$

$$\text{Conc}_{\text{máxNamoniacal_Dom}} = 50 \text{ mg/L}$$

$$\text{Conc}_{\text{máxNamoniacal_Lixiviado}} = 2.000 \text{ mg/L, tem-se:}$$

$$\text{CARGA}_{\text{Namoniacal_Dom}} = 50 \text{ mg/L} * 45 \text{ L/s} * 0,0864 = 194 \text{ kg/d}$$

$$\text{CARGA}_{\text{Namoniacal_ETE}} = 60 \text{ mg/L} * (Q_{\text{Dom}} + Q_{\text{Chorume}})$$

$$\text{CARGA}_{\text{Dom}} + \text{CARGA}_{\text{Chorume}} = 233,28 \text{ kg/d} + 60 Q_{\text{Chorume}}$$

$$194 \text{ kg/d} + 2000 Q_{\text{chorume}} = 233,28 + 60 Q_{\text{Chorume}}$$

$$Q_{\text{Chorume}} = 20,25 \text{ m}^3 / \text{d}$$

5.3.4. Considerações sobre o Recebimento de Lixiviado pela ETE 2 Fernandópolis - SP

A partir dessa simulação conclui-se que mesmo a ETE apresentando “folga” em termos de carga de DBO, o recebimento de lixiviado para a vazão afluyente atual, deverá ser limitado em 20 m³/d para garantir que não haverá nenhum problema operacional ou desequilíbrio no processo em função do recebimento de nitrogênio amoniacal.

Essa estimativa é bastante conservadora, limitando em 0,5% a relação entre a vazão do lixiviado e a vazão de esgoto.

Para o final de plano, o recebimento de lixiviado fica limitado a 27 m³/d, considerando-se que a concentração de nitrogênio amoniacal no lixiviado seja de 2000 mg/L.

5.4. VIABILIDADE DO TRATAMENTO CONJUNTO NA RMSP – ETE BARUERI

Para verificar a viabilidade do tratamento conjunto na RMSP - ETE Barueri realizou-se inicialmente a avaliação da conformidade legal do efluente da estação.

A verificação da capacidade da estação para o recebimento das cargas adicionais provenientes do lixiviado foi feita mediante uma simulação desse recebimento na estação com o auxílio do modelo matemático TOXCHEM+.

Essa avaliação levou em consideração a proteção aos sistemas biológicos de tratamento, aeróbios e anaeróbios, bem como a qualidade do lodo e do efluente gerados na estação.

5.4.1. Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri – SP

A Estação de Tratamento de Esgotos Barueri (Figura 60) está descrita com base nas informações da SABESP⁶⁶, 2009.

Em operação desde o dia 11 de maio de 1988, a ETE Barueri é responsável pelo tratamento de esgotos de uma população de mais de 5,0 milhões de habitantes. A estação foi concebida para tratar os esgotos pelo processo de lodos ativados convencional, em nível secundário, com grau de eficiência de 90% de remoção de carga orgânica medida em DBO.

A estação de tratamento foi projetada originalmente para uma vazão média máxima de 63 m³/s, a ser implantada em fases de expansão, por módulos dimensionados para tratar 7,0 m³/s.

Teve seu projeto inicial alterado em 1985, com a Revisão e Atualização do Plano Diretor de Esgotos da RMSP - COPLADES, passando a ter um horizonte de projeto de 28,5 m³/s e os módulos previstos tiveram sua capacidade máxima recalculada.

Figura 60. Vista aérea da ETE Barueri – SP



Fonte: Extraído de SABESP^x, 2009

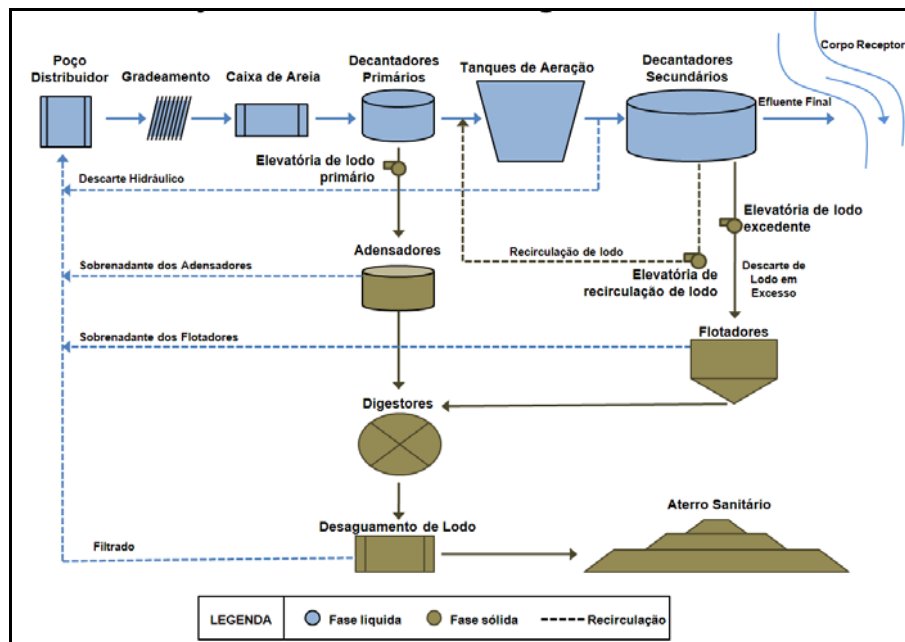
O módulo atualmente em operação na ETE Barueri tem capacidade para tratar uma vazão média de 9,5 m³/s, sendo que a estação já atingiu esse patamar de vazão afluyente.

O Projeto Tietê é um programa do Governo do Estado de São Paulo que consiste em um conjunto de obras destinadas a ampliar a capacidade de coleta, interceptação e tratamento dos esgotos da Região Metropolitana de São Paulo. O Projeto Tietê, iniciado no ano de 1992, já concluiu duas etapas. Nas etapas futuras do programa está prevista a ampliação da capacidade da ETE Barueri para 12,5 m³/s e posteriormente para 16 m³/s.

^x Sabesp. Documentos eletrônicos (Portal Sabesp – Intranet)

A Figura 61 apresenta um esquema da ETE Barueri.

Figura 61. Esquema da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri - SP



A ETE Barueri é composta das seguintes unidades, descritas a seguir.

- **Unidades da Fase Líquida**

- Poço Distribuidor e Elevatória Final
- Grades Médias Mecanizadas
- Caixas de Areia
- Decantadores Primário
- Tanque de Aeração
- Decantadores Secundários

- **Unidades da Fase Sólida**

- Adensadores por Gravidade

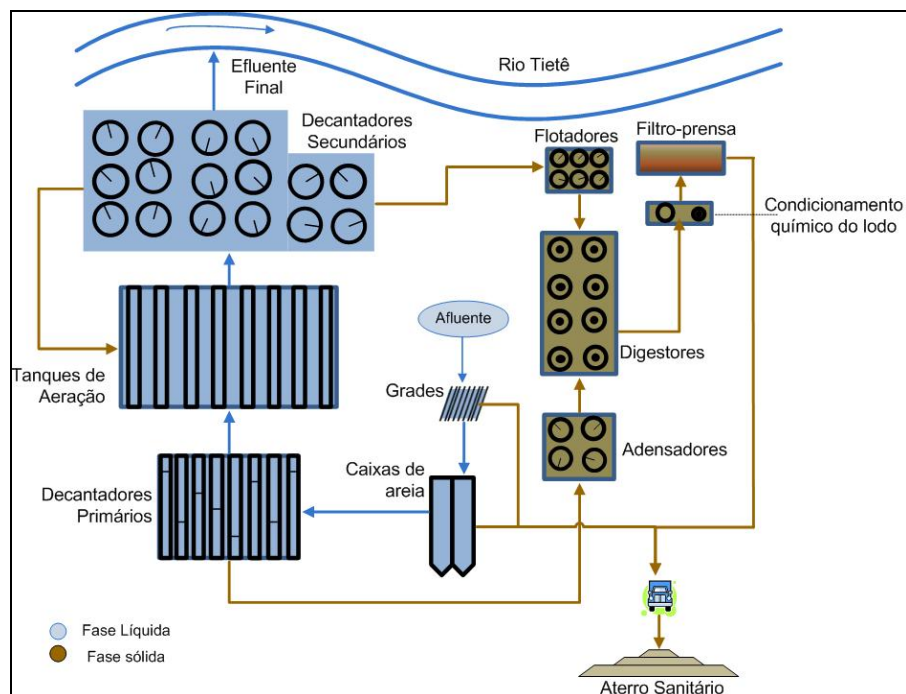
- Adensadores por Flotação
- Digestores
- Condicionamento Químico dos Lodos
- Desidratação Mecânica

- **Sistemas de Apoio**

- Edifício dos Compressores
- Gasômetro/ Queimadores
- Edifício das Caldeiras
- Sistema de Água de Utilidades e Sistema Elétrico

A Figura 62 apresenta a planta esquemática da ETE Barueri.

Figura 62. Planta esquemática da ETE Barueri - SP



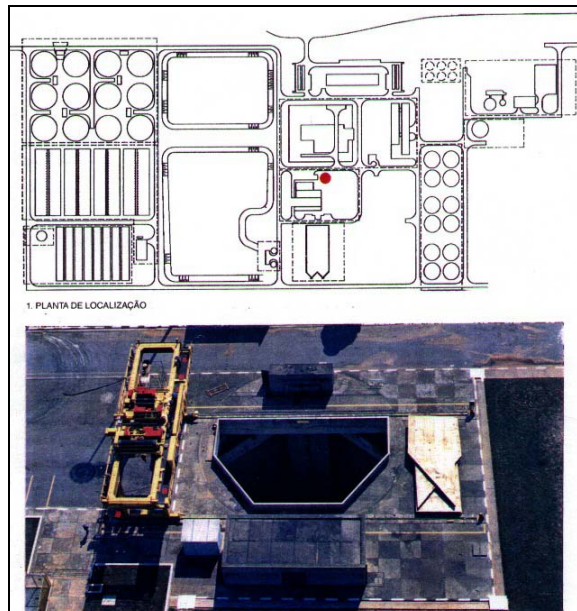
O processo de tratamento de esgotos na ETE Barueri será a partir conforme das informações operacionais disponibilizadas pela SABESP na sua rede de informações interna (Intranet)^{XI}:

a) Tratamento preliminar

O esgoto chega a Barueri por meio do interceptor ITI-6, instalado a cerca de 30 metros de profundidade. O esgoto é recebido na estação em um poço distribuidor, apresentado na Figura 63, de onde é recalcado por bombeamento para o canal afluyente às grades mecanizadas.

O bombeamento é realizado por meio de quatro conjuntos elevatórios, operando com motores de 3.100 HP, de velocidade variável e fixa. Cada conjunto trabalha com vazões na faixa de 3 a 6 m³/s.

Figura 63. Vista do poço distribuidor da ETE Barueri



Fonte: SABESP. Manual de operação da ETE Barueri^{XII}.

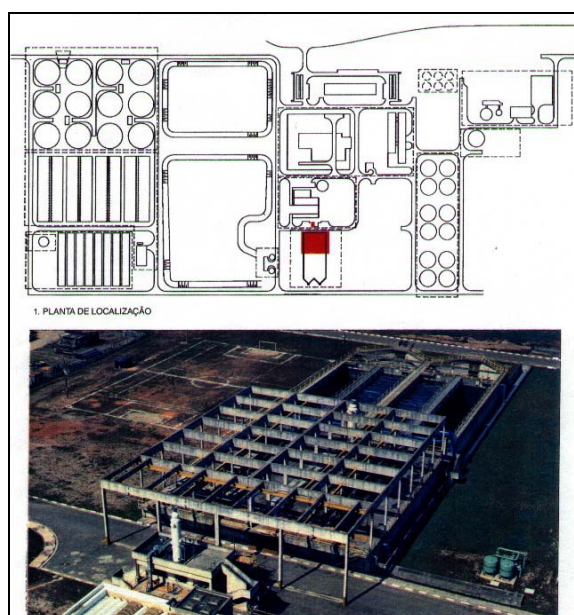
^{XI} Sabesp. Documentos eletrônicos (Portal Sabesp – Intranet)

^{XII} Documento interno

O material retido nas grades é removido através de um sistema de rastelos de acionamento automático em caçambas especialmente destinadas a este fim.

A próxima etapa é a desarenação, por meio de duas caixas de areia do tipo aeradas de fluxos orbitais. O material retido nas caixas possui baixos teores de matéria orgânica, e é removido periodicamente através de guindastes providos de caçambas tipo “Clam Shell”. A estação é provida de sistemas diversos destinados a conter a dissipação de odores. A Figura 64 mostra as grades e caixas de areia da ETE Barueri.

Figura 64. Grades mecanizadas e caixas de areia da ETE Barueri



Fonte: SABESP. Manual de operação da ETE Barueri^{XIII}.

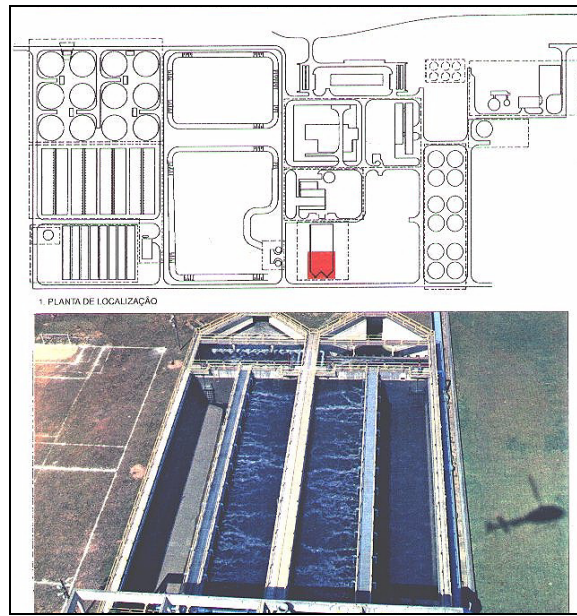
b) Tratamento da fase líquida

O esgoto que chega à Barueri apresenta características sépticas, devido ao longo tempo de trajeto até a estação. Com a finalidade de controle de

^{XIII} Documento interno

odores, existem tanques de pré-aeração na estação com difusores de bolha grossa, conforme mostra a Figura 65.

Figura 65. Tanques de pré-aeração da ETE Barueri.



Fonte: SABESP. Manual de operação da ETE Barueri^{XIV}.

A estação possui sistema de instrumentação destinado ao controle operacional da estação.

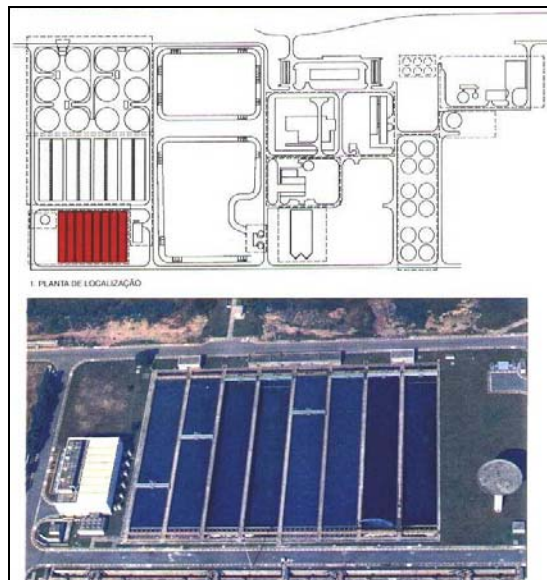
A remoção dos sólidos em suspensão é realizada em unidades de decantação primária de forma retangular (Figura 66), com 95 metros de comprimento, 18 metros de largura e 3,5 metros de altura útil. O material sedimentado e a espuma são conduzidos por conjuntos elevatórios, ao tratamento da fase sólida.

O esgoto decantado primeiramente é conduzido a tanques de aeração (Figura 67) com forma retangular com 130 m de comprimento, 25 de largura e 6m de altura útil. São oito tanques de aeração em operação, cada um

^{XIV} Documento interno

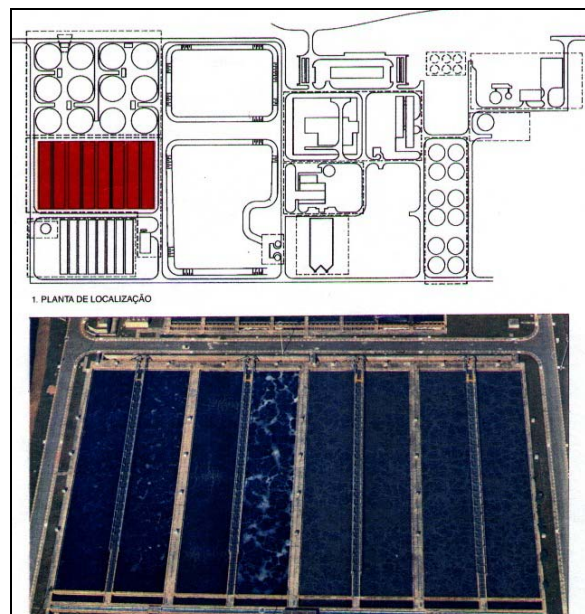
composto por uma malha de 8500 difusores de bolha fina que promovem a aeração do fluido.

Figura 66. Decantadores primários da ETE Barueri.



Fonte: SABESP. Manual de operação da ETE Barueri.^{xv}

Figura 67. Tanques de aeração da ETE Barueri.

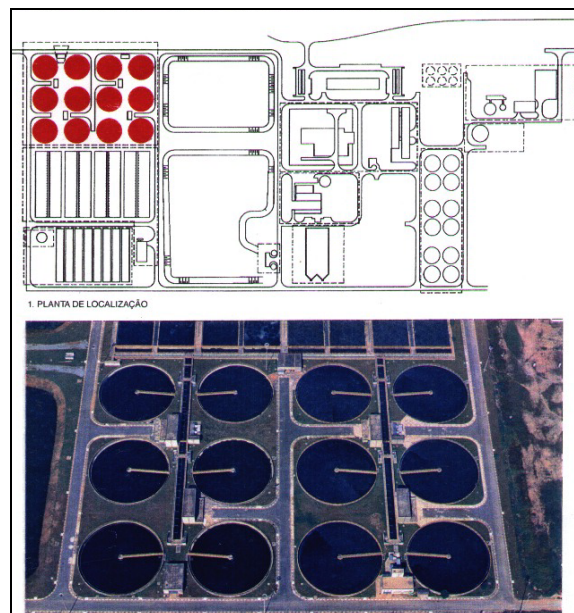


Fonte: SABESP. Manual de operação da ETE Barueri¹⁵

^{xv} Documento interno

A separação da massa biológica dos tanques de aeração é feita em clarificadores circulares (decantadores secundários), com diâmetro interno de 46m e 4m de profundidade. Os decantadores secundários são apresentados na Figura 68.

Figura 68. Decantadores Secundários da ETE Barueri



Fonte: SABESP. Manual de operação da ETE Barueri.^{XVI}

c) Tratamento da fase sólida

O lodo do fundo, extraído por dispositivos de sucção (por gradiente hidráulico) é encaminhado para as elevatórias de lodo ativado e retorna, em parte para o tanque de aeração. O excesso de lodo vai para os adensadores, que operam por flotação.

O excesso de lodo ativado, proveniente dos decantadores secundários, é bombeado para os flotadores onde é adensado até 4% para, então, ser

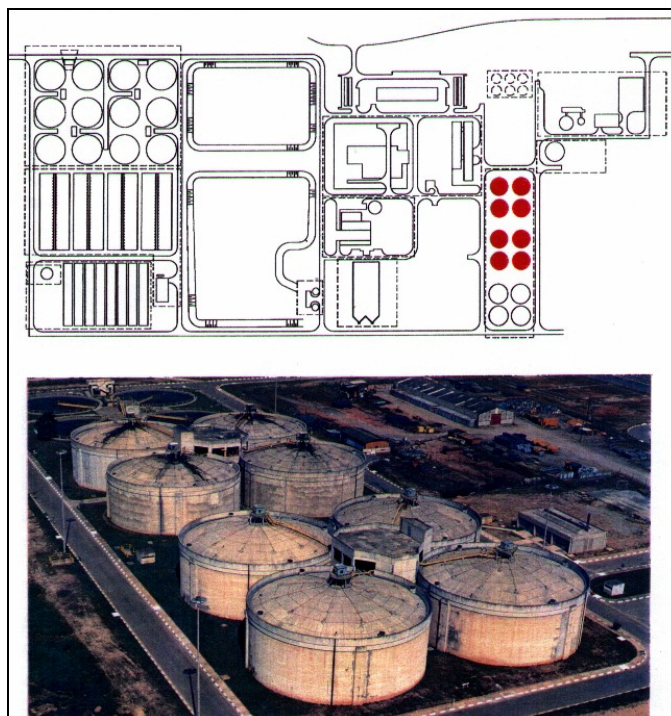
^{XVI} Documento interno

encaminhado aos digestores anaeróbios. Atualmente a estação está operando também com centrifugas nessa etapa do processo.

O lodo dos decantadores primários possui uma concentração em torno de 1% de sólidos e é bombeado para os adensadores por gravidade, onde é adensamento até cerca de 7%, para ser enviado aos digestores anaeróbios. Cada adensador circular possui diâmetro de 29 metros, altura lateral igual a 3,50 m e inclinação de fundo de 18%.

O lodo adensado por gravidade, por flotação e pelas centrifugas é estabilizado em oito digestores de cobertura fixa e volume útil de 10.492 m³, apresentados na Figura 69. O gás produzido durante o processo de digestão é utilizado, após compressão, para homogeneização do lodo contido nos tanques. O excesso de gás será enviado ao gasômetro para armazenamento e deste para os queimadores.

Figura 69. Digestores da ETE Barueri



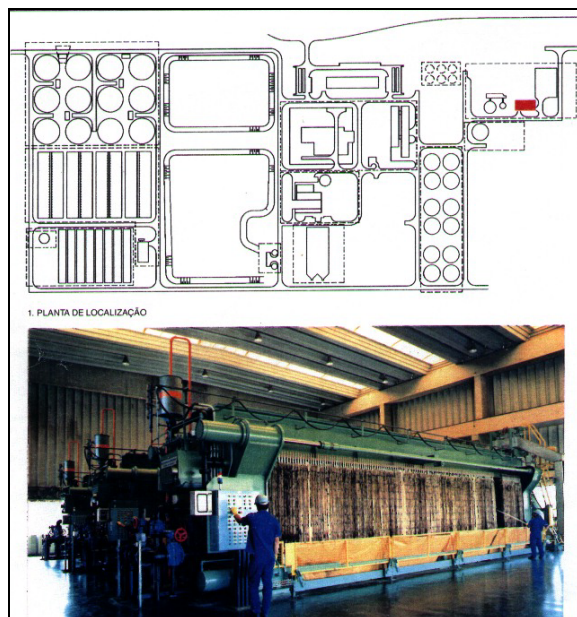
Fonte: SABESP. Manual de operação da ETE Barueri.^{XVII}

^{XVII} Documento interno

Os lodos digeridos, com teor de sólidos de cerca de 3,5%, recebem um condicionamento, com a finalidade de melhorar suas condições de desidratação. No processo de condicionamento químico promove-se a mistura do lodo digerido com polímeros.

A desidratação mecânica do lodo é efetuada pelos filtros prensa e centrífugas. Nos filtros-prensa (Figura 70), o lodo condicionado é injetado entre placas de 4 m² cada, transformando-o em uma “torta de lodo”, cujo teor de sólidos podem atingir valores de até 35%. O sistema é composto basicamente por bombas de alta pressão, dois filtros-prensa com 151 placas cada um e quatro correias transportadoras da torta de lodo. Após a desidratação mecânica os lodos são transportados para disposição em aterro sanitário.

Figura 70. Filtros-prensa da ETE Barueri



Fonte: SABESP. Manual de operação da ETE Barueri.^{XVIII}

^{XVIII} Documento interno

5.4.2. Avaliação da Conformidade Legal do Efluente da ETE Barueri

5.4.2.1. Caracterização do Esgotos da ETE Barueri - RMSP

A Tabela 35 apresenta os resultados dos monitoramentos realizados nos anos de 2007, 2008 e 2009 da ETE Barueri. Os dados apresentados são correspondentes às médias anuais obtidas para Barueri em função das análises mensais realizadas pela operação da ETE.

De acordo com os dados levantados o efluente final da ETE Barueri atende os limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente (Resolução Conama nº 357⁵¹, 2005 e Decreto Estadual nº 8468⁷⁰ de 08/09/1976) para lançamento em corpos hídricos, em relação aos parâmetros apresentados na Tabela 35, exceto sulfeto em 2007 e 2008.

Em relação à eficiência de remoção de DBO, conforme informações obtidas com a área operacional, os dados apontam que a ETE Barueri está passando por um período de instabilidade operacional em decorrência do significativo aumento de vazão observado nos últimos anos, em torno de 3.000 L/s. Para melhorar as condições operacionais da estação, a ETE está sofrendo uma série de intervenções que por vezes afetam o seu desempenho.

Tabela 35. Resultados da caracterização do efluente da ETE Barueri. Valores médios anuais em mg/L.

Parâmetro	2007		2008		2009	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Cádmio Total	0,005	0,003	0,005	0,004	0,006	0,004
Chumbo Total	0,01	0,01	0,013	0,005	0,013	0,011
Cianeto Total	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,0184	0,009
Cobre Total	0,187	0,022	0,154	0,056	0,063	0,031
Cromo Total	0,13	0,02	0,186	0,058	0,295	0,103
Fenóis Totais	0,556	0,067	0,217	0,058	0,071	0,051
Mercúrio Total	0,002	0,001	0,00276	0,00187	0,004	0,002
Níquel Total	0,078	0,024	0,082	0,044	0,129	0,040
Nitrogênio Amoniacal Total	47	34	37	29	33	26
Sulfeto	5,8	2,7	3,6	1,6	2,72	0,92
Zinco Total	0,389	0,061	0,432	0,157	0,126	0,033

Fonte: Relatório de Dados Operacionais da ETE Barueri⁶⁷. SABESP.

O escopo das obras em desenvolvimento na ETE Barueri compreende, dentre outros, o nivelamento dos vertedores dos decantadores secundários, a limpeza dos digestores, recuperação da estrutura civil, aquisição de equipamentos diversos. Para as etapas futuras das obras estão previstas as instalações de mais duas unidades de decantadores primários e secundários, aumentando a capacidade da fase líquida da estação. Posteriormente serão realizadas intervenções para aumentar a capacidade da ETE para 14,25 m³/s.

5.4.3. Avaliação da Capacidade da ETE Barueri para o Recebimento do Lixiviado dos Aterros

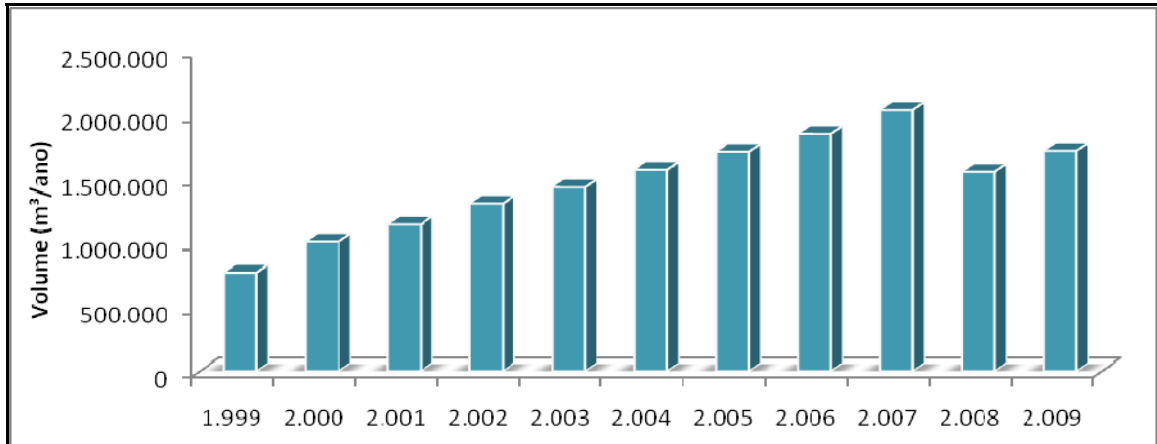
5.4.3.1. Caracterização dos Lixiviados Recebidos para Tratamento na ETE Barueri

a) Volume de lixiviados de aterros recebidos na ETE Barueri

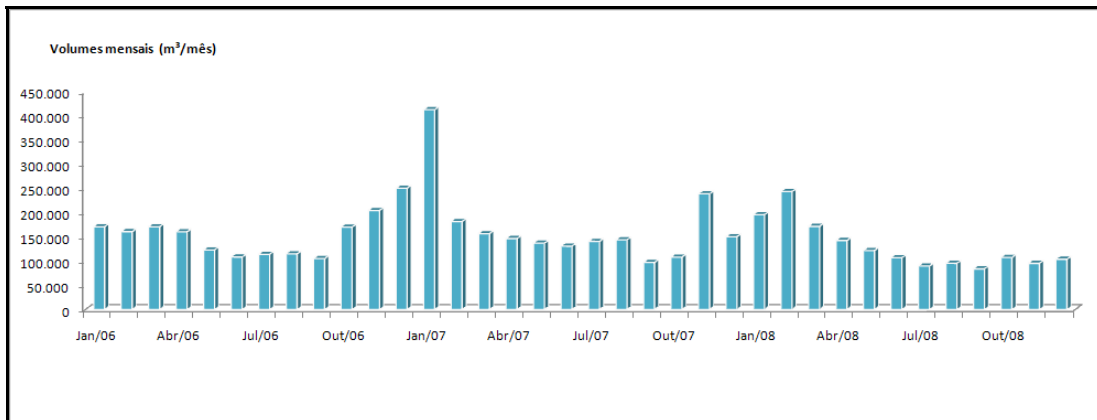
Conforme mencionado anteriormente, cerca de 80% dos lixiviados de aterros recebidos nas estações de tratamento de esgotos do sistema principal da RMSP é encaminhado para tratamento conjunto com os esgotos sanitários na ETE Barueri.

A Figura 71 apresenta a evolução da quantidade de lixiviado recebida em Barueri por caminhão. Os dados levantados apontam que o volume médio de lixiviado recebido em 1999 era de 2.117 m³/dia, chegando a um valor máximo de 5.605 m³/dia em 2007. Em 2008 o volume médio de lixiviado sofreu uma sensível queda que pode ser atribuída ao fato de que outras estações de tratamento de esgotos do sistema principal da RMSP também passaram a receber o lixiviado de aterros, especialmente a ETE Parque Novo Mundo.

Em 2009, a vazão média dos despejos de lixiviado, medida até o final do mês de novembro, foi de 4.700 m³/dia, o que equivale a mais de 150 caminhões/dia com capacidade de 30m³ cada.

Figura 71. Volume anual de lixiviado descartado no Piqueri. Período: 1999 - 2009

A Figura 72 apresenta os volumes mensais de lixiviado despejados no Piqueri desde o mês de janeiro de 2006 até dezembro de 2008. É interessante observar os picos de volume correspondentes aos meses de maior incidência de chuva.

Figura 72. Volume mensal de lixiviado descartado no Piqueri. Período: 2006-2008

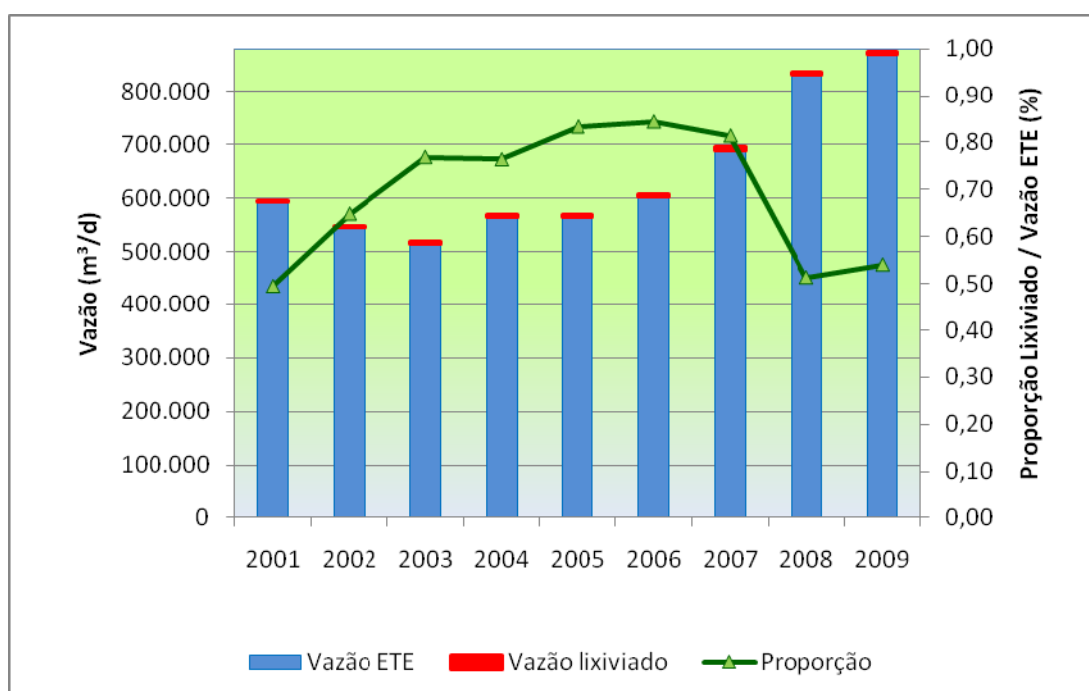
b) Volume de lixiviado em relação ao volume total tratado

A Tabela 36 apresenta a vazão de lixiviado e a vazão afluente à ETE Barueri, de 2001 a 2009.

Tabela 36. Vazão de lixiviado e vazão afluente. ETE Barueri. (m³/d)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ETE	593.050	545.148	514.080	565.229	564.278	602.726	688.954	831.686	870.307
Lixiviado	2.935	3.535	3.949	4.315	4.699	5.082	5.605	4.271	4.704

A Figura 73 apresenta a porcentagem do lixiviado recebido na ETE em relação ao volume total afluente à estação. Conforme relatado neste trabalho, vários pesquisadores consideram que o recebimento de lixiviado nas ETEs em quantidade de até 2% em relação ao volume afluente total não provocam alterações significativas na eficiência do processo de tratamento.

Figura 73. ETE Barueri. Proporção entre Vazão lixiviado / Vazão ETE

Analisando a Figura 73 constata-se que nos últimos 9 anos a proporção de lixiviado em relação à vazão afluente da ETE Barueri não atingiu 0,90%.

c) *Carga proveniente dos lixiviados dos aterros sanitários*

Uma vez que a ETE Barueri recebe lixiviados provenientes de vários aterros com características distintas, os dados relativos aos lixiviados serão apresentados em termos de carga por poluente. A Tabela 37 apresenta as cargas para diversos parâmetros, discriminados por aterro.

Os aterros discriminados na Tabela 37 correspondem aos aterros operados ou contratados pela Prefeitura municipal de São Paulo para a disposição final de resíduos sólidos urbanos. Os aterros Essencis – Caieiras e CDR – Pedreira estão em operação. Os demais, são aterros encerrados.

Tabela 37. Carga de lixiviados de aterros recebida na ETE Barueri. Valores médios anuais em kg/d.

Parâmetros	São João	Essencis Caieiras	CDR Pedreira	Bandeirantes	Santo Amaro	Vila Albertina	Outros Aterros da RMSP	Total
Cádmio	0,011	0,009	0,008	0,078	0,002	0,001	0,007	0,117
Chumbo	0,473	0,479	0,437	0,236	0,042	0,004	0,402	2,072
Cianeto	0,177	0,153	0,139	0,230	0,003	0,008	0,128	0,839
Cobre	0,045	0,035	0,032	0,098	0,010	0,006	0,030	0,256
DBO _{5,20}	2.083	1.317	1.202	1.878	49	30	1.107	7.666
DQO	5.108	2.995	2.732	6.139	133	61	2.517	19.686
Fenóis	1,509	0,150	0,137	0,877	0,020	0,011	0,126	2,830
Mercúrio	0,004	0,003	0,003	0,042	0,001	0,001	0,003	0,056
Níquel	0,372	0,263	0,240	0,210	0,030	0,012	0,221	1,349
Nitrogênio Amoniacal	1.733	1.358	1.239	1.389	126	53	1.142	7.041
Sulfato	56,300	3,512	3,204	216,304	67,925	1,794	2,952	351,991
Sulfeto	1,791	0,146	0,133	0,269	0,083	0,010	0,123	2,555
Zinco	0,271	0,683	0,623	0,420	0,058	0,019	0,574	2,647

O item nomeado como “outros” corresponde aos lixiviados de vários aterros em operação, municipais e privados, transportados por caminhão para tratamento na ETE Barueri. As cargas relativas ao item “*Outros Aterros da RMSF*” foram calculadas tomando-se como referência as concentrações verificadas para o aterro Essencis – Caieiras e as vazões efetivamente recebidas pela ETE Barueri provenientes desses aterros.

d) *Carga de lixiviado em relação às cargas recebidas na estação*

A Tabela 38 apresenta a carga média do lixiviado para os parâmetros avaliados e a carga total recebida na ETE Barueri.

Tabela 38. Vazão e carga de lixiviado e do afluente à ETE Barueri – 2009. Valores em (kg/d), exceto onde indicado.

Parâmetros	Afluente	Lixiviado	Proporção (%)
Vazão (m ³ /d)	870.307	4.704	0,54
DBO	269.646	7.666	2,84
DQO	461.627	19.686	4,26
Cádmio	5,24	0,12	2,23
Chumbo	11,34	2,07	18,26
Cobre	54,98	0,03	0,05
Níquel	112,57	1,35	1,20
Zinco	109,95	2,65	2,41

5.4.3.2. Avaliação da Capacidade de Recebimento de Cargas Adicionais na ETE Barueri. Fase Líquida e Fase Sólida.

a) Limites de referência adotados

Na Tabela 39 são apresentados os limites de referência adotados neste estudo para o cálculo da carga máxima admissível no afluyente. Esses limites levam em consideração a proteção aos processos biológicos de tratamento aeróbios e anaeróbios (tanque de aeração e digestor), a destinação final do lodo, considerando-se a utilização agrícola com base nos limites legais previstos na Resolução Conama nº 375/2006⁵³ e o lançamento do efluente tratado nos corpos hídricos receptores, atendendo aos limites previstos na Resolução Conama nº 357/2005⁵¹.

Os limites adotados para o lodo, apresentados na Tabela 39 foram convertidos para mg/L, adotando-se o teor de sólidos no lodo desidratado igual a 25% e a densidade do lodo igual a $\gamma = 1,2 \text{ t/m}^3$.

Tabela 39. Limites de referência adotados para o cálculo da carga máxima admissível

Polente	Inibição lodos ativados ⁽¹⁾ mg/L	Inibição digestão anaeróbia ⁽¹⁾ mg/L	Lançamento no corpo receptor ⁽²⁾ mg/L	Utilização do lodo na agricultura			
				USEPA ⁽³⁾		Conama ⁽⁴⁾	
				mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/L
Cádmio	1	20	0,2	85	25,5	39	11,7
Chumbo	0,1	340	0,5	840	252	300	90
Cobre	1	40	1	4300	1290	1500	450
Cromo	1	110	0,5	...	...	1000	300
Níquel	1	10	2	420	126	420	126
Zinco	0,08	400	5	7500	2250	2800	840

(1) USEPA 430/9-87; (2) Resolução Conama 357/2005; (3) USEPA 40CF - Part 503;

(4) Resolução Conama 375/2006

Fonte: Adaptado de Helou³⁵, 2000

b) Dados de entrada para simular a ETE Barueri

Para processar o programa que permite simular a estação de tratamento de esgotos de Barueri foram informados os seguintes dados de entrada:

- **Caracterização do esgoto afluente:**
 - Vazão afluente: $870.307\text{m}^3/\text{d}$
 - SST = 317 mg/L
 - OG = 60 mg/L
 - Taxa de sólidos voláteis: 77%
 - T = 20°C

- **Caixa de areia**
 - Número de unidades em operação: 3
 - Altura = 4,5 m
 - Área = 810 m²
 - Vazão de ar = 3.360 m³/h

- **Decantador Primário**
 - Número de unidades em operação: 8
 - Altura = 3,5 m
 - Área superficial = 13.680 m²
 - Comprimento do vertedor = 144 m
 - Altura de queda dos vertedores = 0,20 m
 - SST no efluente = 103 mg/L
 - ST no lodo = 6.000 mg/L

- **Tanque de aeração**

- Número de unidades em operação: 8
- Altura = 6,0 m
- Área superficial = 26.520 m²
- MLSS = 4.224 mg/L
- Fração volátil de SST = 73%
- O.D. = 1,0 mg/L
- Qar = 151.200 m³/h
- Taxa de eficiência de transferência de O₂ = 30%

- **Decantador Secundário**

- Número de unidades em operação: 15
- Altura = 4,0 m
- Área superficial = 24.930 m²
- Comprimento do vertedor = 2.166 m
- Altura de queda dos vertedores = 0,20 m
- SST no efluente = 83 mg/L
- ST no lodo = 7.300 mg/L
- Taxa de recirculação = 99%

- **Adensador por gravidade**

- Número de unidades em operação: 3
- Profundidade = 3,5 m
- Área superficial = 1.982 m²

- Comprimento do vertedor = 273 m
- Altura de queda dos vertedores = 0,20 m
- SST no sobrenadante = 400 mg/L
- ST no lodo = 36.590 mg/L

- **Flotador**

- Número de unidades em operação: 4
- Área = 669 m²
- Comprimento do vertedor = 183 m
- Altura de queda dos vertedores = 0,10 m
- Eficiência de remoção de sólidos = 95%
- Vazão de ar = 577 m³/h
- Vazão de lodo flotado = 1.642 m³/d
- ST no lodo = 7.300 mg/L
- Taxa de recirculação = 99%

- **Digestor**

- Número de unidades em operação: 8
- Eficiência de remoção de sólidos = 35%
- T = 21°C

- **Centrífuga**

- Concentração final de sólidos = 23%
- ST no filtrado = 1.314 mg/L

c) *Cálculo da concentração máxima admissível no afluente*

Para o estabelecimento da carga máxima admissível no afluente da ETE Barueri foi inicialmente estimada a concentração máxima admissível no afluente.

A Tabela 40 apresenta os valores calculados pelo Toxchem+ para Barueri e a concentração máxima admissível no afluente da ETE.

Tabela 40. Cálculo da concentração máxima admissível no afluente – ETE Barueri. Valores em mg/L.

Poluente	Concentração máxima admissível no afluente da estação	Concentração no esgoto afluente ao tanque de aeração	Concentração no lodo afluente a digestão	Concentração no efluente final da estação	Concentração no lodo desidratado
Cádmio	0,0205	0,1108	2,787	0,00749	11,81
Chumbo	0,103	0,11	9,414	0,05923	39,79
Cobre	0,157	1,006	23,71	0,04619	100,6
Cromo total	0,062	0,02808	1,004	0,00150	4,266
Níquel	0,7	0,6767	10,009	0,6569	39,74
Zinco	0,08	0,0804	6,369	0,05046	26,85

Na Tabela 41 os valores destacados apontam que o limite máximo teórico estabelecido foi atingido, possibilitando identificar a fase do processo que limita o recebimento de cargas para os parâmetros avaliados, da seguinte forma:

- $\text{Concentração}_{\text{CÁDMIO}} > 0,00205 \text{ mg/L} \rightarrow$ pode comprometer a disposição agrícola do lodo

- Concentração_{CHUMBO} > 0,0103 mg/L → pode provocar a inibição dos processos aeróbios de tratamento
- Concentração_{COBRE} > 1,006 mg/L → pode provocar a inibição dos processos aeróbios de tratamento
- Concentração_{CROMO} > 0,062 mg/L → pode causar inibição no processo de digestão anaeróbia do lodo
- Concentração_{NÍQUEL} > 0,70 mg/L → pode causar inibição no processo de digestão anaeróbia do lodo
- Concentração_{ZINCO} > 0,08 mg/L → pode provocar a inibição dos processos aeróbios de tratamento

Quando se recebe contribuições contendo teores elevados de metais nas estações de tratamento de esgotos é esperado que possa haver algum comprometimento em relação à produção de lodo na estação. Pela simulação realizada, tanto o chumbo quanto o cobre e o zinco poderão inibir o tratamento biológico da fase líquida antes que sejam atingidos níveis que possam comprometer a qualidade do lodo gerado.

d) Cálculo da carga máxima admissível no afluente e capacidade disponível - “folga” da ETE

A Tabela 41 apresenta os valores de concentração obtidos para os metais presentes no esgoto afluente da ETE Barueri no período de dezembro/2008 a novembro/2009. A partir desses valores calculou-se a carga observada na ETE para compará-la com a carga máxima admissível e verificar se o

sistema está com sobrecarga ou se apresenta “folga” para o recebimento de efluentes contendo os metais avaliados.

Tabela 41. Caracterização da ETE Barueri. 2009. Metais. Valores em mg/L

Mês	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo Total	Níquel	Zinco
dez/08	0,007	0,02	0,109	0,513	0,219	0,276
jan/09	0,007	0,02	0,109	0,389	0,188	0,203
fev/09	0,006	0,01	0,04	0,205	0,093	0,078
mar/09	0,006	0,01	0,07	0,28	0,14	0,106
abr/09	0,007	0,01	0,042	0,25	0,11	0,075
mai/09	0,008	0,02	0,05	0,293	0,113	0,116
jun/09	0,003	0,01	0,04	0,28	0,108	0,111
jul/09	0,007	0,01	0,069	0,342	0,111	0,123
ago/09	0,006	0,01	0,057	0,264	0,115	0,098
set/09	0,003	0,01	0,058	0,21	0,112	0,09
out/09	0,003	0,01	0,042	0,2	0,073	0,072
nov/09	0,003	0,01	0,07	0,31	0,16	0,166
Média	0,006	0,013	0,063	0,295	0,129	0,126

A Tabela 42 apresenta os resultados obtidos para a carga máxima admissível na ETE Barueri e a respectiva “folga” para o recebimento de cargas em Barueri, considerando-se a vazão de 10,1 m³/s, correspondente ao período avaliado.

Tabela 42. Cálculo da carga máxima admissível e da “folga”. ETE Barueri

Poluente	Concentração afluente à estação mg/L	Concentração máxima admissível no afluente da estação mg/L	Carga observada na estação kg/d	Carga máxima admissível kg/d	“folga” kg/d
Cádmio	0,006	0,0205	5,24	17,89	12,65
Chumbo	0,013	0,103	11,34	89,88	78,54
Cobre	0,063	0,157	54,98	137,00	82,03
Cromo	0,295	0,062	257,43	54,10	-203,33
Níquel	0,129	0,7	112,57	610,85	498,28
Zinco	0,126	0,08	109,95	69,81	-40,14

Os valores obtidos mostram que a ETE Barueri já ultrapassou o limite estabelecido para o recebimento de cromo e zinco, não havendo “folga” na ETE para o recebimento desses metais. No entanto, deve-se ressaltar que os limites teóricos de inibição variam numa faixa muito ampla de valores, de tal modo que alguns autores admitem concentrações de até 20 mg/L para o zinco como limite de inibição ao processo de lodos ativados (valor adotado = 0,08 mg/L); para o cromo o limite pode chegar a 100 mg/L (valor adotado = 1,0 mg/L).

Com exceção do cobre, os metais zinco, chumbo e cromo estão no limite inferior da faixa de variação e, portanto os limites teóricos adotados podem ter sido muito conservadores, levando ao estabelecimento de uma carga limite muito restritiva.

A Tabela 43 apresenta os valores das concentrações de metais para o lodo de Barueri. De acordo com os dados apresentados, durante o período analisado, o lodo produzido na estação atendeu as exigências da legislação para aplicação na agricultura.

Tabela 43. Concentração de metais no lodo desidratado da ETE Barueri (mg/kg)

Limites	Cádmio	Chumbo	Cobre	Níquel	Zinco
USEPA 40 CF part. 503	85	840	4.300	420	7.500
Resolução Conama nº 375/2006	39	300	1.500	420	2.800
Valores observados em Barueri	9	76	696	291	1.485

Fonte: Relatório de dados operacionais ETE Barueri⁶⁷ - Dez/08 a Nov/09

5.4.3.3. Considerações sobre o Recebimento de Lixiviado pela ETE Barueri - SP

As simulações realizadas apontaram que a estação não possui “folga” para o recebimento de cromo e zinco, porém, avaliando-se o teor de sólidos no lodo gerado na estação, verifica-se que eles estão atendendo à condição de qualidade mais restritiva que é para finalidades agrícolas.

A ETE Barueri apresentou um comportamento atípico no período da avaliação, porém conforme foi mencionado, esses problemas são decorrentes de um contexto operacional transitório relacionado às obras para adequação e melhoria da estação.

A carga de DBO do lixiviado no período analisado corresponde a 7.666 kg/d, o que é equivalente a 2,84% da carga total tratada na ETE Barueri. Em relação ao volume, o lixiviado representa 0,54% do total. Essas proporções parecem pequenas, porém, trata-se da ETE Barueri, uma estação de grande porte, de tal modo que a carga dos lixiviados dos aterros tratada em Barueri é equivalente à carga gerada por uma população de aproximadamente 140 mil habitantes e em relação ao volume, a população equivalente é em torno

de 30 mil habitantes. Verifica-se, portanto, que essas cargas são elevadas, porém são pequenas em termos percentuais, em relação ao montante tratado na ETE Barueri.

A proporção em volume dos lixiviados de aterros recebidos em Barueri vêm se mantendo constante ao longo dos anos, mas a representatividade da carga do lixiviado diminuiu, se comparadas com estudos pretéritos desenvolvidos por PAGANINI⁵⁶ et al, 2003.

O recebimento de lixiviado para tratamento conjunto na ETE em Barueri tem sido uma alternativa viável ao longo do tempo, exigindo, no entanto, constante monitoramento para avaliar possíveis interferências no desempenho operacional da estação.

5.5. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ATERROS DO ESTADO DE SÃO PAULO

A Cetesb disponibiliza o IQR por município, porém muitos municípios estruturam consórcios para a disposição conjunta de resíduos sólidos em aterros sanitários. Desta forma, existem aterros que atendem a vários municípios e também existem municípios que possuem mais de um local para a disposição final de resíduos sólidos.

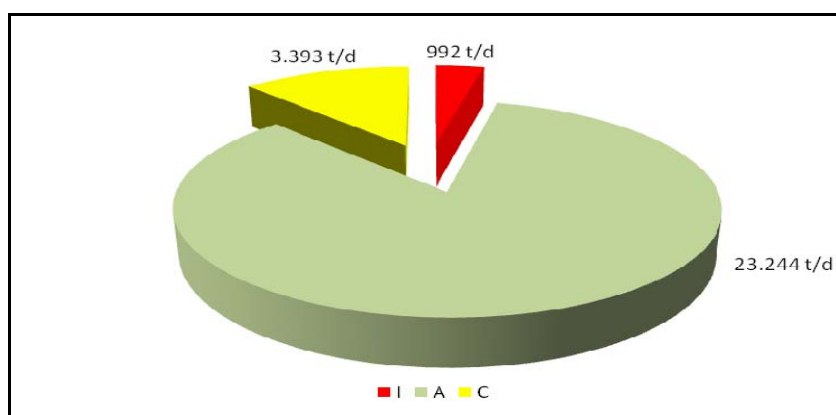
Consultando-se os Inventários de Resíduos Sólidos da Cetesb é possível conhecer os resultados das avaliações dos aterros maneira geral, por meio do IQR. Entretanto, em relação à questão específica dos lixiviados dos aterros, a Cetesb não fornece essas informações em suas publicações. Ou seja, não há como saber se determinado aterro possui, ou não, um sistema para o tratamento de lixiviados e também não estão disponibilizadas as informações em relação às condições operacionais desses sistemas, quando existentes. Ressalta-se que essas informações são de conhecimento da agência ambiental, pois elas integram os critérios para a composição do IQR.

Deste modo, a partir do INVENTÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CETESB¹⁵(2008) e de informações de seu cadastro sobre os locais de disposição de resíduos sólidos do Estado de São Paulo, foram quantificados os aterros sanitários e os aterros em valas, apenas com a finalidade de se ter a noção de grandeza nesse sentido.

De acordo com os dados levantados pela CETESB¹⁵, no ano de 2008, 84,1% da quantidade diária de resíduos gerados no Estado de São Paulo tem uma disposição final adequada, com classificação A ($IQR > 8,0$); 12,3% estão sendo destinada para locais controlados, com classificação C ($6,0 < IQR \leq 8,0$) e 3,6% é disposto em locais classificados como I, com condições inadequadas ($IQR \leq 6,0$), conforme mostra a Figura 74.

Em relação ao número de municípios a classificação apresentou a seguinte configuração: dos 645 municípios do Estado, 334 receberam classificação como condição *Adequada*; 258 com classificação *Controlada* e 53 municípios com classificação *Inadequada*.

Figura 74. Situação geral do Estado de São Paulo quanto às quantidades de resíduos sólidos domiciliares gerados e o IQR



De acordo com informações de cadastro fornecidas pela CETESB^{XIX}, o Estado de São Paulo possuía, em novembro de 2008, 389 cadastros de locais para destinação final de resíduos sólidos domésticos, classificados como *atividade de aterros sanitários* ou *atividade de aterros em valas*, localizados em 369 municípios, totalizando 190 aterros em valas e 199 aterros sanitários. Conclui-se que dos 645 municípios de São Paulo, apenas 57% possui locais para disposição final de resíduos no próprio município.

^{XIX} Documentos internos

5.6. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LIXIVIADO NOS PERÍODOS CHUVOSOS E DE SECA.

As avaliações da produção do lixiviado em relação à precipitação serão realizadas para o Aterro São João, escolhido conforme mencionado anteriormente, pois foi responsável pelos maiores volumes de lixiviados encaminhados para Barueri em 2008. Outro aspecto que contribuiu para essa escolha foi devido à disponibilização dos dados pelo Limpurb, referentes aos volumes diários, tanto em termos de vazão de lixiviado quanto em termos dos dados pluviométricos, registrados no próprio aterro.

É interessante notar que as correlações obtidas para os anos de 2008 e 2009 foram fortes e positivas, conforme era esperado, equivalentes a 0,74 e 0,93, respectivamente, denotando que a vazão de lixiviado aumenta com a incidência de chuvas, uma vez que o aterro não é coberto, e os sistemas de drenagem de águas pluviais, mesmo quando em boas condições operacionais nunca apresentam eficiência igual a 100%.

Essas correlações foram feitas em função da vazão média mensal de lixiviado e da precipitação acumulada no mês, a partir dos dados operacionais fornecidos pelo LIMPURB, 2009^{xx} e são apresentadas nas Figuras 75 e 76.

Entretanto, quando se calcula a correlação para os meses do ano, em função da vazão diária e da chuva diária, as correlações são baixas e até negativas. Esse fato pode ser atribuído a uma série de ocorrências no aterro, como o escoamento superficial, a evaporação, a capacidade de retenção de umidade pelas células de aterro, lembrando-se que os aterros sanitários são providos de sistemas de drenagem da água de chuva com a finalidade de evitar que a água se infiltre pelas células. Em função dessas variáveis os valores acumulados no mês passam a ser mais representativos.

^{xx} Documentos internos

Figura 75. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. 2008

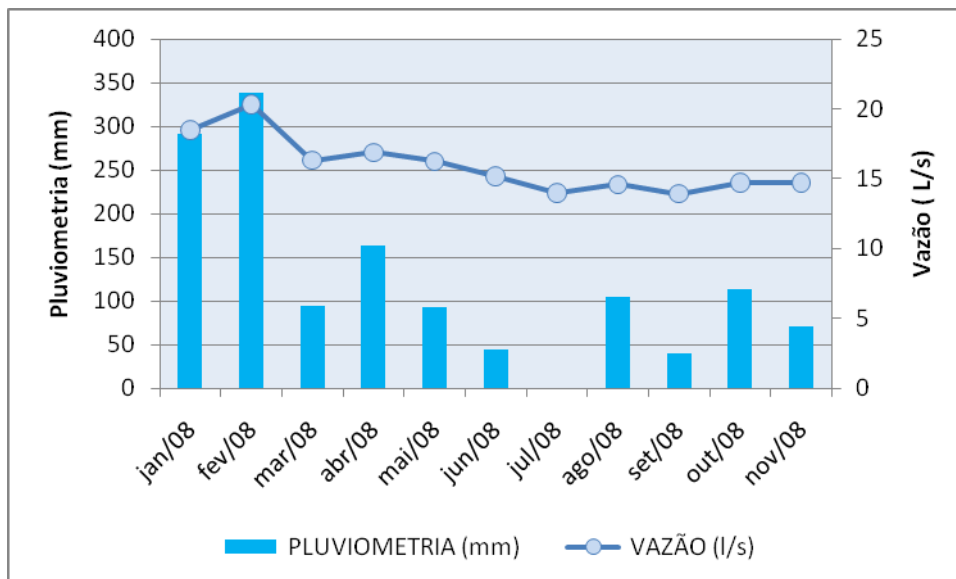
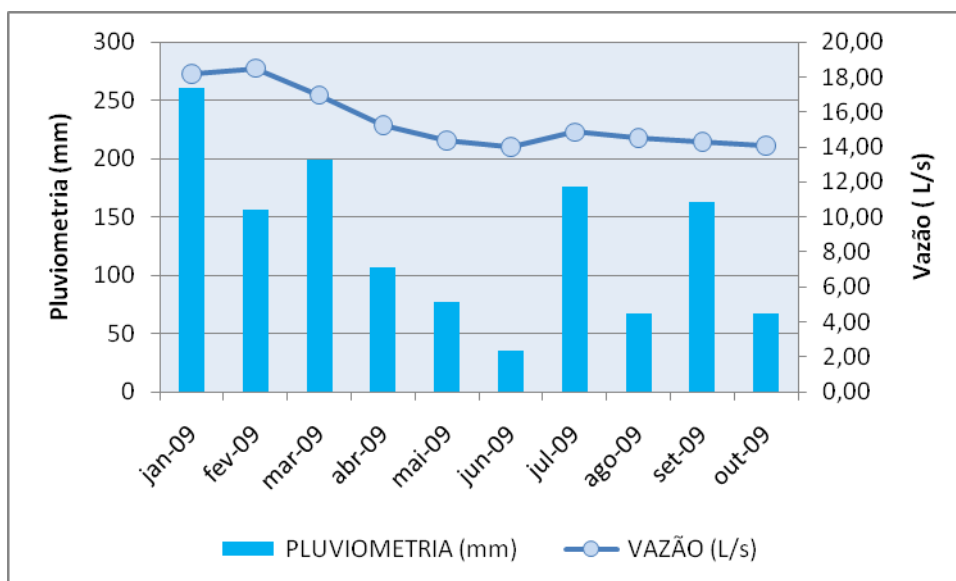


Figura 76. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. 2009



As Figuras 77 a 86 apresentam as variações diárias de vazão do lixiviado e da precipitação para o aterro São João.

Analisando os gráficos apresentados verifica-se que a diferença entre os valor máximo e o valor mínimo da vazão do lixiviado produzido nos aterros

chega a até 8L/s entre um dia e outro dentro do período de 1 mês, nos períodos chuvosos. Nos meses de seca, essa variação não ultrapassa 3 L/s.

Figura 77. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Janeiro/2008

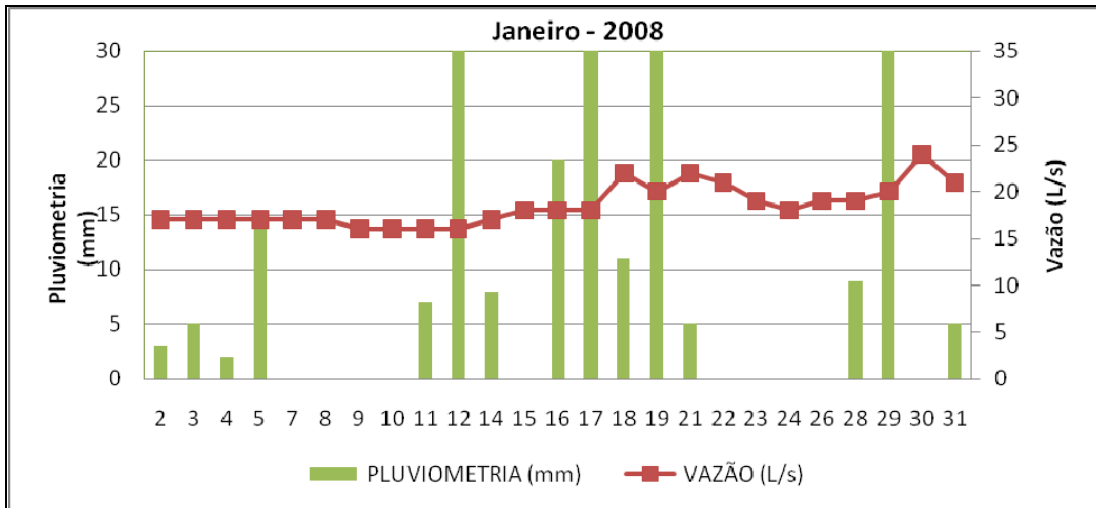


Figura 78. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Fevereiro/2008

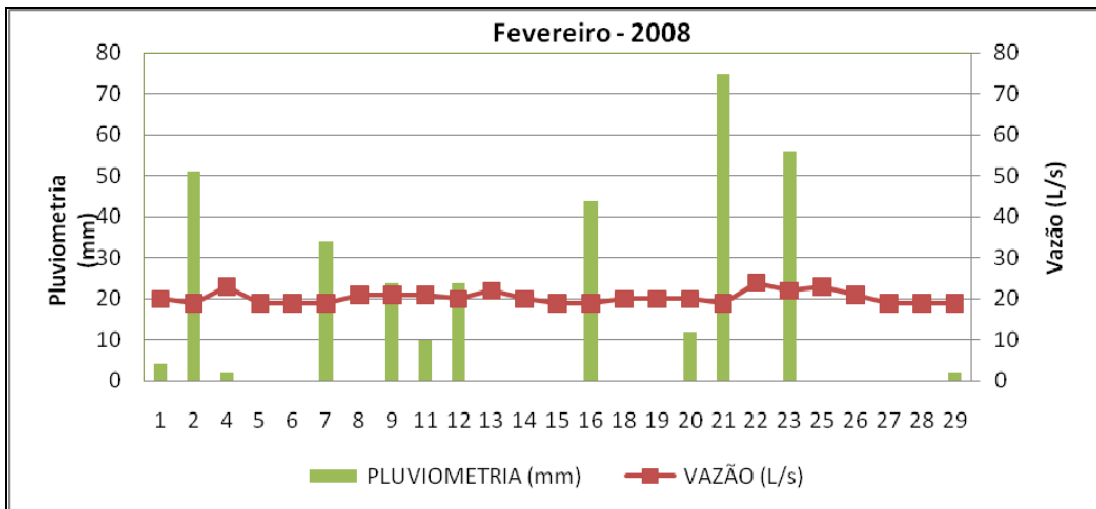


Figura 79. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Março/2008

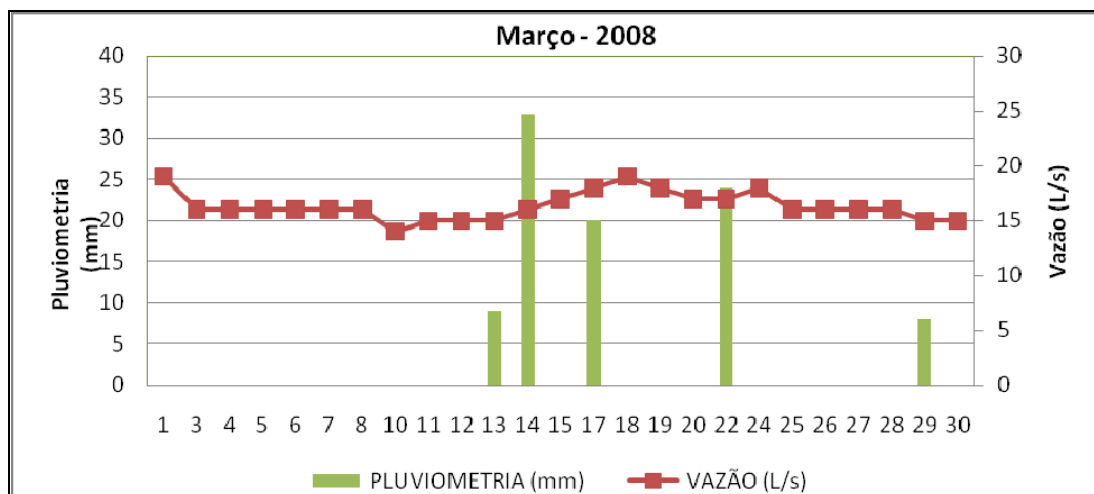


Figura 80. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Abril/2008

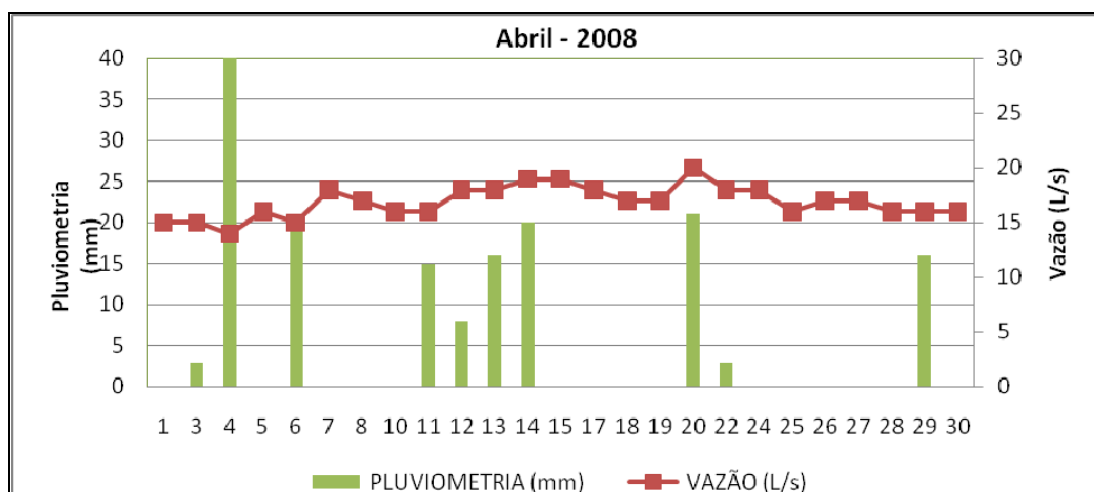


Figura 81. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Maio/2008

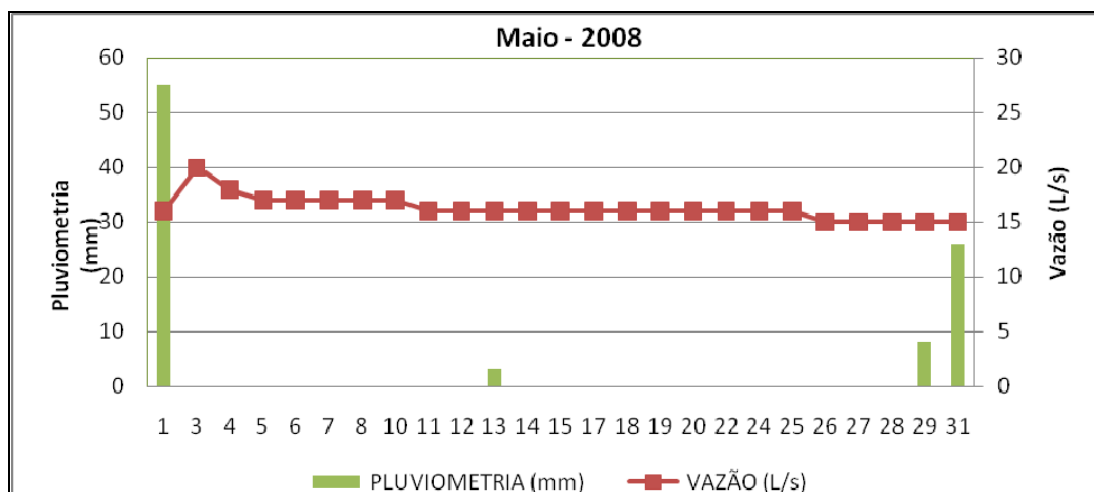


Figura 82. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Junho/2008

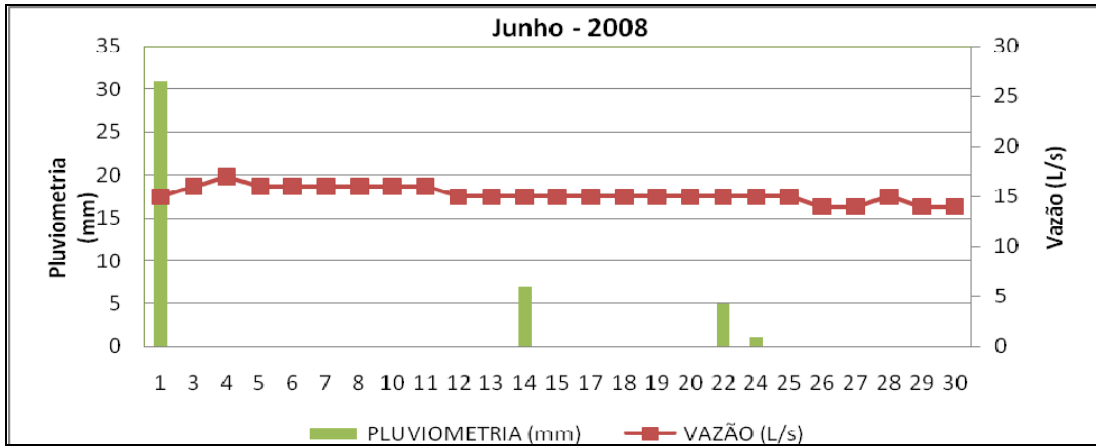


Figura 83. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Julho/2008

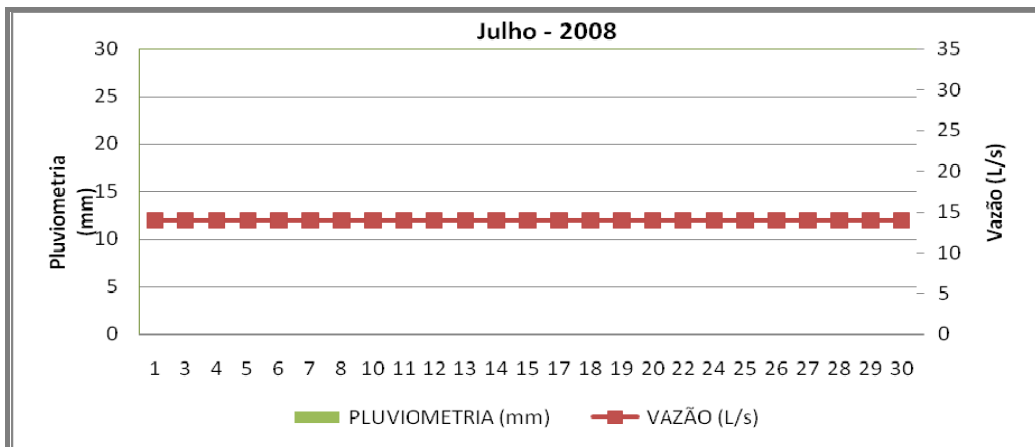


Figura 84. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Agosto/2008

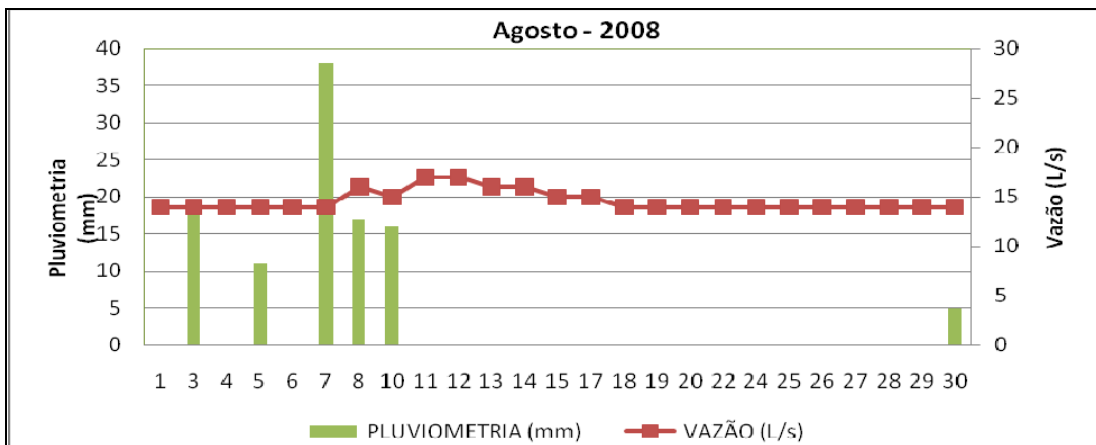


Figura 85. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Setembro/2008

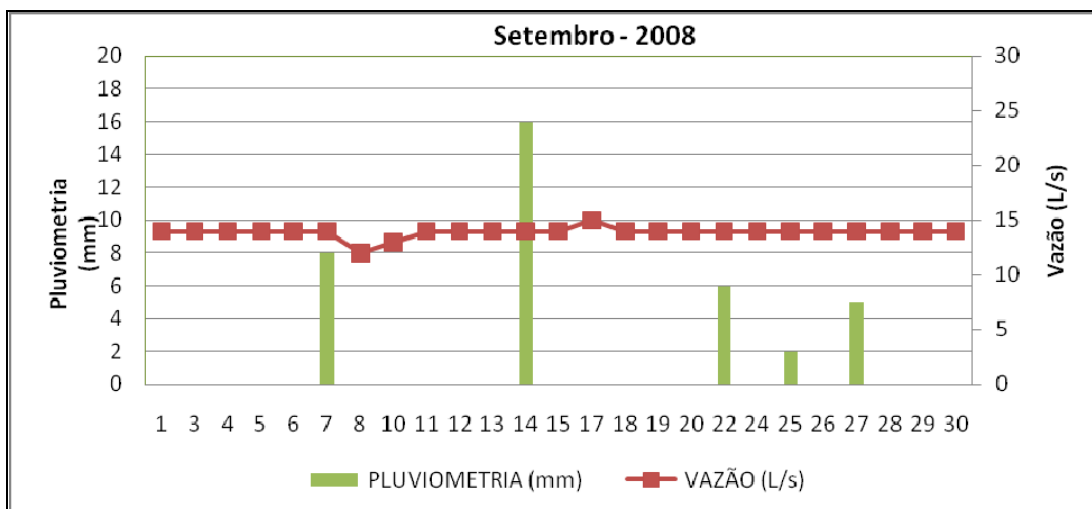
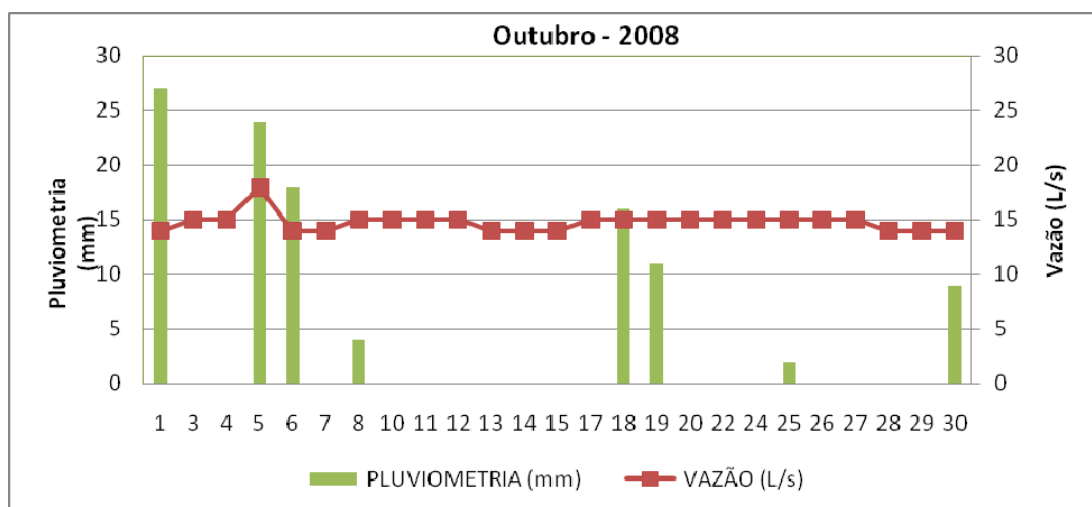


Figura 86. Vazão de lixiviado X Precipitação. Aterro São João. Outubro/2008



5.7. AÇÕES OPERACIONAIS DE VIABILIZAÇÃO DO RECEBIMENTO DE LIXIVIADO PELO SISTEMA PÚBLICO DE ESGOTOS

As avaliações realizadas neste trabalho foram muito restritivas, a favor da segurança. Porém, a partir da efetivação do recebimento existem recursos para tornar esse procedimento seguro, como trabalhar no início do processo do tratamento conjunto, operando os sistemas como pilotos em escala real, monitorando-se os parâmetros operacionais mais relevantes, inclusive com acompanhamento das agências ambientais.

As avaliações baseadas em valores teóricos podem se distanciar da realidade, especialmente no caso do lixiviado, onde os valores podem variar dentro de uma faixa muito grande, pois suas características físicas, químicas e biológicas dependem de uma série de fatores relacionados ao próprio aterro e sua operação; às condições climáticas e ao tipo de resíduo disposto

Uma ação necessária e fundamental é conhecer as condições operacionais das estações de tratamento de esgotos, pois as avaliações teóricas muitas vezes não correspondem à realidade dos sistemas, que podem estar operando com déficit de eficiência nos sistemas de aeração, com excesso de lodo nas lagoas, e muitas outras variáveis que não permitem que os valores de projeto sejam atendidos. Eventualmente pode haver falha, tanto no projeto, como na operação da planta.

Considerar essas deficiências nas avaliações é requisito básico para verificar as possibilidades do recebimento de cargas adicionais nos sistemas. A condição ideal seria resolver antecipadamente ao recebimento, os problemas operacionais que eventualmente tenham se apresentado.

Dentre as condições a serem estabelecidas para viabilizar o tratamento conjunto, podem ser considerados os aspectos descritos a seguir.

5.7.1. Controle dos Volumes

Caso o recebimento de lixiviado seja realizado via rede coletora, a equalização das vazões encaminhadas é fator limitante do recebimento, para que a estação não receba os impactos provocados pela variação no volume de lixiviado, uma vez que a operação dos aterros está sujeita a oscilações constantes em termos de volume produzido, que podem ocorrer ao longo do dia e são muito acentuadas nos períodos chuvosos

Se o recebimento for via caminhão, deverá ser estabelecido volume diário para recebimento de lixiviado (limitação do número de caminhões/dia).

5.7.2. Pré-tratamento do Lixiviado

A execução de um pré-tratamento do lixiviado pode ser indicada, especialmente para recebimentos via rede coletora.

São várias as alternativas existentes para essa finalidade, porém, envolvem custos. A recirculação do lixiviado nas células do aterro é procedimento utilizado em larga escala para tratamento do lixiviado e pode ser indicada como pré-tratamento, pois promove uma redução significativa da carga orgânica.

5.7.3. Estabelecimento da Carga Máxima Limite para o Lixiviado

Uma alternativa segura é o estabelecimento da carga máxima admissível, limitando-se o número de caminhões, por exemplo, que é uma ação de fácil controle, flexibilizando o recebimento gradativamente a partir das respostas obtidas pelo sistema de tratamento.

Conforme foi mencionado anteriormente, o estudo realizado foi baseado em valores estimados e, portanto, o cenário avaliado pode ser significativamente alterado na medida em que se adotam referências e critérios mais ou menos conservadores.

O estabelecimento de uma carga máxima limite para o recebimento de lixiviado é uma alternativa que facilita bastante o controle do recebimento, porém, deve ser considerado que:

- Para controle de carga é necessário que se conheça a vazão e a concentração do lançamento para os parâmetros controlados, ou seja, é necessário monitoramento e análise.

A adoção de uma carga limite para controle, não dispensa o atendimento às exigências da legislação - Decreto Estadual n° 8468⁷⁰ de 08/09/1976 – Artigo 19-A, que estabelece os limites para lançamento de efluentes no sistema público de esgotos no Estado de São Paulo

5.7.4. Medidas Complementares

Além das análises rotineiras do afluente e efluente da ETE, realizadas para fins de controle operacional, deverá haver uma avaliação constante do lixiviado por meio de coleta e análise.

Uma análise da concentração de metais pesados no lodo gerado é também recomendável para fins de controle. Na medida do possível, deveria ser executada uma análise do lodo antes do início do recebimento destas cargas e realizar o monitoramento contínuo, com frequência estabelecida em função das condições locais. Desta forma é possível verificar se estão ocorrendo alterações significativas no lodo gerado, que possam comprometer sua disposição final.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As cargas de lixiviado adotadas para cada estação foram bastante restritivas, visando preservar as estações de problemas operacionais, ambientais e legais em função destes recebimentos. Porém, essas medidas são necessárias, especialmente quando não se conhece bem as condições locais de operação das estações de tratamento de esgotos.

O recebimento de lixiviado pelo sistema público de esgotos deve ser planejado, mediante o estabelecimento de limites e monitoramento do processo, flexibilizando as condições inicialmente impostas para o recebimento, a partir das respostas obtidas pelos monitoramentos e pelo desempenho operacional verificado nas plantas de tratamento.

Os valores observados nos monitoramentos do lixiviado estão muito abaixo do que era esperado em função da idade dos aterros e da própria característica desses efluentes. Essa constatação foi baseada a partir da coleta e análise do lixiviado realizada nessa pesquisa, assim como na avaliação dos dados secundários e nos dados da literatura que retratam as experiências em desenvolvimento no país. Somente nos estudos de bancada e nos resultados obtidos para os grandes aterros (especialmente os da RMSP), os valores encontrados nas caracterizações do lixiviado recebido foram mais coerentes com os valores esperados.

Essa verificação nos permite inferir que esse fato pode estar diretamente relacionado com as condições operacionais do aterro. Nos ensaios de bancada, as condições de contorno são todas controláveis; nos grandes aterros, a estrutura operacional certamente conta com mais recursos, pois a própria operação requer maior controle.

Uma questão passa a compor a complexa equação do tratamento de lixiviado: as condições operacionais dos aterros. O que se constata é que o

lixiviado recebido está muito diluído, o que pode ser devido a vários fatores: problemas com os sistemas de drenagem da água das chuvas, ou infiltração das águas do lençol freático nas células do aterro, ou a pior condição, que é a infiltração do lixiviado no solo.

Ou seja, preocupa-se tanto com a carga adicional proveniente do lixiviado, mas especialmente nos pequenos aterros, o que se encaminha para as estações de tratamento é um efluente extremamente diluído, como se o lixiviado recolhido nos aterros fosse composto por uma parcela muito maior de água de chuva, diluindo o chorume, que também pode estar infiltrando no solo, pelas células de resíduos, antes de chegar às lagoas de acumulação do lixiviado, provavelmente por problemas com os sistemas de drenagem e impermeabilização da base.

Outro aspecto observado nos estudos realizados se refere à recirculação do lixiviado pelas células do aterro, uma operação com resultados consolidados, praticada em larga escala pelos aterros em operação no país. Mas fica a questão sobre até quando essa prática se sustenta? Os efeitos da recirculação ao longo dos anos precisam ser estudados.

A adoção da recirculação como pré-tratamento pode ser indicada com benefícios para o sistema de tratamento, a partir da redução da DBO, porém, considerá-la como solução definitiva, talvez possa ser alternativa não sustentável ao longo do tempo.

Esse trabalho utilizou critérios básicos, já consagrados e de amplo conhecimento pela comunidade técnica, porém sua principal finalidade foi apresentar resultados práticos que fundamentassem a perspectiva da realização do tratamento conjunto, não apenas como solução provisória, mas em alguns casos, definitiva para o lixiviado dos aterros, com benefícios ambientais, legais, econômicos e com reflexos sociais e na saúde pública.

Não é pelo emprego de tecnologias altamente avançadas e pontuais, que serão conquistados os benefícios ambientais. As questões ambientais dizem respeito ao todo e esses benefícios só serão efetivos mediante a ação

conjunta dos setores envolvidos, a partir da visão sistêmica e integrada das questões ambientais, e não apenas pela atuação focada em eventos isolados.

O velho jargão “pense globalmente, aja localmente”, difundido pelo mundo todo, está longe de ser banal. Descreve de maneira simples o caminho para resolver a complexa equação ambiental experimentada pela atualidade.

Olhar para as questões ambientais é um exercício a ser desenvolvido sob três enfoques: o que temos, o que podemos e o que queremos. O ponto final, a visão de futuro, deve estar sempre voltada para aquilo que queremos, não se encerra apenas no que é possível no presente. Mas para que se atinjam essas metas, é preciso aceitar e compreender a progressividade das intervenções destinadas a promover benefícios ambientais. É necessário que sejam viabilizadas condições intermediárias, que possibilitem pequenos avanços em escala global, sem perder de vista o grande objetivo final.

O tratamento conjunto do lixiviado dos aterros não é a condição ideal. Ideal é minimizar a sua geração, a partir da concepção de aterros bem dimensionados, construídos e operados. Ideal, nem sempre é dar conta dos efluentes gerados na própria fonte, especialmente pelos recursos demandados. O tratamento conjunto, planejado, é uma alternativa importante nessa trajetória.

Este trabalho mostrou que essa prática é viável, não apenas para grandes estações de lodos ativados. O recebimento de lixiviado pelas estações dos sistemas públicos de esgotos pode ser realizado até em pequenas estações que empregam métodos naturais de tratamento como as lagoas de estabilização. A integração entre estações de tratamento de esgotos e aterros sanitários é uma realidade possível e ambientalmente segura, se praticada mediante critérios já consagrados de operação de sistemas de tratamento de esgotos.

Essa integração pode representar avanços importantes nas questões de desenvolvimento urbano associado com a preservação do meio ambiente e para a sua viabilização é preciso haver o envolvimento das esferas competentes, nas quais têm início os processos de planejamento das cidades.

As estações de tratamento de esgotos e os aterros sanitários são parte de um todo, mas podem inaugurar o processo de integração entre as ações de saneamento ambiental de uma cidade.

A simples “troca” de lixiviados de aterros por lodos de estações de tratamento de esgotos confere segurança operacional para as ETEs e aterros. O recebimento de lixiviados de aterros pelo sistema público de esgotos está sujeito aos efeitos da diluição pelos esgotos sanitários, conferindo condições de recebimento por esses sistemas. A disposição final de lodos em aterros é uma das alternativas possíveis para o equacionamento dessa demanda ambiental de grandes proporções. Os aterros sanitários e as estações de tratamento de esgotos, se bem construídos e operados não são fontes de poluição e sim fontes de proteção ambiental.

A abordagem dessas questões, desde a escolha do local para a implantação desses equipamentos de saneamento até a disposição final dos lixiviados e dos lodos, se efetivada a partir da visão abrangente e integrada do saneamento, torna possível transformar efetivamente o chamado ciclo do saneamento em um “ciclo virtuoso”, conforme cita PAGANINI⁵⁵, 2008, contribuindo para o pleno desenvolvimento das funções de uma cidade, garantindo o bem-estar de seus habitantes.

A demanda por tratamento de esgotos é enorme, mesmo no Estado de São Paulo. A disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários também é uma necessidade explícita da atualidade.

O tratamento dos lixiviados gerados nos aterros requer tecnologia adequada, recursos financeiros elevados, mão-de-obra especializada. O planejamento

integrado dos sistemas de esgotamento sanitário e de disposição de resíduos sólidos pode ser a chave para a viabilização desses recursos.

Nesse contexto a participação da universidade é fundamental, a partir do desenvolvimento de estudos voltados para as questões práticas do saneamento, buscando alternativas para solucionar problemas operacionais, inovando e contribuindo para a obtenção progressiva de melhorias ambientais, fornecendo subsídios aos setores competentes, para a concretização das ações requeridas.

É importante aproximar cada vez mais a universidade do cotidiano. O ponto de partida é “o que temos” hoje. Buscar conhecimento, a expertise tecnológica é fundamental para o desenvolvimento, mas é também fundamental e premente buscar independência tecnológica. Para tanto, é preciso que se dedique atenção e empenho para questões práticas do dia-a-dia, na busca de soluções adequadas à realidade do país.

No que se refere ao saneamento, há muito para ser feito, e certamente será mais fácil e mais rápido, se a universidade estiver inserida nesse processo, com os “olhos nos livros”, “os pés no chão”, e um ideal: de produzir e difundir conhecimento, desenvolvimento, bem estar social, preservação e melhoria ambiental.

7. REFERÊNCIAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-12.209**: 1992 - Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro; 1992
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro; 1992
3. AGÊNCIA BRASIL DE NOTÍCIAS. **Apenas 25% do esgoto coletado no país é tratado**. Disponível em: <<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2008/03/21/materia.2008-03-21.7740973522/view>>. Acesso em: abr 2008.
4. AGÊNCIA BRASIL. **PAC: Investimento em habitação e saneamento soma R\$ 146,3 bilhões até 2010**. Disponível em: <<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2007/01/22/materia.2007-01-22.6708890731/view>>, 22 jan 2007. Acesso em 26: jul 2009.
5. ALGAR. VALORIZAÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS AS. Disponível em: <http://www.algar.com.pt/Database/Images/SubSubMenutopo/Galeria/aterro_sanitario_dosotavento.jpg> Acesso em: 18 mai 2009.
6. AMBIENTAL LITORAL NORTE. **Relatório Aterro Sanitário da Praia da Baleia**. Disponível em: <<http://www.alnorte.org.br/index.cfm?fuseaction=noticias&id=57>> Acesso em: 2008
7. ANDREOTTOLA, G.; CANNAS, P. **Chemical and biological characteristics of landfill leachate**. In: CHRISTENSEN T.H.; COSSU, R.; STEGMANN, R.(editors). Landfilling of waste: leachate. 2ª ed. Londres: Chapman and Hall Ltd; 1997. 65-88.
8. Barber,C.; Maris, P.J. **Leachate recirculation: full-scale experience**. In: Christensen, T.H.; Cossu, R.; Stegmann, R. (editors). Landfilling of waste: leachate. 2ª ed. Londres: Chapman and Hall Ltd; 1997. p. 381-401
9. BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP; 1999.
10. BISORDI, M.S. Encerramento e projetos de recuperação ambiental de aterros sanitários. In: RESID 99: **Seminário sobre resíduos sólidos**;

- 1999 set 30; São Paulo. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia; 1999. p. 69-82
11. BOCCHIGLIERI M.M. **A influência do recebimento de chorume dos aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo nas estações de tratamento de esgotos do sistema integrado.** São Paulo; 2005. 190 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública – Universidade de São Paulo, São Paulo –SP.
 12. BRASIL Lei nº 11.445/073, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan 2007. Seção 1, p. 3-7.
 13. CANZIANI, R.; COSSU, R. Landfill Hydrology and leachate production. In: Christensen, T.H.; Cossu, R.; Stegmann, R. (editors). **Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact.** London: Academic Press Limited: 1989. p. 185-212.
 14. CASTILHOS Jr., A.B. et al. **Principais processo de degradação de resíduos sólidos urbanos.** In: _____. Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 19-50.
 15. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares:** relatório técnico – série relatórios. São Paulo: CETESB, 2008. 183 p.
 16. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório Qualidade de Águas Interiores:** relatório técnico – série relatórios. São Paulo: CETESB, 2008.
 17. CHRISTENSEN T.H.; KJELDSSEN, P.; STEGMANN, R. **Effects of landfill management procedures on landfill stabilization and leachate and gas quality.** In: Christensen, T.H.; Cossu, R.; Stegmann, R.(editors). Landfilling of waste: leachate. 2^a ed. Londres: Chapman and Hall Ltd; 1997. p. 119-137.
 18. CHRISTENSEN T.H.; KJELDSSEN, P. **Basic biochemical processes in landfills.** In: Christensen TH, Cossu R, Stegmann R, editors. Sanitary Landfilling: process, technology and environmental impact. London: Academic Press Limited; 1989. p. 29-49.

19. CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R., STEGMANN, R. (editors). **Landfilling of waste: leachate**. 2^a ed. Londres: Chapman and Hall Ltd; 1997.
20. CIIAGRO. Centro integrado de informações agrometeorológicas. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>. Acesso em: out 2009
21. CINTRA, I.K. **Estudo da influência da recirculação de chorume cru e chorume inoculado na aceleração do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos**. 2003. 352 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
22. COMPANHIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO DE PETRÓPOLIS ATERRO CONTROLADO – COMDEP. Disponível em: http://comdep.petropolis.rj.gov.br/comdep/uploads/fotos/public-photo/medium/aterro_sanitario-%282%29_189e7b.jpg> Acesso em: 18 mai 2009.
23. CONTRERA, R. C. **Tratamento de lixiviados de aterros sanitários em sistema de reatores anaeróbio e aeróbio operados em batelada seqüencial**. São Carlos; 2008. 789 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.
24. COUNCIL DIRECTIVE 1991/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas. **Official Journal of the European Communities**, 18 jun 2009.
25. COUNCIL DIRECTIVE 1999/31/EC OF THE LANDFILL OF WASTE. **Official Journal of the European Communities**; 26 abr 1999.
26. ECOURBIS. Disponível em: <http://www.ecourbis.com.br>. Acesso em: 2009.
27. EHRIG, H.J. Leachate Quality. In: Christensen TH, Cossu R, Stegmann R, editors. **Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact**. London: Academic Press Limited: 1989. p. 213-229.
28. FACCHIN, JMJ, COLOMBO, MCR, REICHERT, GA. **Avaliação preliminar do tratamento combinado de esgoto e de lixiviado de aterro sanitário nas lagoas de estabilização da ETE Lami, em Porto Alegre**. In: Frankenberg, CLC, Rodriguez, MTR, Cantelli, M,

- organizadores. Gerenciamento de resíduos – certificação ambiental. Porto Alegre, 2000.
29. FIGUEIREDO FERRAZ E ESTÁTICA ENGENHARIA. **Relatório 2: Plano Diretor de Saneamento Básico dos Municípios Operados pela SABESP – Relatório Final – Apêndice II – Planejamento dos Sistemas de Abastecimento de Água e de Esgotos Sanitários – Fernandópolis – Tomo 20/82 – Nov 2003.**
30. FONSECA, J. S da; MARTINS, G. A. **Curso de Estatística.** 3ª ed. São Paulo: Atlas, 1980.
31. FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Plano Estratégico. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/internet/missao.asp>>. Acesso em: 20 ago 2009
32. GOMES, L.P.; MARTINS, F.B. **Projeto, Implantação e Operação de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte.** In: CASTILHOS JR, A.B. de (Coord.). Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 51-106.
33. GOMES, T.L.; SILVA, C. E. da. **Avaliação quali-quantitativa do percolado gerado no aterro da Caturrita em Santa Maria-RS.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005, Campo Grande – MS. **CD ROM.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; 2005.
34. Google Earth. Disponível em: <http://earth.google.com/intl/pt/>.
35. HELOU, L.C. **Otimização de estações de tratamento de esgotos convencionais por lodos ativados com aproveitamento dos efluentes para reúso.** 2000. Tese (Doutorado em Engenharia civil – hidráulica) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo
36. HELOU, L.C., EBERT R. **Utilização de modelos matemáticos para avaliação do impacto de cargas de choque na ete Barueri.** In: Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1999; Rio de Janeiro, RJ. **CD ROM.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; 1999.
37. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas Do Saneamento.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/pdfs/mappag59.pdf> Mapa. Acesso em: mar-09.

38. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2002. CD-ROM.
39. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE. 1995. 278p.
40. KLUSENER, L.C.; de SOUZA, A.A.R.; MIRANDA, L.A.S.; MONTEGGIA L.O. **Estudo dos efeitos da entrada de lixiviado de aterro sanitário e lodo de fossa séptica sobre a qualidade do afluente da ETE-Canoas- RS**. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009, Recife - Pe. **CD ROM**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; 2009.
41. LANGE, L.C.; SIMÕES, G.F; FERREIRA, C.F.A. **Aterro sustentável: um estudo para a cidade de Catas Altas, MG**. In: CASTILHOS JR, A.B. de (Coord.). Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 144 - 197.
42. LATIN CONSULT. **Projeto executivo de Ampliação do SES de Tupã**. Março, 1997.
43. LIMA, C.A.de; MUCHA, M. dos S.; TELES; R. B.; CUNHA, R. Cláudio Antônio de Andrade Lima. **Estudos preliminares de estimativa de produção de chorume e avaliação de alternativas de tratamento – estudo de caso: novo aterro de Ribeirão Preto-SP**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005, Campo Grande – MS. **CD ROM**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; 2005.
44. LIMA, J.D. et al. Concepção de aterros simplificados no Brasil: desafios da sustentabilidade. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife. **CD-ROM**. Saneamento Ambiental: universalização é justiça social. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
45. LINS, E.A.M. **A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca**. Recife; 2003. 142 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife – Pe.
46. LOPES, A.A. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos**. 2003. 194

- p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
47. MC BEN, E.A.; ROVERS F.A; FARQUHAR, G.J. **Solid waste landfill engineering and design**. New Jersey: Prentice Hall PTR; 1995.
48. METCALF L., EDDY, H.P. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 3ª ed. Singapore: McGraw-Hill, Inc.; 1991.
49. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Pacto pelo Saneamento Básico**. Mais Saúde, Qualidade de Vida e Cidadania. Resolução Recomendada nº 62, de 3 de Dezembro de 2008. Disponível em <<http://www.cidades.gov.br/plansab>>. Acesso em: 25 ago 2009.
50. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, 2007
51. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de março de 2005, Seção 1, páginas 58-63.
52. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n. 397, de 3 de abril de 2008. Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º do art. 34 da Resolução CONAMA nº 357/05 e acrescenta os §6º e 7º. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 abr, 2008. Seção 1, p. 68-9.
53. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 375/2006. de 29 de agosto de 2006 3 de abril de 2008. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DOU nº 167, de 30 de agosto de 2006, Seção 1, páginas 141-146.
54. PAES, R.F.C. **Caracterização do chorume produzido no aterro Muribeca – PE**. Campina Grande, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – Pb.
55. PAGANINI, W.S. Alternativas para a disposição final de lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de

- esgotos. **Revista Saneas**, São Paulo, v. 32, ano X, p. 13 – 9, jan-fev-mar 2009.
56. PAGANINI, W.S.; BOCCHIGLIERI, M.M.; LOPES, G.F. Avaliação da capacidade das estações de tratamento de esgotos do sistema integrado da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP – para o recebimento do chorume produzido nos aterros sanitários da região. In: Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; 2003. Joinville. **CD ROM** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental – ABES, 2003.
57. PLANO DIRETOR DE SANEAMENTO BÁSICO DOS MUNICÍPIOS OPERADOS PELA SABESP. AGUAPEÍ (20), PEIXE (21) E PONTAL DO PARANAPANEMA (22). **Planejamento dos Sistemas de Abastecimento de Água e Sistemas de Esgotamento Sanitário**. ETG 5085/110-001 RT. Rev. C. Consórcio ETG (constituído pela EARTH TECH BRASIL e a GERENTEC ENGENHARIA), 2003.
58. PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Brasília, 20 mai 2005. **Falta de regras prejudica o saneamento**. Disponível em:
<<http://www.pnud.org.br/saneamento/entrevistas/index.php?id01=1196&lay=san>>. Acesso em: 2 jul 2009.
59. PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Declaração do Milênio das Nações Unidas**. Disponível em:
<<http://www.pnud.org.br/odm/#>>. Acesso em: 20 ago 2009.
60. PROESP ENGENHARIA S/C LTDA. **Estudos e Projetos para o Sistema de Esgotamento Sanitário da Praia de Boiçucanga**. Projeto Executivo Hidráulico – Volume I, Volume II: Texto e Volume VII: Desenhos, out 1997.
61. PROPOSTA ENGENHARIA. **Projeto do Aterro Sanitário de Meridiano**.
62. QASIM S.R.; CHIANG, W. **Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment**. Pensilvânia: Technomic Publishing Company, Inc; 1994
63. REBIA – Rede Brasileira de Informação Ambiental. Portal do Meio Ambiente. **Cidades não monitoram qualidade da água**. Disponível em:<http://www.portaldomeioambiente.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1258>, 11 de Agosto de 2009.
64. ROCHA, E.M.R; da MOTTA M; da SILVA, V.L.; JUCÁ, J.F.T. **Estudo do percolado gerado no aterro da Muribeca e tratado pelo**

- sistema de lagoas de estabilização.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005, Campo Grande – MS. **CD ROM.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; 2005.
65. SABESP. Diretoria Metropolitana de Distribuição - Superintendência de Planejamento e Apoio da Distribuição. **Programa de Recebimento de Efluentes Não Domésticos.** São Paulo, agosto de 2003. [cd-rom]
66. SABESP. Disponível em <http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=sabesp&pub=T&db=&docid=75C9D810780EE913832571B500705B41>. Acesso em: 2009
67. SABESP. **Relatório Operacional – ETE Barueri.** São Paulo: 2005 – 2009. 5 v.
68. SAMPAIO, A.O.; BOCCHIGLIERI, M.M.; OLIVEIRA, M.E.T. Avaliação de metodologia para controle do recebimento de efluentes não domésticos no sistema público de esgoto. In: Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1999; Rio de Janeiro, RJ. **CD ROM.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; 1999.
69. SANTOS VIANA, A. S. P.V. dos; CANTANHEDE, A; FIGUEIREDO, I.C. Avaliação do tratamento combinado de lixiviados de aterros sanitários com esgoto doméstico em lagoas de estabilização. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009, Recife - Pe. **CD ROM.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; 2009.
70. SÃO PAULO (Estado). **Decreto n. 8468,** de 08 de Setembro de 1976. Aprova o regulamento da Lei nº 997 que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, set. 1976.
71. SÃO PAULO (Estado). Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. **Diário Oficial do Estado de São Paulo** - D.O.E. Executivo, São Paulo, de 17 mar. 2006.
72. SAPIA, P.M. **Proposta de critérios de recebimento de efluentes não domésticos para o sistema público de esgotos da Região Metropolitana de São Paulo.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Hidráulica) - Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo – SP.

73. SCHALCH, V. **Análise comparativa de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia.** São Carlos; 1992. 220 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP.
74. SCHALCH, V. **Produção e Características do Chorume em Processo de decomposição de lixo Urbano.** São Carlos; 1984. 103 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP.
75. SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Sistema SEADE de Projeções de População. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/projpop/index.php>>. Acesso em: 2009.
76. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. **Procedimentos para implantação de aterro sanitário em valas:** manuais. Cetesb, 2005.
77. SILVEIRA L. R. da. **Desafios do manejo de resíduos sólidos: a Gestão de seis aterros sanitários Simplificados no estado da Bahia.** 2008. 166 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Poli-Técnica, 2008. Salvador, Ba.
78. SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/>. Acesso em out 2009.
79. SOARES, S.R.; LUPATINI, G.; CASTILHOS JR, A.B. de. Sistema de apoio à decisão (SAD) em seleção de áreas de aterros sanitários para pequenas comunidades. In: CASTILHOS JR, A.B. de et al. (Org.). **Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades.** Rio de Janeiro: ABES, 2002. p. 03-12.
80. SOBRINHO, D.G. dos, ZANTA, V.M., CONCEIÇÃO, N.S.; OLIVEIRA, R.N. Avaliação de aterros sanitários simplificados. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife. **CD-ROM.** Saneamento Ambiental: universalização é justiça social. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
81. SOUTO, G.A.B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”).** 2009. 371 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP.

82. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Process Design Manual: Surface Disposal of Sewage Sludge and Domestic Septage**. EPA – 40 CF – 503
83. UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF
Darcy Ribeiro. Disponível em:
<http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/so_lixoafotos.html>.
Acesso em 18 mai 2009.
84. VEJA SÃO PAULO. O lixo ameaça o paraíso. Disponível em:
<<http://veja.abril.com.br/vejas/240402/litoral.html>> Acesso em: 2009.
85. VON SPERLING M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. (Princípios do tratamento de águas residuárias; V. 2). Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 1996.
86. VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Princípios do tratamento de águas residuárias; V. 3. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 2002.
87. WIKIPEDIA: a enciclopédia livre . Disponível em
<http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1gina_principal>. Acesso em:
07/07/08
88. ZANTA, V.M.; FERREIRA, C.F.A. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos**. In: CASTILHOS JR, A.B. de (Coord.). Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 01-18.
89. ZVEIBIL, V. Z.(coord). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em:
<http://www.web-resol.org/cartilha4/manual.pdf>. Acesso em: out 2005.



Wanderley da Silva Paganini

possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1978), mestrado em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo (1997), doutorado em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo (2001) e livre-docência em saneamento básico e ambiental pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo (2006). Atualmente é professor associado da Universidade de São Paulo e Superintendente de Gestão Ambiental da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Tratamento de Esgotos, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento de esgotos para pequenas comunidades, disposição de esgotos no solo, saneamento básico, tecnologias de baixo custo, tratamento de águas e gestão ambiental.

(Texto informado pelo autor)

Última atualização em 10/03/2010

Endereço para acessar este CV:
<http://lattes.cnpq.br/5175772273020198>

Links para Outras Bases:

[SciELO - Artigos em](#)
[texto completo](#) [Scopus](#)





Miriam Moreira Bocchiglieri

Possui graduação em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia São Paulo (1991) e mestrado em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo (2005) e está fazendo doutorado na Faculdade de Saúde Pública da USP. Atualmente é Coordenadora de Comunicação Ambiental na Superintendência de Gestão Ambiental da Sabesp. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Saneamento Básico, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento de esgotos, esgotos, aterros, metais pesados e uso racional, gestão ambiental.

(Texto informado pelo autor)

Última atualização em 29/03/2010

Endereço para acessar este CV:

<http://lattes.cnpq.br/5481290249503400>

Links para

Outras Bases:

[SciELO - Artigos em](#)
[texto completo - SciELO](#)



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)