

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

André Granzotto Gewehr

**ECOEficiência DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO: ÍNDICE DE LODO**

Porto Alegre
dezembro 2009

ANDRÉ GRANZOTTO GEWEHR

**ECOEFIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO: ÍNDICE DE LODO**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Dieter Wartchow

Porto Alegre
dezembro 2009

ANDRÉ GRANZOTTO GEWEHR

**ECOEFIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO: ÍNDICE DE LODO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 7 de dezembro de 2009

Prof. Dieter Wartchow
Dr. em Engenharia pela Universidade Stuttgart/Alemanha
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dieter Wartchow (DOH/UFRGS)
Doutor em engenharia pela Universidade de Stuttgart/Alemanha

Eng^a. Viviane Trevisan (PPGRHS/IPH)
Engenheira Química e Mestre em Biotecnologia (UCS)

Eng^a. Catarina de Luca de Lucena (PUC)
Engenheira Química (PUC)

Dedico este trabalho a meus pais, Luiz e Sandra, meus irmãos, Matheus e Juliano, e minha namorada, Priscila.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dieter Wartchow, orientador deste trabalho, pela idéia inicial, incentivo, auxílio às atividades e sua dedicação e apoio.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, especialmente ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas pela excelência do ensino.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt, pelos ensinamentos dados nas disciplinas de Trabalho de Diplomação I e II, além das várias consultas e orientações dadas referentes ao trabalho.

Agradeço a engenheira Catarina em nome da Companhia Riograndense de Saneamento e ao Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre pela disponibilidade dos dados e atenção no esclarecimento de dúvidas.

Agradeço aos meus colegas de faculdade, Thiago Kothe, Cícero Sallaberry, Ismael Cauduro, João Paulo Maria e Henrique Arniche, grandes amigos que contribuíram com união e companheirismo ao longo da faculdade.

Agradeço aos meus pais, Luiz e Sandra, meus irmãos, Matheus e Juliano, e minha namorada, Priscila, por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Se o crime é uma doença, eu sou a cura.

Stallone Cobra

RESUMO

GEWEHR, A. G. **Ecoeficiência de estações de tratamento de esgoto:** índice de lodo. 2009. 72 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O ciclo do lodo é um dos maiores desafios aos projetistas da área de saneamento. Desde a sua geração, passando pelo tratamento, armazenamento e transporte até a disposição final, o lodo, deve ser levado em consideração no projeto de uma estação de tratamento de esgoto. O lodo, que quando utilizado de forma útil é conhecido como biossólido, é responsável por graves problemas ambientais, sanitários e econômicos. A gestão dos biossólidos é uma necessidade para a estação de tratamento de esgoto que visa a sua ecoeficiência e o desenvolvimento sustentável. No presente trabalho, são avaliadas alternativas e tecnologias através de índices como a relação de massa de sólidos produzida e o número de habitantes atendidos (kg/hab.dia), massa de sólidos produzida e a quantidade de esgoto tratado (kg/m^3) e massa de sólidos produzida e a remoção (kg/g removido). Esses índices expressam numericamente a ecoeficiência das estações, ajudando projetistas e operadores que pretendem aliar o desenvolvimento sustentável e a eficiência do sistema. O transporte é analisado pela distância da ETE até o local de descarte do lodo, os custos deste carregamento (kg/m^3) e a estimativa da emissão de CO_2 equivalente pelos veículos de transporte. Na parte final do ciclo, considerando a destinação final dos biossólidos, é feita a verificação da alternativa mais vantajosa ambientalmente e economicamente.

Palavras-chave: lodo; biossólidos; índice de lodo; ecoeficiência; desenvolvimento sustentável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: representação esquemática do delineamento da pesquisa	16
Figura 2: variação do volume de lodo em função do seu teor de água	36
Figura 3: necessidade de transporte em relação ao teor de sólidos do lodo	37
Figura 4: índice de massa de sólidos por habitante	54
Figura 5: índice de massa de sólidos por vazão.....	54
Figura 6: índice de massa de sólidos por remoção de DBO_5	55
Figura 7: índice de massa de sólidos por remoção de DQO	55
Figura 8: índice de massa de sólidos por remoção de nitrogênio	56
Figura 9: índice de massa de sólidos por remoção de fósforo	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: principais tipos de resíduos removidos em estações de tratamento de esgotos sanitários e suas características.....	21
Quadro 2: número de distritos em função do destino final do lodo	24
Quadro 3: características físico-químicas do lodo de esgoto segundo alguns autores	27
Quadro 4: principais metais pesados encontrados nos lodos sanitários provenientes de atividades industriais	27
Quadro 5: principais metais pesados encontrados nos lodos sanitários provenientes de atividades industriais	28
Quadro 6: principais efeitos sobre a saúde provenientes de compostos orgânicos tóxicos presentes em biossólidos	29
Quadro 7: características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos	34
Quadro 8: principais tecnologias para o tratamento do lodo de ETE	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: índices de coleta e tratamento dos esgotos no Brasil	22
Tabela 2: principais meios de destinação dos lodos de esgoto	24
Tabela 3: dados da ETE Santa Maria	44
Tabela 4: dados das concentrações médias da ETE Santa Maria	44
Tabela 5: dados da ETE Canoas	46
Tabela 6: dados das concentrações médias da ETE Canoas	46
Tabela 7: dados da ETE São João-Navegantes	47
Tabela 8: dados das concentrações médias da ETE São João-Navegantes	47
Tabela 9: dados do transporte dos lodos das ETE	50
Tabela 10: índices de lodos por população atendida, vazão atual e de remoção de DBO5, DQO, N, P e CF	53

LISTA DE SIGLAS

- CONAMA:Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CONSEMA:Conselho Estadual do Meio Ambiente
- CORSAN:Companhia Riograndense de Saneamento
- DMAE:Departamento Municipal de Água e Esgoto
- DBO:Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO:Demanda Química de Oxigênio
- ETE:Estação de Tratamento de Esgoto
- N:Nitrogênio
- P:Fósforo
- IH:Índice de massa de sólidos por Habitante
- IQ:Índice de massa de sólidos por Vazão
- IR:Índice de massa de sólidos por Remoção de poluente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 MÉTODO DE PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	15
2.2.1 Objetivo principal	15
2.2.2 Objetivos secundários	15
2.3 DELIMITAÇÃO	15
2.4 LIMITAÇÃO	16
2.5 DELINEAMENTO DA PESQUISA	16
2.5.1 Pesquisa Bibliográfica	17
2.5.2 Compreensão dos problemas decorrentes	17
2.5.3 Compreensão das características e propriedades do lodo	17
2.5.4 Definição das alternativas sustentáveis para o ciclo do lodo	17
2.5.5 Coleta de dados	17
2.5.6 Análise e obtenção de indicadores	18
2.5.7 Conclusão e recomendações	18
3 TRATAMENTO DE ESGOTOS	19
3.1 PROBLEMAS DECORRENTES DA FALTA DE COLETA OU TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	20
3.2 RESÍDUOS GERADOS NO TRATAMENTO	20
3.3 SITUAÇÃO ATUAL NO BRASIL	22
3.4 SITUAÇÃO DA GESTÃO DE BIOSSÓLIDOS	23
3.5 PERSPECTIVAS FUTURAS	25
4 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS BIOSSÓLIDOS	26
5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ECOEFICIÊNCIA	30
6 CICLO DO LODO	33
6.1 GERAÇÃO	33
6.2 TRATAMENTO	34
6.3 TRANSPORTE	37
6.4 DESTINAÇÃO E DISPOSIÇÃO FINAL	38
6.4.1 Reciclagem agrícola	38
6.4.2 Compostagem	39
6.4.3 Cerâmica.....	41

6.4.4 Incineração	41
6.4.5 Landfarming	42
6.4.6 Aterro sanitário	42
7 DESCRIÇÃO DAS ETE ANALISADAS	44
7.1 ETE SANTA MARIA (CORSAN)	44
7.2 ETE CANOAS (CORSAN)	46
7.2 ETE SÃO JOÃO NAVEGANTES (DMAE)	47
8 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS	49
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	57
REFERÊNCIAS	59
ANEXO A	61
ANEXO B	65

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional desordenado, aliado ao aumento do padrão de vida, tem como consequência diversos problemas ambientais que não têm sido tratados, muitas vezes, da maneira mais adequada. Entre esses, destaca-se a geração de lodo proveniente das estações de tratamento de esgoto (ETE). Devido ao seu alto grau de toxicidade, este lodo contribui para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas, além de poluir os recursos hídricos.

No Brasil, a realidade sanitária está muito aquém das condições ambientais ideais. O esgoto gerado é pouco coletado, sendo muitas vezes despejado diretamente nos corpos receptores. Desse pouco, apenas uma pequena fração é tratada corretamente e conseqüentemente pouco lodo é gerado em relação ao que ocorreria se todo o esgoto fosse coletado e tratado. Entretanto, os investimentos em saneamento, principalmente devido ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), vêm aumentando ao longo dos últimos anos, por isso os problemas em relação ao lodo já são uma realidade e tendem a aumentar consideravelmente.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em seu Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), vem desenvolvendo pesquisas visando encontrar soluções para os problemas ambientais decorrentes do lodo. Um exemplo é a proposta para o desenvolvimento de um indicador de ecoeficiência em estações de tratamento de esgoto (CARDOSO, 2007), que se divide em quatro índices que são: de área, de qualidade de tratamento, de energia e de lodo. Estes parâmetros têm o propósito de criar um indicador de eficiência para fazer frente ao desafio de uma gestão ambiental sustentável e para a tomada de decisão. O presente trabalho está focado na elaboração de um índice de lodo capaz de determinar quais são os melhores métodos e tecnologias em termos sustentáveis para o lodo considerando seu ciclo.

O capítulo 1 apresenta uma breve introdução ao assunto que será apresentado no decorrer desta pesquisa. Trata-se de uma justificativa da escolha do assunto, mostrando a importância de se analisar a gestão de lodos. O capítulo 2 apresenta a metodologia de pesquisa que foi empregada para o desenvolvimento desse trabalho, definindo os parâmetros para a realização do mesmo.

O capítulo 3 versa sobre um breve histórico do tratamento de efluentes, os problemas decorrentes da falta de coleta ou tratamento, os resíduos gerados no tratamento, a situação atual dos esgotos e da gestão de biossólidos no Brasil e as perspectivas futuras. O capítulo 4 apresenta as características e propriedades dos lodos de esgotos, fundamental importância para compreender o tipo de resíduo que o trabalho está lidando.

O capítulo 5 define os conceitos de desenvolvimento sustentável e ecoeficiência. Estes serão os ideais deste trabalho. O capítulo 6 analisa o ciclo do lodo, desde a geração, passando pelo o tratamento específico e o transporte até a disposição final. O capítulo 7 apresenta os dados obtidos na coleta realizado nas companhias de saneamento CORSAN e DMAE. O capítulo 8 analisa e aplicam os dados nos índices propostos, demonstrando em tabelas e gráficos os resultados obtidos. O capítulo 9 conclui a pesquisa apresentando algumas sugestões de melhorias nos processos da gestão do lodo aumentando o desempenho ambiental e econômico dos lodos nas ETE.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual índice pode ser proposto para analisar e otimizar econômica e ambientalmente o ciclo do lodo nas estações de tratamento de esgoto visando sua eficiência com sustentabilidade?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a definição de um índice relativo ao lodo que é gerado nas estações de tratamento de esgoto, examinando o seu ciclo para identificar as melhores alternativas econômica e ambientalmente aliadas à eficiência do sistema.

2.2.2 Objetivos secundários

O objetivo secundário deste trabalho é a análise das alternativas para o ciclo do lodo das estações de tratamento de esgoto.

2.3 DELIMITAÇÕES

Este trabalho possui como delimitação os métodos e tecnologias que estão inseridas na realidade sanitária do estado do Rio Grande do Sul. Outra limitação é o emprego do índice de lodos para estações de lodos ativados com aeração prolongada.

2.4 LIMITAÇÃO

As principais limitações deste trabalho são a validade, confiabilidade e disponibilidade de dados levantados nas companhias prestadoras de saneamento do estado do Rio Grande do Sul.

2.5 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O trabalho se divide em etapas especificadas na figura 1. As etapas são detalhadas nos próximos itens.

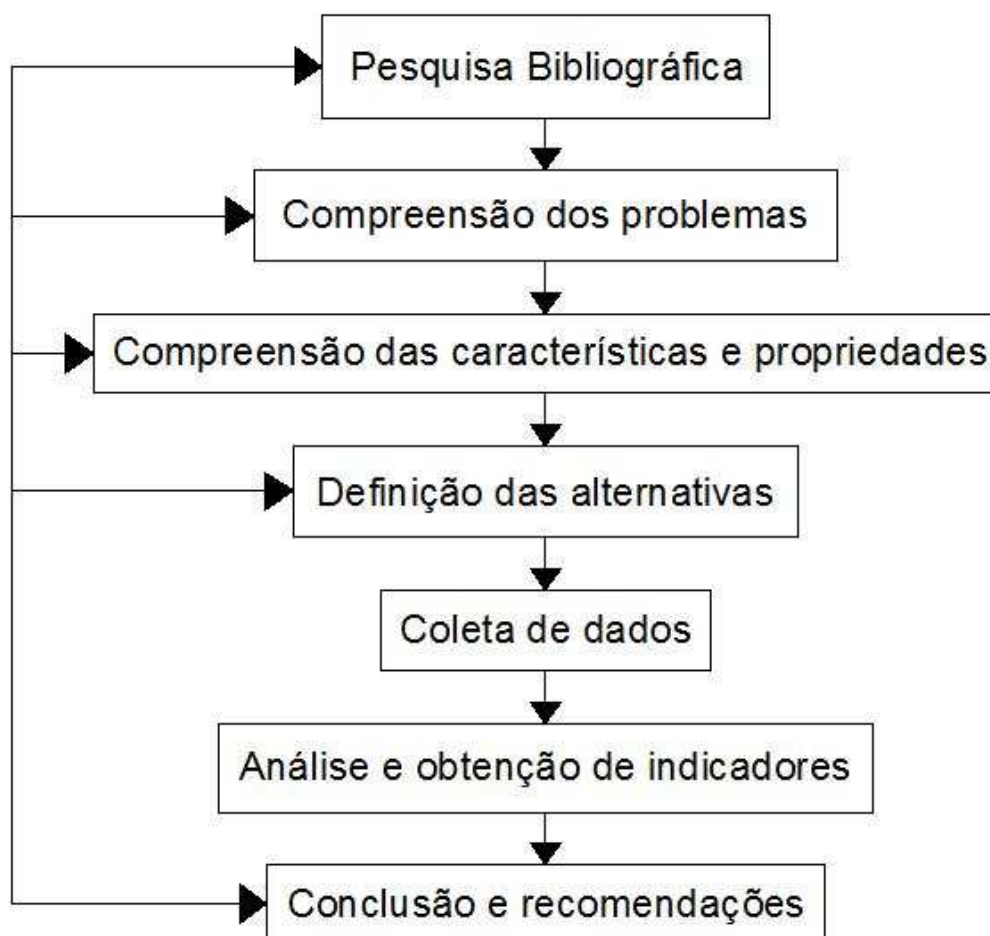


Figura 1: representação esquemática do delineamento da pesquisa

2.5.1 Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica tem como objetivo o melhor entendimento nas questões referentes ao trabalho para uma conclusão consistente da questão de pesquisa que o estudo propõe.

2.5.2 Compreensão dos problemas decorrentes

Nessa fase é necessário compreender quais são os problemas que a geração de lodo das estações de tratamento de esgoto pode causar econômica e ambientalmente na ausência de uma gestão eficiente.

2.5.3 Compreensão das características e propriedades do lodo

A compreensão das características e propriedades do lodo é de suma importância para, de acordo com o tipo de resíduo, proceder-se aos estágios seguintes.

2.5.4 Definição das alternativas sustentáveis para o ciclo do lodo

A definição das alternativas sustentáveis é a base fundamental do presente trabalho, pois nestas alternativas o trabalho poderá, com a coleta de dados, conduzir a uma conclusão consistente.

2.5.5 Coleta de dados

A coleta de dados será realizada em autarquias e/ou companhias de saneamento que prestam serviços ao estado do Rio Grande do Sul. Estes dados são:

- a) tipo de tratamento adotado;
- b) massa de sólidos produzida;
- c) número de habitantes atendidos;
- d) quantidade de esgoto tratado;
- e) eficiência na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio e fósforo;
- f) teor de umidade;

- g) distância da estação de tratamento até a disposição adotada e os custos deste carregamento;
- h) destinação final dos lodos.

2.5.6 Análise e obtenção de indicadores

Os dados coletados serão analisados para a obtenção de indicadores que expressem dinamicamente a ecoeficiência nas estações de tratamento de esgoto associado ao ciclo do lodo. Estes índices são importantes para uma gestão que visa eficiência do sistema a um menor custo de operação aliado aos benefícios ambientais.

Os parâmetros são as relações de:

- a) massa de sólidos produzida e o número de habitantes atendidos (kg/hab.dia);
- b) massa de sólidos produzida e a quantidade de esgoto tratado (kg/m³);
- c) massa de sólidos produzida e a remoção (kg/g removido).

O transporte entre a estação e a alternativa final adotada será avaliada pela emissão de CO₂ equivalente pelos veículos de transporte. Na disposição final do lodo é feita a verificação da alternativa mais vantajosa ambientalmente e economicamente.

2.5.7 Conclusões e recomendações

Por fim o trabalho sugere quais são as melhores alternativas para o ciclo do lodo e recomendação aos projetistas dos métodos para obter um sistema com alta eficiência aliado a sustentabilidade do lodo.

3 TRATAMENTO DE ESGOTOS

O ser humano é um grande gerador de diversos tipos de resíduos, tais como, esgotos, lixo e partículas na atmosfera. Infelizmente, não é dada a importância necessária para condicionar estes resíduos refugados pelo organismo e pela própria comunidade. Convencionou-se chamar a ação da matéria rejeitada sobre as fontes de energia de **poluição do meio ambiente** (PESSOA; JORDÃO, 1982, p. 1).

A Lei Federal que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (BRASIL, 1981), define poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Pessoa e Jordão (1982, p. 9) definem esgoto como:

A palavra esgoto costumava ser usada para definir tanto a tubulação condutora das águas servidas de uma comunidade, como também o próprio líquido que flui por estas canalizações. Hoje este termo é usado quase que apenas para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidades públicas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais, etc.

Os esgotos para retornarem aos corpos hídricos receptores em boas condições devem passar por estações de tratamento. A grande quantidade de matéria orgânica, metais pesados, microrganismos patogênicos, entre outros, nos esgotos faz necessária a implementação de estações de tratamento, mesmo que os mananciais tenham uma autodepuração considerável.

3.1 PROBLEMAS DECORRENTES DA FALTA DE COLETA OU TRATAMENTO DE ESGOTOS

A não coleta dos esgotos, o não tratamento dos esgotos ou a saturação de um corpo receptor pode gerar problemas graves nos âmbitos econômicos e ambientais. Alguns destes problemas são citados por Pessoa e Jordão (1982, p. 10):

- a) matérias orgânicas solúveis: causam depleção do oxigênio contido nos rios e estuários. O despejo deve estar na proporção da capacidade de assimilação do curso d'água em relação a um efluente normal;
- b) matérias orgânicas solúveis produzindo gostos e odores as fontes de abastecimentos de água. Como por exemplo os fenóis;
- c) matérias tóxicas e íons de metais pesados. Ex.: cianetos, Cu, Zn, Hg, etc., geralmente o despejo desses materiais é sujeito a uma regulamentação estadual e federal; apresentam problemas de toxidez e de transferência através da cadeia alimentar;
- d) cor e turbidez, indesejáveis do ponto de vista estético. Exigem trabalhos maiores as estações de tratamento d'água;
- e) elementos nutritivos (nitrogênio e fósforo) aumentam a eutrofização dos lagos e dos pântanos. Inaceitáveis nas áreas de lazer e recreação;
- f) materiais refratários. Ex.: plásticos ABS. Formam espumas nos rios; não são removidos nos tratamentos convencionais;
- g) óleo e matérias flutuantes: os regulamentos exigem geralmente sua completa eliminação – indesejáveis esteticamente –, interferem com a decomposição biológica;
- h) ácidos e álcalis: neutralização exigida pela maioria dos regulamentos; interferem com a decomposição biológica e com a vida aquática;
- i) substâncias que produzem odores na atmosfera: principalmente com a produção de sulfetos e gás sulfídrico;
- j) matérias em suspensão: formam bancos de lama nos rios e nas canalizações de esgotos;
- k) temperatura: poluição térmica conduzindo ao esgotamento do oxigênio dissolvido (abaixamento do valor da saturação).

3.2 RESÍDUOS GERADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS

O tratamento de esgotos é um grande gerador de resíduos, variando o tipo e a quantidade destes conforme o tratamento adotado. Fernandes e Silva (1999, p. 24) citam (quadro 1) os

principais tipos de resíduos removidos nas estações de tratamento de esgotos sanitários e suas características.

TIPO DE RESÍDUO	CARACTERÍSTICAS
Resíduos retidos nas grades	Sólidos grosseiros; pedaços de madeira, papel, etc.
Sedimentos de caixa de areia	Material mineral: areia, terra, partículas orgânicas ligadas às minerais.
Escuma material	Material sobrenadante dos decantadores ou de alguns tipos de reatores, rico em óleos e graxas, sólidos de baixa densidade. Não deve ser misturado ao lodo, caso este venha a ser compostado ou utilizado na agricultura.
Lodo primário	Lodo obtido por sedimentação do esgoto no decantador primário. Normalmente cinza e na maioria dos casos de odor ofensivo. Pode ser digerido facilmente por vários processos. Normalmente é encaminhado a um digestor anaeróbio.
Lodo secundário (processo de lodos ativados)	Apresenta geralmente aparência floculada e com tons marrons. Se a cor é mais escura, as condições do meio se aproximam da anaerobiose. Tende à decomposição anaeróbia devido ao excesso de matéria orgânica. Pode ser digerido facilmente sozinho ou misturado com lodo primário, no digestor.
Lodo digerido aeróbio (ativado e primário)	Apresenta cor marrom escura e aparência floculada, odor inofensivo e é fácil de ser drenado.
Lodo digerido anaeróbio (ativado e primário)	Apresenta cor marrom escura ou preta. Se for bem digerido não apresenta odor ofensivo. Também é fácil de ser desidratado.

Quadro 1: principais tipos de resíduos removidos em estações de tratamento de esgotos sanitários e suas características
(FERNANDES; SILVA, 1999, p. 24)

O lodo primário e secundário são os principais e mais problemáticos subprodutos gerados nas estações de tratamento de esgoto. Devido ao seu grande volume de produção, difícil tratamento e disposição final, o lodo de esgoto constitui em um complexo problema enfrentado pela Engenharia Sanitária (DUARTE, 2008, p. 14). Este lodo quando é utilizado de forma útil pode ser denominado **biossólido** (FERNANDES; SILVA, 1999, p. 14).

Alguns autores divergem em relação ao custo operacional que o ciclo do lodo representa em um projeto de estação de tratamento. Fernandes e Silva (1999, p. 14) citam que pode chegar a 60%. Já Ferreira e Andreoli (1999, p. 6) notificam que apesar do volume do lodo ser de 1 a 2% do esgoto tratado, o custo varia entre 30 e 50%. Assim, independente do valor exato do custo operacional, o manejo deste resíduo corretamente é de vital importância para o sucesso operacional de uma estação de tratamento de esgoto.

3.3 SITUAÇÃO ATUAL NO BRASIL

No Brasil os sistemas de esgotamento sanitário, constituem-se num grande problema. O Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (BRASIL, 2007) revela que apenas 42% dos domicílios brasileiros estão ligados à rede de coletas de esgoto. Em relação à área urbana, 49,1% estão conectados.

A tabela 1 demonstra o quanto este valor é influenciado pela rede de coletas existente no Sudeste, a região mais populosa e desenvolvida. Na região Norte, devido a grandes receptores hídricos e baixa população, o valor é quase nulo. No restante do Brasil, os valores são extremamente críticos. O pouco esgoto coletado não é tratado com os devidos métodos. A tabela 1 ainda exhibe os dados referentes à quantidade de esgoto coletado que é tratado por cada região do Brasil.

Tabela 1: índices de coleta e tratamento dos esgotos no Brasil

Regiões	Índice de atendimento (%)		
	Coleta de esgotos		Tratamento dos esgotos gerados
	Total	Urbano	Total
Norte	5,1	6,2	9,6
Nordeste	18,9	25,4	29,8
Sudeste	65,3	70,8	33,8
Sul	31,5	37,2	29,5
Centro-oeste	43,9	48,4	41,8
Brasil	42,0	49,1	32,5

(fonte: BRASIL, 2007, p. 19)

Além dos esgotos coletados e não tratados, deve-se considerar os esgotos não coletados, que são misturados com a rede pluvial e também tem como destino os mananciais hídricos. O lançamento indiscriminado de efluentes industriais na rede pública de esgotos sanitários também pode trazer sérios inconvenientes ao sistema.

3.4 SITUAÇÃO DA GESTÃO DE BIOSSÓLIDOS

Dentro do cenário citado acima, Ludovice (1998, p. 9) afirma que:

[...] é óbvio que o lodo de esgoto, como principal subproduto do tratamento de esgotos sanitários, não pode ser assunto relevante em países que admitem a poluição de seus recursos hídricos pelo lançamento “in natura” de seus esgotos. A realidade é que o Mercosul ainda não trata seus esgotos!

Apesar de o Brasil ter sérios problemas no seu sistema de esgoto sanitário, a gestão de biossólidos começa a ser levada em consideração pelos profissionais da área de saneamento. Durante anos os projetos de estações de tratamento ignoravam o destino dos biossólidos, simplesmente apresentando uma seta indicando o desenho de um caminhão com as palavras mágicas **destino final adequado** (ANDREOLI; PEGORINI, 1998, p. 11).

Uma estação de tratamento de esgoto que não possui uma gestão de biossólidos eficiente acaba perdendo totalmente o seu objetivo. O correto tratamento e disposição do lodo de esgoto devem fazer parte de todo o programa de tratamento de efluentes.

No Brasil os lodos são regulamentados pela NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) como resíduos sólidos e contam apenas com normas de caráter genérico, as quais têm servido de apoio para a atuação de entidades ambientais. Devido à ausência de regulamentações específicas, as metodologias de análises físicas, químicas e biológicas de lodos não são padronizadas no País, dificultando a comparação de dados, além de oferecerem baixa precisão e repetibilidade (DEUS et al., 1993 apud MORAES, 2005, p. 9). Em 2006 o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu a Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006), que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário.

No Brasil são produzidas cerca de 310 mil toneladas de lodo por ano. A destinação final desses lodos é apresentada no quadro 2, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (BRASIL, 2004 apud MORAES, 2005, p. 7). Nos Estados Unidos e Europa, que já possuem um sistema de saneamento avançado, a produção de lodo estimada é de aproximadamente 13 milhões e 6,6 milhões toneladas por ano respectivamente (MATTHEWS, 1992 apud MORAES, 2005, p. 33).

Dados da tabela 2 apontam quais são as alternativas adotadas por países desenvolvidos e o Brasil para a destinação final dos bio-sólidos. Nos países desenvolvidos a procura por alternativas sustentáveis como agricultura é a mais utilizada. O Brasil peca muito neste quesito, cerca de 80% do lodo é depositado em aterros sanitários, sendo muito destes com potencial agrícola que é desperdiçado.

Região	Norte	Nordeste	Centro-oeste	Sudeste	Sul	Brasil	
Número de distritos	19	252	57	795	260	1.383	
Destino	Rio	2	93	9	128	39	271
	Mar	–	6	–	3	1	10
	Terreno baldio	1	52	5	20	24	102
	Aterro sanitário	4	33	13	240	44	334
	Incineração	–	1	1	9	1	12
	Reaproveitamento	3	15	10	43	94	165
	Outro	7	60	18	241	58	384
	Sem declaração	2	3	2	134	101	151

Quadro 2: número de distritos em função do destino final do lodo (BRASIL, 2004 apud MORAES, 2005, p.7)

Tabela 2: principais meios de destinação dos lodos de esgoto

PAÍS	Método de disposição (como % do total produzido)			
	Aterro	Agricultura	Incineração	Outros
França	30	70	0	0
Alemanha	25	63	12	0
Itália	34	55	11	0
Portugal	80	13	0	7
Espanha	10	50	10	30
EUA	30	20	30	20
Japão	6	14	80	0
Brasil	80	5	0	15

(fonte: CHANG et al. apud DUARTE, 2008, p. 17)

3.5 PERSPECTIVAS FUTURAS

O Brasil vem aumentando o investimento em saneamento ao longo dos últimos anos, principalmente através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) implementado pelo Governo Federal que tem destinado muitos recursos para esta área. De acordo com Santos et al. (1997 apud MORAES 2005, p. 8), a região metropolitana de São Paulo, responsável por 93% da produção de lodo de esgoto total do estado de São Paulo, atingiu em 2005 a produção diária de 615 toneladas de lodo seco e em 2015 esse valor deverá girar em torno de 800 toneladas por dia.

É preciso estar ciente que no investimento em saneamento estejam incluídos também recursos para a gestão do lodo gerado. Caso contrário, os problemas já citados decorrentes dos esgotos persistirão prejudicando a sociedade e o meio ambiente.

4 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS BIOSSÓLIDOS

Para o tratamento e disposição adequada do lodo é necessário o conhecimento de suas características e propriedades importantes. As características qualitativas e quantitativas do lodo estão relacionadas com (FERNANDES; SILVA, 1999, p. 30):

- a) a densidade populacional;
- b) o tipo de urbanização;
- c) os hábitos sanitários;
- d) as condições ambientais;
- e) a estação do ano;
- f) o perfil de saúde da comunidade que gera o lodo;
- g) o tipo de sistema de tratamento existente.

O lodo de esgoto pode ser caracterizado como um material rico em matéria orgânica, com alto teor de umidade que possui concentrações elevadas de nitrogênio, fósforo, micronutrientes e outros minerais (AISSE et al., 1999 apud MORAES, 2005, p. 8). Antes da remoção da umidade, os lodos apresentam-se com 98% de água, sendo o restante sólidos. Destes, a principal composição é a matéria orgânica. Antes da digestão e desidratação, 75-80% dos lodos é constituído por substâncias orgânicas, após, o valor é reduzido a até 40-50%. Um lodo de esgoto típico apresenta em torno de 40% de matéria orgânica (LUCCHESI, 1998, p. 77).

Os lodos possuem na sua composição macronutrientes que variam em torno de 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e menos de 1% de potássio (LUCCHESI, 1998, p.79). Magnésio, cálcio e enxofre também fazem parte da composição, porém em quantidades muito pequenas. O quadro 3 representa as características físico-químicas do lodo de esgoto segundo alguns autores nacionais.

Metais pesados e micronutrientes presentes nos lodos de esgoto são provenientes dos efluentes industriais. Alguns destes são essenciais aos organismos vivos, como o cobalto, cromo, cobre, selênio e zinco. Entretanto no quadro 4 demonstra-se que os metais podem causar sérios problemas à saúde humana.

Item	pH	C/N	Matéria Orgânica	H ₂ O	Cinzas	C	N	P	K	Ca	Mg
Unidade	-	-	%								
Fernandes et al., 1993 (Lodo fresco)	6	7	-	98 - 99	10 - 12	33	4,5 - 5	3,1	0,1	1	0,3
Fernandes et al., 1993 (Lodo digerido)	7	7	-	90 - 91	38 - 40	24	3 - 3,2	5,6	0,2	1,9	0,3
Fernandes et al., 1993 (Lodo ativado)	7	5	-	98 - 99	12 - 13	30	6 - 6,5	2,9	0,1	0,9	0,4
Berton et al., 1989	-	11	-	-	-	16	1,38	0,9	0,3	1,6	0,6
Carvalho, 1982	-	-	31,74	-	-	-	1,26	2,6	0,3	-	-
Bettiol et al., 1983	6	-	58,68	-	-	-	2,24	4	0,7	-	-

Quadro 3: características físico-químicas do lodo de esgoto segundo alguns autores (ROCHA; SHIROTA, 2004 apud MORAES, 2005, p. 10)

METAIS PESADOS	EFEITOS SOBRE A SAÚDE HUMANA
Cádmio	Provoca desordem gastrointestinal grave, bronquite, enfisema, anemia e cálculo renal.
Chumbo	Provoca cansaço, ligeiros transtornos abdominais, irritabilidade e anemia.
Cromo	Em doses baixas causa irritação nas mucosas gastrointestinais, ulcera e inflamação da pele. Em doses altas causa doenças no fígado e nos rins, podendo levar a morte.
Mercurio	Causa transtornos neurológicos e renais, tem efeitos tóxicos nas glândulas sexuais, altera o metabolismo do colesterol e provoca mutações.

Quadro 4: principais metais pesados encontrados nos lodos sanitários provenientes de atividades industriais (BARROS et al., 1996 apud FERNANDES; SILVA, 1999, p. 31)

O quadro 5 apresenta os principais metais pesados encontrados nos lodos sanitários provenientes de atividades industriais. O lodo de estações de tratamento de esgoto que recebem apenas efluentes domésticos contém pouca quantidade de metais pesados, porém, podem ocorrer ligações clandestinas de pequenas fontes tais como: laboratórios fotográficos, fábricas de baterias, tintas de cromagem, entre outras (FERNANDES; SILVA, 1999, p. 31).

Além de determinados metais pesados, os biossólidos contêm microrganismos patogênicos como fungos, vírus, bactérias e parasitas. Normalmente, nos sistemas de tratamento de esgoto, os microrganismos ficam adsorvidos às partículas sólidas e tendem a se precipitar durante a

fase de decantação, concentrando-se no lodo de esgoto. No entanto, a densidade de patógenos presentes no lodo é variável, pois está ligada às características da comunidade e ao tipo de tratamento a que o lodo foi submetido (FERNANDES; SILVA, 1999, p. 31).

METAL	Origem
Cádmio (Cd)	Indústrias de tratamento de superfícies metálicas, plásticos, fabricação de radiadores, borracha, pigmentos, etc
Cobre (Cu)	Canalizações de água quente, fabrica de fios elétricos, radiadores de automóveis e tratamento de superfícies metálicas
Zinco (Zn)	Produtos farmacêuticos, fabrica de tintas, borracha, pilhas elétricas, galvanização
Níquel (Ni)	Fabrica de ligas de aço especiais, recobrimento de superfícies metálicas por eletrolise; hidrogenação de óleos e substancias orgânicas, tintas, cosméticos
Mercúrio (Hg)	Produtos farmacêuticos, fungicidas, aparelhos elétricos e eletrônicos, tintas, pasta de papel, fabricação de cloretos de vinil
Cromo (Cr)	Curtumes, fabricação de ligas especiais de aço, tratamento de superfícies metálicas
Chumbo (Pb)	Fabricação de baterias, tintas, escoamento pluvial de vias publicas, canalizações
Selênio (Se)	Fabricação de tintas e pigmentos, vidro, indústria de semicondutores, inseticidas, liga metálicas

Quadro 5: principais metais pesados encontrados nos lodos sanitários provenientes de atividades industriais (ANDRED, 1998 apud FERNANDES; SILVA, 1999, p. 31)

Os compostos orgânicos também podem estar presentes nos lodos. Fernandes e Silva (1999, p. 37) citam algumas fontes de contaminação:

- a) doméstica: restos de solventes, pinturas, detergentes;
- b) efluentes industriais: indústrias químicas em geral;
- c) águas pluviais: infiltram-se na rede coletora de esgoto carreando resíduos de produtos utilizados em veículos automotores, pesticidas, etc.

Os biossólidos podem conter compostos orgânicos como um resultado da disposição de águas residuárias, industriais, comerciais, esgotos domésticos, além de substâncias químicas provenientes de deposição atmosférica. A presença de tóxicos orgânicos no composto depende do tipo de resíduo envolvido.

Embora causem sérios efeitos à saúde, como demonstrado no quadro 6, os compostos orgânicos detectados nos bioossólidos em geral tem um baixo nível.

Compostos orgânicos tóxicos	Efeitos sobre a saúde
Aldrin e dieldrin	Afetam o sistema nervoso central. Em doses altas é fatal para o homem.
Benzeno	A exposição aguda ocasiona a depressão no sistema nervoso central. Estudos sugerem que existe relação entre exposição de benzeno e leucemia.
Clordano	Provoca vômitos e convulsões. Pode causar mutações.
Lindano	Causa irritação do sistema nervoso central, náusea, vômitos, dores musculares e respiração debilitada.
Clorofórmio	Severamente tóxico com altas concentrações; danos ao fígado e ao coração cancerígeno a roedores.
PCB	Provavelmente cancerígeno; exposição ao mesmo resulta em dores de cabeça e distúrbios visuais.
DDT	Causa problemas, principalmente no sistema nervoso central, causa decréscimo das células brancas do sangue e acumula-se nos tecidos gordurosos.

Quadro 6: principais efeitos sobre a saúde provenientes de compostos orgânicos tóxicos presentes em bioossólidos
(BARROS et al., 1995 apud FERNANDES; SILVA, 1999, p. 38)

5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ECOEFICIÊNCIA

A organização não-governamental WWF (*WORLD WILDLIFE FUND FOR NATURE*, 2009) define o desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro. Para ser alcançado, depende de planejamento e do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos. Esse conceito representa uma nova forma de desenvolvimento econômico, que leva em conta o meio ambiente.

A WWF (*WORLD WILDLIFE FUND FOR NATURE*, 2009) relata que muitas vezes o desenvolvimento é confundido com crescimento econômico, que depende do consumo crescente de energia e recursos naturais. Esse tipo de desenvolvimento tende a ser insustentável, pois leva ao esgotamento dos recursos naturais dos quais a humanidade depende. O desenvolvimento sustentável sugere, de fato, qualidade em vez de quantidade, com a redução do uso de matérias-primas e produtos e o aumento da reutilização e da reciclagem.

Nas últimas décadas o desenvolvimento sustentável tem ganhado destaque no meio científico e na mídia, devido aos problemas ambientais que o ser humano tem causado no meio ambiente e suas consequências. A proposta principal é melhorar a relação entre o setor produtivo e o meio ambiente.

A Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável, a qual compete propor políticas, normas e estratégias, e implementação de estudos, propõe em suas diretrizes (BRASIL, 2005 apud CARDOSO, 2007, p. 15):

- a) o fomento ao desenvolvimento de tecnologias de proteção e de recuperação do meio ambiente e de redução dos impactos ambientais;
- b) o estímulo à adoção pelas empresas de códigos voluntários de conduta, tecnologias ambientalmente adequadas e oportunidades de investimentos visando ao desenvolvimento sustentável.

O termo **ecoficiência** foi introduzido em 1992 pelo WBCSD¹ através da publicação de seu livro *Changing Course*, sendo endossado pela Conferência do Rio (Eco 92) como uma forma de as organizações implementarem a Agenda 21 no setor privado. Desde então, vem tornando um sinônimo de uma filosofia de gerenciamento que leva à sustentabilidade. Como foi um conceito definido pelo próprio mundo dos negócios, está se popularizando muito rapidamente entre os executivos de todo o mundo (CARDOSO, 2007, p. 27).

Segundo a WBCSD (*WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*, 2009) a ecoeficiência significa que:

[...] as companhias podem melhorar sua performance ambiental e economizar dinheiro através da redução do uso de vários insumos no seu processo produtivo. Algumas organizações já estão adotando princípios e práticas da ecoeficiência, integrando a excelência ambiental em sua filosofia corporativa; definindo metas para melhorar a performance, ao mesmo tempo que introduzem sistemas para auditá-las e medi-las; assumindo responsabilidade pelos seus produtos no seu ciclo de vida completo; sendo inovativa no desenvolvimento de novos processos e produtos e colocando ênfase em prevenir a poluição, ao invés de pagar para limpar.

No Brasil, o conceito de ecoeficiência encontrou um aliado a partir da criação do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), que tem como missão promover o desenvolvimento sustentável no meio empresarial através do conceito de ecoeficiência. Conforme está descrito pelo CEBDS, pressupõem-se sete elementos fundamentais para a ecoeficiência (CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2009):

- a) reduzir o consumo de materiais com bens e serviços;
- b) reduzir o consumo de energia com bens e serviços;
- c) reduzir a dispersão de substâncias tóxicas;
- d) intensificar a reciclagem de materiais;
- e) maximizar o uso sustentável de recursos renováveis;
- f) prolongar a durabilidade dos produtos;
- g) agregar valor aos bens e serviços.

Esses elementos podem ser associados às estações de tratamento de esgoto (SANTOS, 2008, p. 25):

- a) a redução do consumo de água e quantidades de esgoto sanitário em seu ciclo;

¹ *World Business Council for Sustainable Development*

- b) a redução do consumo de energia através da eficiência do processo de tratamento de esgotos;
- c) a redução da dispersão de poluentes para os mananciais (eficiência do processo);
- d) reciclar água e os lodos;
- e) a maximização do uso sustentável da água;
- f) elevação da vida útil dos processos e dos mananciais;
- g) agregar valor ambiental ao efluente tratado.

6 CICLO DO LODO

O lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto se caracteriza por etapas que vão desde a geração, passando pelo tratamento específico, armazenamento correto e o transporte até a disposição final. A seguir cada uma dessas etapas será detalhada.

6.1 GERAÇÃO

A quantidade de lodo gerado está relacionada ao tipo de tratamento adotado. O quadro 7 demonstra a quantidade de lodo a ser tratado, a eficiência de remoção, os requisitos de cada sistema. Nota-se a exclusão da estimativa de lodo gerado de sistemas como lagoas de estabilização e infiltração. O primeiro devido a sua retirada a longo prazo e o segundo por questões técnicas.

A quantidade de lodo produzido por um sistema pode ser considerada como um referencial da eficiência de operação dos sistemas, os quais prevêm um determinado volume de descarte de lodo. Se o descarte estiver acima ou abaixo deste ideal reduz a eficiência do sistema. Em geral, os sistemas são operados com pouca frequência, retirando-se pequenas quantidades de lodo, comprometendo todo o sistema. Existe, portanto, uma relação entre a qualidade do afluente, a produção de lodo e a quantidade do efluente tratado.

Outro aspecto ligado ao processo de tratamento do esgoto, que influi na produção de lodo, é a eficiência do processo de pré-tratamento, principalmente se o efluente carrear altos teores de areia e outros materiais de origem mineral (FERREIRA; ANDREOLI, 1999, p. 10).

Sistemas de tratamento	Eficiência na remoção				Requisitos		Quantidade de lodo a ser tratado (m ³ /hab.ano)
	DBO	N	P	CF	Área (m ² /hab)	Potência (W/hab)	
Tratamento primário	35 – 40	10 – 25	10 – 20	30 – 40	0,03 – 0,05	0	0,6 – 1,3
Lodos ativados convencional	85 – 93	30 – 40	30 – 45	60 – 90	0,2 – 0,3	1,5 – 2,8	1,1 – 1,5
Lodos ativados (aeração prolong.)	93 – 98	15 – 30	10 – 20	60 – 90	0,25 – 0,35	2,5 – 4,0	0,7 – 1,2
Lodos ativados (fluxo intermitente)	85 – 95	30 – 40	30 – 45	60 – 90	0,2 – 0,3	1,5 – 4,0	0,7 – 1,5
Filtro biológico (baixa carga)	85 – 93	30 – 40	30 – 45	60 – 90	0,5 – 0,7	0,2 – 0,6	0,4 – 0,6
Filtro biológico (alta carga)	80 – 90	30 – 40	30 – 45	60 – 90	0,3 – 0,45	0,5 – 1,0	1,1 – 1,5
Biodiscos	85 – 93	30 – 40	30 – 45	60 – 90	0,15 – 0,25	0,7 – 1,6	0,7 – 1,0
Reator anaeróbio de manta de lodo	60 – 80	10 – 25	10 – 20	60 – 90	0,05 – 0,10	0	0,07 – 0,1
Fossa séptica – filtro anaeróbio	70 – 90	10 – 25	10 – 20	60 – 90	0,2 – 0,4	0	0,07 – 0,1

Quadro 7: características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos (VON SPERLING, 1994, p. 10)

6.2 TRATAMENTO

O lodo necessita de um tratamento específico visando corrigir três características indesejáveis do resíduo (AISSE et al., 1999 apud DUARTE, 2008, p. 37):

- a) instabilidade biológica: o método mais comum para reduzir o teor de material orgânico biodegradável (presente no lodo primário e no lodo aeróbio) é a digestão anaeróbia, sendo também utilizada a digestão aeróbia;
- b) baixa qualidade higiênica: no esgoto sanitário há grande variedade de vírus, bactérias, protozoários, ovos de nematóides e helmintos;
- c) grande volume: como a concentração de sólidos no lodo é baixa, seu volume grande, tornando necessária uma etapa de redução de teor de água.

As principais etapas do tratamento do lodo e seus principais objetivos são (ANDREOLI et al., 2001 apud DUARTE, 2008, p. 40):

- a) adensamento: visa à remoção de umidade (diminuição do volume). É mais utilizado nos processos de tratamento primário, lodos ativados e filtros biológicos percoladores;
- b) estabilização: remoção da matéria orgânica, inibindo o potencial de putrefação do lodo e, conseqüentemente, seu potencial de produção de odores; visa também à redução de microrganismos patogênicos;
- c) condicionamento: preparação para desidratação (principalmente mecânica);
- d) desaguamento: remoção da umidade (diminuição do volume). Os principais objetivos são,
 - redução do custo de transporte para o local de disposição final;
 - melhoria nas condições de manejo do lodo, já que o lodo desaguado é mais facilmente transportado;
 - aumento do poder calorífico do lodo por meio da redução da umidade com vistas à preparação para incineração.
- e) higienização: remoção de organismos patogênicos. É uma etapa imprescindível na reciclagem agrícola;

O quadro 8 apresenta as principais tecnologias para o tratamento de lodo em estações de tratamento de esgoto. A figura 2 mostra a variação do volume ocupado por uma amostra de lodo em função do seu teor de água. Pode-se observar pela curva que quando o teor de sólidos é muito baixo, uma pequena variação deste teor implica em brutal diminuição do volume total. Isto explica o interesse em se construir adensadores, que são capazes de elevar o teor de sólidos de um lodo de 1% para 2,0-2,5%. Esta pequena elevação no teor de sólidos implica na verdade em redução de aproximadamente 50% do volume a ser disposto.

Adensamento	Estabilização	Condicionamento	Desidratação	Higienização
Adensamento por gravidade	Digestão aeróbia	Condicionamento químico	Leitos de secagem	Adição de cal (caleação)
Flotação	Digestão anaeróbia	Condicionamento térmico	Lagoas de lodo	Tratamento térmico
Centrífuga	Tratamento térmico		Filtro prensa	Compostagem
Filtro prensa de esteira	Estabilização química		Centrífuga	Oxidação úmida
			Filtro prensa de esteiras	Outros (radiação gama, solarização, etc.)
			Filtro a vácuo	
			Secagem térmica	

Quadro 8: principais tecnologias para o tratamento do lodo de ETE (ANDREOLI et al., 2001 apud DUARTE, 2008, p. 42)

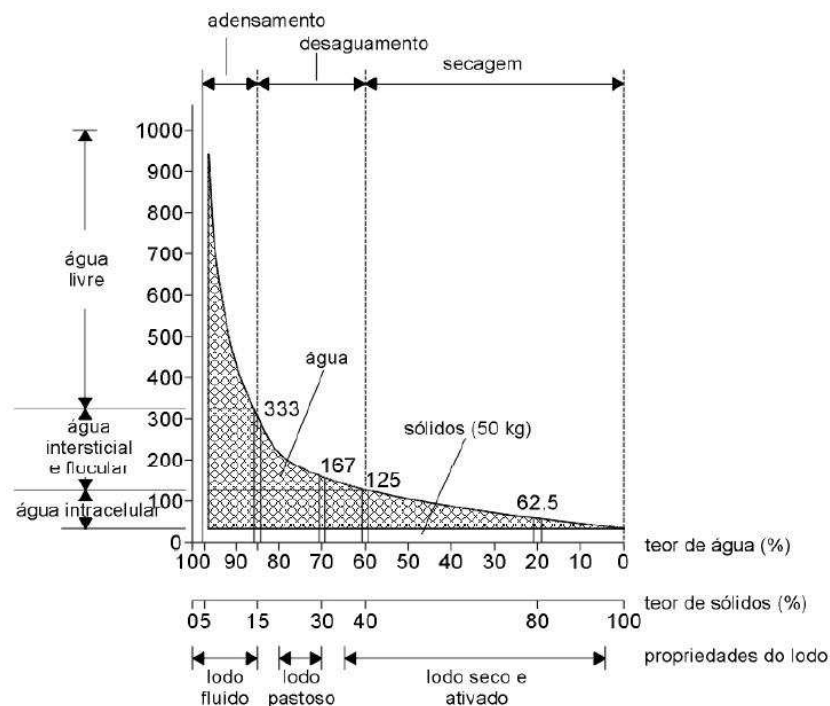


Figura 2: variação do volume de lodo em função do seu teor de água (FERREIRA; ANDREOLI, 1999, p. 8)

6.3 TRANSPORTE

Esta é uma etapa muitas vezes omitida, porém tem importância no ciclo do lodo. Os projetos de estações de tratamento de esgoto devem, sempre que possível, dispor o lodo em um raio máximo de 200 quilômetros de onde foi produzido (LUDUVICE, 1998, p. 9).

O uso excessivo do transporte pode ocasionar em problemas econômicos e ambientais, como a emissão de CO₂ equivalente pelos veículos. A umidade está diretamente relacionada com o volume a transportar e, conseqüentemente, com o custo do deslocamento e emissão de CO₂. Reduzindo o teor de umidade de 100 para 85%, o volume se reduz a 1/3 do volume inicial (ANDREOLI; PEGORINI, 1998, p. 51). No gráfico da figura 3 pode ser observado o quanto o número de viagens aumenta de acordo com um menor teor de sólidos do lodo.

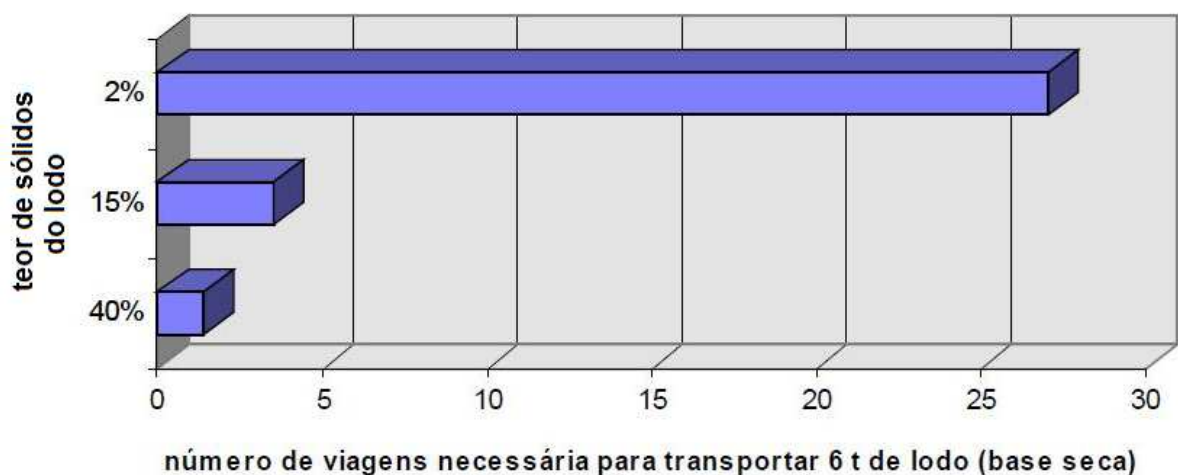


Figura 3: necessidade de transporte em relação ao teor de sólidos do lodo (ILHENFELD; ANDREOLI, 1999, p. 51)

O transporte do lodo está diretamente ligado com o projeto de armazenamento do mesmo na estação. O planejamento da disposição do lodo é fundamental na eficiência econômica e ambiental do processamento e transporte.

Além de o transporte necessitar seu licenciamento pelo órgão ambiental competente, alguns cuidados devem ser tomados no seu uso (ILHENFELD; ANDREOLI, 1999, p. 64):

- a) o veículo utilizado para o transporte deverá ter a carroceria em boas condições;
- b) no caso de caminhões caçamba a tampa traseira deve ter trava em funcionamento, prevenindo perdas no percurso;

- c) antes da saída da estação o caminhão deve ser observado, devendo ser vetada a saída de veículos onde haja vazamento de líquidos;
- d) na saída da estação deve haver ainda um dispositivo que permita a limpeza de pneus, para evitar que as estradas de acesso fiquem sujas.

6.4 DESTINAÇÃO E DISPOSIÇÃO FINAL

Última etapa do ciclo do lodo, sendo considerada a mais importante. Para Gonçalves et al. (2001 apud DUARTE 2008, p. 49), o destino final adequado do lodo é fundamental para o sucesso de um sistema de esgotamento sanitário, no entanto, este assunto tem sido comumente negligenciado, tanto na concepção quanto na operação das estações de tratamento de esgoto.

Existem inúmeras possibilidades de destinação adequada para o lodo, desde as alternativas que o consideram apenas como um resíduo a ser confinado até as opções que primam pela introdução do seu uso na geração de novos produtos. A escolha por uma alternativa deve ser alicerçada sobre as características do sistema, desde os pontos de vista tecnológico, econômico e ambiental.

As alternativas estudadas no presente trabalho são:

- a) reciclagem agrícola
- b) compostagem
- c) cerâmica
- d) incineração
- e) *landfarming*
- f) aterro Sanitário

6.4.1 Reciclagem agrícola

É a única alternativa regulamentada por Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) devido a sua grande utilização nos últimos anos e pelos grandes benefícios ambientais. A Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006), define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário.

Lara (1999, p. 83) cita os impactos positivos e negativos do reaproveitamento do lodo na agricultura. As vantagens são:

- a) reciclagem de resíduo: visando um desenvolvimento sustentado, os resíduos são recursos potenciais e as melhores alternativas de disposição de um subproduto, são a minimização de sua produção combinada a sua reciclagem como insumo de novos processos;
- b) melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo: estabiliza a estrutura do solo aumentando a capacidade de retenção de água do solo e de nutrientes minerais. A matéria orgânica do lodo favorece a agregação das partículas, com benefícios sobre a infiltração e retenção de água e a aeração do solo. A mineralização do lodo fornece nutrientes para a planta e para a flora e fauna do solo cuja atividade influi diretamente na nutrição das plantas;
- c) aumento da produtividade agrícola: a matéria orgânica e nutrientes do lodo proporcionam um aumento na produtividade das culturas;
- d) benefícios econômicos: com o aumento da produtividade ocorre um aumento nos lucros obtidos com a venda do produto.

Como desvantagens são citadas:

- a) contaminação por patógenos: o esgoto contém uma variedade de patógenos, incluindo bactérias, vírus, parasitos e fungos, muitos dos quais sobrevivem ao tratamento do esgoto e são concentrados no lodo. Embora os processos de estabilização, reduzam o número de patogênicos no lodo, alguns sobrevivem e podem representar um risco a saúde humana e animal;
- b) contaminação por metais pesados: os solos já contém metais pesados em função de sua formação geológica ou pelo aporte de insumos químicos, pesticidas e poluição atmosférica e hídrica. Deve ser considerado o efeito cumulativo no solo e a absorção de metais pelo solo e plantas;
- c) atração de insetos vetores: alguns insetos são potenciais transmissores de agentes infectantes quando do contato com o homem. O aumento da frequência de insetos a locais de aplicação de lodo pode ocorrer quando o lodo não está bem estabilizado;
- d) emissão de odores: consequência da má estabilização do lodo, a presença de odor ofensivo pode ser fator de não aceitação do produto pelos agricultores.

6.4.2 Compostagem

De acordo com Golueke (1977, apud MIKI et al., 2009, p. 29) a compostagem é um método controlado de decomposição biológica dos componentes orgânicos do lodo em determinadas condições e cujo produto final pode ser manipulado, estocado e/ou aplicado ao solo sem afetar de forma adversa o meio ambiente.

As vantagens da compostagem são (MIKI et al., 2009, p. 29):

- a) produto final estocável;
- b) produto final com potencial para venda;
- c) pode ser combinado com outros processos;
- d) baixos custos comparados com a incineração;
- e) destruição de agentes patogênicos.

As desvantagens apontadas pelos autores são:

- a) necessita de um teor de sólidos do lodo entre 18 a 30%;
- b) necessita agentes estruturantes, o que pode causar um aumento do volume;
- c) pode necessitar de grandes áreas;
- d) altos custos em comparação com a aplicação direta no solo;
- e) potencial geração de bioaerossóis;
- f) potencial geração de maus odores.

A compostagem pode processar todos os tipos de lodo. No entanto, a compostagem de um lodo não digerido tem maiores chances de desprender maus odores do que a compostagem de um lodo digerido e aproximadamente 40% a mais de área de pátio de processo. Por outro lado, um lodo não digerido irá produzir muito mais calor e conseqüentemente um teor de sólidos final mais alto (MIKI et al., 2009, p. 30).

Uma variante da tecnologia de compostagem é denominada vermicompostagem. Nela são utilizadas minhocas para produção do composto orgânico (vermicomposto), constituído pela mistura de matéria orgânica unificada e excrementos de minhocas (VERAS; ROVINELLI, 2004, p. 218).

As vantagens desta variante da compostagem, segundo Veras e Rovinelli. (2004, p. 219), são basicamente a preservação de solos ainda em boas condições biológicas e também a regeneração de terrenos empobrecidos pelo uso contínuo de agrotóxicos e adubos químicos. Fernandes e Silva (1999, apud VERAS; ROVINELLI., 2004, p. 219) ressaltam que o composto não deve ser visto como um substituto do adubo mineral, mas como um condicionador de solos, cujo uso permite melhorar suas condições gerais em longo prazo, fazendo com que as plantas aproveitem melhor o adubo mineral incorporado.

6.4.3 Cerâmica

Os lodos podem ser utilizados como matéria-prima da indústria cerâmica, que utilizam fornos operando em altas temperaturas, o que reduz os riscos sanitários ao máximo (ARAÚJO et al., 2005, p. 2). Os lodos podem substituir as argilas que resultam na fabricação de blocos cerâmicos, utilizados na construção civil em geral.

Araújo et al. (2005, p. 2) descreve as vantagens do uso do lodo na cerâmica:

- a) destinação ambientalmente segura para lodos que não apresentam tratamento sanitário adequado para outros tipos de aplicação;
- b) aumento da vida útil das jazidas de argila;
- c) menor gasto de energia, transporte e fabricação e menor utilização dos recursos naturais.

Entretanto, a utilização do lodo na cerâmica requer grandes cuidados principalmente na dosagem para não influir nas características e propriedades dos blocos cerâmicos. Duarte (2008, p. 101) recomenda que seja incorporado no máximo 20% de lodo na massa cerâmica, principalmente pela diminuição da resistência dos tijolos devido à presença de lodo.

6.4.4 Incineração

É um método de tratamento que se utiliza da decomposição térmica via oxidação, com o objetivo de tornar um resíduo menos volumoso, menos tóxico ou atóxico, ou ainda eliminá-lo. É uma alternativa que apresenta elevado custo por tonelada tratada e problemas secundários de poluição atmosférica, restando ainda nesse processo à destinação final das cinzas. Requer cuidados operacionais sofisticados, mostrando-se mais adequada à grandes centros ou em situações onde a qualidade do lodo impede sua reciclagem agrícola, geralmente relacionado ao seu conteúdo de metais pesados (FERREIRA; ANDREOLI, 1999, p.19).

6.4.5 *Landfarming*

Este sistema utiliza a disposição do lodo no solo como sistema de tratamento. O solo é impermeabilizado e recebe doses elevadas de lodo por vários anos. O objetivo é a biodegradação dos resíduos orgânicos e retenção de metais na camada superficial do solo.

Segundo Ferreira e Andreoli (1999, p. 19), as doses de aplicação variam de 60 a 70 toneladas por ano em base seca. Para as áreas que não tem impermeabilização na camada inferior, este valor fica entre 300 a 600 toneladas de lodo por ano por hectare. Quando o processo é feito dentro de critérios de *landfarming*, com impermeabilização da camada de solo de 60 a 80 centímetros de profundidade. Assim que o lodo é espalhado sobre o solo ele deve ser incorporado superficialmente para facilitar os processos de biodegradação e minimizar o problema de odor e eventual atração de moscas.

Esta alternativa é apenas de disposição no solo, sem a possibilidade do solo ser utilizado para a agricultura devido às doses elevadas de lodo. Portanto não há preocupação em reciclar os nutrientes do lodo, apenas decompor a matéria orgânica no solo.

As vantagens do *landfarming* são (DUARTE, 2008, p. 50):

- a) alternativa de baixo custo se bem instalada e monitorada;
- b) inócua ao meio ambiente;
- c) simples execução.

As desvantagens apontadas pelo autor são:

- a) acúmulo de metais pesados e elementos de difícil decomposição no solo;
- b) possibilidade de contaminação do lençol freático;
- c) liberação de odores e atração de vetores;
- d) dificuldade de reintegração da área após desativação.

6.4.6 Aterro sanitário

O lodo é simplesmente confinado em células e recoberto com terra. A ausência de oxigênio leva à biodegradação anaeróbia, sem o aproveitamento dos nutrientes do lodo, o que implica

em menor velocidade de degradação da matéria orgânica e produção de metano e chorume. Há duas modalidades de disposição:

- a) aterro sanitário exclusivo, que recebe apenas lodo, cujo teor de sólidos deve ser superior a 30% ou mesmo seco termicamente;
- b) codisposição com resíduos sólidos urbanos, onde o lodo é misturado com resíduos sólidos urbanos.

A mistura do lodo com resíduos urbanos tende a acelerar o processo de biodegração, porém implica na redução da vida útil do aterro, caso a quantidade de lodo a ser disposta seja significativa.

A norma brasileira NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) classifica os resíduos sólidos em:

- a) classe I: perigosos;
- b) classe II - A: não inertes;
- c) classe II - B: inertes.

Os lodos de esgotos, de acordo com esta Norma, enquadram-se como classe II - a, não inertes, devido a análise que demonstraram que os lodos de forma genérica não são resíduos perigosos. Porém caso o esgoto seja muito contaminado por efluentes industriais, o lodo pode ter características de classe I, e necessitar de aterros especiais.

Um aspecto importante para a instalação de um aterro é a disponibilidade de áreas adequadas próximas ao local de produção do lodo. Além do mais, há fatores ainda mais delicados, como a necessidade da aceitação do aterro por parte da população circunvizinha à área, a aprovação do órgão ambiental e o atendimento a legislação vigente (LUDUVICE; FERNANDES, 2001 apud SANTOS, 2003, p. 54).

Segundo Santos (2003, p. 55):

Ao final da vida útil do aterro, ou seja, preenchimento total de seu volume, a área pode ser liberada para a instalação de parques, áreas verdes e campos esportivos. As construções devem ser evitadas, uma vez que os resíduos orgânicos continuarão sua decomposição por muitos anos, ocasionando recalques diferenciais.

7 DESCRIÇÃO DAS ETE ANALISADAS

Os dados para a pesquisa foram coletados na Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e no Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE). As três ETE estudadas são:

- a) ETE Santa Maria (CORSAN)
- b) ETE Canoas (CORSAN)
- c) ETE São João-Navegantes (DMAE)

7.1 ETE Santa Maria (CORSAN)

A ETE Santa Maria, localizada no município com mesmo nome, é uma estação de lodos ativados com aeração prolongada. Os dados da tabela 3 demonstram a população atendida, vazão média, massa de sólidos seco produzida e o teor de umidade dos lodos. A tabela 4 determina as concentrações médias de poluentes dos afluentes e efluentes baseado no quadro A.1 que está no anexo A.

Tabela 3: dados da ETE Santa Maria

População atendida (hab)	Vazão média (L/s)	Massa de Sólidos produzida (ton/dia)	Teor de umidade (%)
157.000	260	14	90

(fonte: COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO, 2009)

Tabela 4: dados das concentrações médias da ETE Santa Maria

Concentrações médias de poluentes dos afluentes e dos efluentes							
DBO ₅ (mgO ₂ /L)		DQO (mgO ₂ /L)		N (mgN/L)		P (mgP/L)	
Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
139,5	8,75	322,25	31,81	29,98	1,42	3,54	2,83

(fonte: COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO, 2009)

Após a geração de cerca de 20 toneladas por dia, o lodo é diretamente direcionado aos leitos de secagem para a desidratação. É removido cerca de 10% da umidade, resultando em uma produção diária de 14 toneladas de lodo seco. A CORSAN informou que existe um projeto para a colocação de uma centrífuga e a aplicação de calagem.

O transporte do biossólido da ETE até a disposição final, é feito através de caminhões que tem o seu custo avaliado por m³ e a distância necessária. Os valores do transporte são:

- a) até 10 km: R\$6,23/m³
- b) até 20km: R\$12,46/m³
- c) até 30km: R\$18,69/m³

Como a distância da ETE até a disposição final é de aproximadamente 20 km e o custo está avaliado em R\$12,06/m³. Este lodo é transportado para o colégio agrícola politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) que utiliza o lodo, como disposição final, na agricultura.

A CORSAN periodicamente faz análise físico-químicas e microbiológicas dos lodos para o controle das propriedades, como pH, metais pesados, micronutrientes, microrganismos patogênicos e compostos orgânicos tóxicos. O resultado destas análises está no anexo B, com o quadro B.1 demonstrando o laudo da análise físico-química e o quadro B.2 o laudo da análise de microbiológicos, ambos efetuados no ano de 2007. Outra análise no Anexo B, do ano de 2006, informa os resultados do laudo analítico da amostra de lodo (quadro B.3).

Também foi realizado um laudo técnico em 2007 para verificar a classificação que os lodos recebem dentro da norma técnica NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Foi feita a coleta diretamente nos leitos de secagem e a amostra foi caracterizada como sólida, pastosa, de cor preta e com odor pútrido característico. As análises de composição química estão demonstradas no quadro B.4. O pH da amostra de 6,9 foi caracterizado como ácido discretíssimo, não inserindo na faixa ácida (pH inferior a 2,0).

Avaliações referentes a reatividade, inflamabilidade e patogenicidade não apresentaram nenhuma das propriedades conforme a NBR 10.004. A toxicidade subdividida em presença de substâncias que conferem periculosidade ao resíduo, presença de substâncias tóxicas e

agudamente tóxicas e ensaio de lixiviação (quadro B.5), também não foi detectado algum tipo de substância. Os resultados do ensaio de Solubilização estão no quadro B.6.

O parecer final de classificação do laudo técnico referente a resíduos sólidos classificou os lodos da ETE Santa Maria, de acordo com a NBR 10.004, como resíduo não-inerte da classe II-A.

7.2 ETE Canoas (CORSAN)

Localizada em Canoas, a ETE dirigida pela CORSAN é uma estação de lodos ativados com aeração prolongada que atualmente opera por batelada, devido ao recebimento de chorume oriundo do aterro sanitário da cidade e outros municípios. Os dados da tabela 5 demonstram a população atendida, vazão média, massa de sólidos seco produzida e o teor de umidade dos lodos. De acordo com a CORSAN, o valor da vazão média de 70 L/s varia em função de fatores externos. A tabela 6 determina as concentrações médias dos afluentes e efluentes de cada poluente em função do quadro A.2 do anexo A.

Tabela 5: dados da ETE Canoas

População atendida (hab)	Vazão média (L/s)	Massa de Sólidos produzida (ton/dia)	Teor de umidade (%)
61.000	70	3	70

(fonte: COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO, 2009)

Tabela 6: dados das concentrações médias da ETE Canoas

Concentrações médias de poluentes dos afluentes e dos efluentes							
DBO ₅ (mgO ₂ /L)		DQO (mgO ₂ /L)		N (mgN/L)		P (mgP/L)	
Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
89,05	7,35	462,15	50,82	115,94	26,52	3,99	1,25

(fonte: COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO, 2009)

O lodo vai diretamente para os leitos de secagem para a desidratação. É removido cerca de 30% da umidade, resultando em uma produção diária de 3 toneladas de lodo seco. Um

convênio com a prefeitura municipal permite o transporte e disposição final dos lodos para o horto florestal do município. Apesar de a ETE receber chorume do aterro sanitário, o lodo não está classificado como classe industrial, o que impossibilitaria o reuso. Segundo a CORSAN, uma análise mais detalhada destes lodos já foi solicitada.

7.3 ETE São João-Navegantes (DMAE)

A ETE São João-Navegantes localiza-se no município de Porto Alegre no bairro Navegantes, tendo como sistema operacional adotado, lodos ativados com aeração prolongada. Os dados da tabela 7 demonstram a população atendida, vazão média, massa de sólidos seco produzida e o teor de umidade. As concentrações de poluentes dos afluentes e poluentes apresentados no anexo A quadro A.3 tem menos dados para uma média (tabela 8) mais precisa comparado as ETE anteriores.

Tabela 7: dados da ETE São João-Navegantes

População atendida (hab)	Vazão média (L/s)	Massa de Sólidos produzida (ton/dia)	Teor de umidade (%)
200.000	300	7	85

(fonte: DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO, 2009)

Tabela 8: dados das concentrações médias da ETE São João-Navegantes

Concentrações médias de poluentes dos afluentes e dos efluentes							
DBO ₅ (mgO ₂ /L)		DQO (mgO ₂ /L)		N (mgN/L)		P (mgP/L)	
Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
231,5	41,62	417,71	134,7	37,07	2,37	6,74	4,11

(fonte: DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO, 2009)

O DMAE informou que é gerado um volume de 6 m³ de massa de sólidos por dia. Considerando o peso específico do lodo de 1.150 kg/m³, resulta em torno de uma produção diária de 7 toneladas.

O lodo bruto é tratado por uma estabilização anaeróbia, passando por uma desidratação mecânica para em seguida ser desidratado em leitos de secagem, removendo cerca de 15% da umidade. A massa de sólidos é colocado diariamente em dois containers de 3 m³ e transportado para unidades de compostagem localizadas no bairro Lomba do Sabão em Porto Alegre, que dista cerca de 20 km da ETE. Não há informações a respeito do custo do transporte.

Os lodos gerados na estação foram submetidos a uma análise em 2007 que está no quadro B.3 do anexo B. O DMAE informou que outra análise será realizada no final de 2009.

8 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

Os dados coletados no capítulo anterior permitiram a análise e obtenção dos indicadores para avaliar as condições relacionadas ao ciclo do lodo nas estações de tratamento de esgotos. As três estações de tratamento estudadas têm o mesmo sistema operacional de lodos ativados com aeração prolongada. De acordo com o quadro 7, isso gera uma menor quantidade de lodos para serem tratados, comparado com outros sistemas como lodos ativados convencional. Os efluentes tratados nas estações seguem os padrões exigidos pela resolução CONSEMA n. 128 de 2006, com algumas variações para o parâmetro fósforo.

O tratamento dos lodos visa corrigir a instabilidade biológica, baixa qualidade higiênica e o grande volume. O teor de umidade dos lodos nas três estações continua muito alto mesmo passando por um desaguamento nos leitos de secagem, acarretando em um maior uso de transporte e emissão de poluentes. Apenas a ETE São João-Navegantes possui um tratamento específico para corrigir a estabilidade dos lodos.

O transporte da ETE até a disposição final é estimado utilizando o banco de dados do software Global Emission Model for Integrated System (GEMIS). Um caminhão de pequena carga gera 0,191 kgCO₂/km segundo o GEMIS. Para a distância total percorrida é levado em conta um caminhão que suporta transportar cerca de 6 m³ por viagem. Considerando os custos do transporte por metro cúbico dados pela CORSAN para a ETE Santa Maria, é adotado como custo padrão para todas as ETE. Para transformar as massas de sólidos de toneladas por dia para metro cúbico, é considerado o peso específico do lodo como 1.150 kg/m³. Os dados do transporte estão explícitos na tabela 9.

A disposição final adotada na ETE Santa Maria é a agricultura, opção que tem muitos benefícios e uma destinação segura aos lodos, desde que seja realizado um monitoramento constante para controlar principalmente a quantidade de metais pesados e microrganismos patológicos. Os laudos técnicos presente no anexo B (quadros B.1, B.2 e B.3) relatam que os lodos, de acordo com a Resolução CONAMA n. 375, estão aptos a serem utilizados na agricultura, pois todos os pré-requisitos estão adequados.

A outra análise no anexo B (quadros B.4, B.5 e B.6) realizada pela CORSAN relacionada aos biossólidos da ETE Santa Maria, diz respeito à classificação dos lodos em relação à NBR-10.004 de 2004 sobre resíduos sólidos. Os lodos são classificados como resíduo não-inerte da classe II-A, o que significa que o lodo não é um resíduo perigoso, sem características de toxicidade, reatividade, corrosividade, inflamabilidade e patogenicidade. A classe II-A não-inerte também determina que os lodos não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, turbidez, dureza e sabor.

Tabela 9: dados do transporte dos lodos das ETE

ETE	Massa de sólidos		Distância ETE até disposição final	Viagens até a ETE	CO ₂ equivalente	Custo adotado	Custo
	kg/dia	m ³ /dia					
Santa Maria	14,0	12,2	20	80	15,28	12,06	147,13
Canoas	3,0	2,6	10	20	3,82	6,23	16,20
São João-Navegantes	7,0	6,0	20	40	7,64	12,46	74,76

Diferente da ETE Santa Maria, a ETE Canoas ainda está aquém das responsabilidades do ciclo de biossólidos. Apesar de a CORSAN ter um convênio com a prefeitura municipal e serem levados para horto florestal do município, ainda não foi realizado um laudo técnico das propriedades dos lodos para a utilização segura na agricultura. A ETE São João-Navegantes do DMAE disponibiliza seus lodos em unidades de compostagem e realizou no ano de 2007 uma análise para a verificação da quantidade de umidade, micronutrientes, metais pesados e agentes patológicos. Uma análise mais recente já foi encaminhada pelo DMAE.

A partir dos dados da população atendida, vazão atual e massa de sólidos produzida (tabelas 3, 5 e 7) e das concentrações médias dos afluentes e efluentes (tabelas 4, 6 e 8) construiu-se

uma relação de indicadores. Esses dados permitem avaliar a capacidade de cada estação de gerir o ciclo do lodo. O cálculo dos indicadores foi obtido utilizando as equações 1, 2 e 3 e os dados das tabelas 3 a 8.

$$IH = \frac{MS \times 1000}{H} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

IH = índice de massa de sólidos por habitante (kg/hab.dia);

MS = massa de sólidos (ton/dia);

H = número de habitantes (hab).

$$IQ = \frac{\frac{MS \times 1000}{86400}}{\frac{Q}{1000}} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

IQ = índice de massa de sólidos por vazão (kg/m³);

MS = massa de sólidos (ton/dia);

Q = vazão atual da ETE (L/s).

$$IR = \frac{\frac{MS \times 1000}{86400}}{Q \times \left(\frac{ca - ce}{ca}\right) \times \frac{1}{1000}} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

IR = índice de massa de sólidos por remoção de poluente (kg/g);

MS = massa de sólidos (ton/dia);

Q = vazão atual da ETE (L/s);

ca = concentração média de poluentes do afluente (mg/L);

ce = concentração média de poluentes do efluente (mg/L).

Os resultados dessas relações referentes a cada ETE estão expressas na tabela 10. Os índices próximos de zero representam numericamente o aproveitamento ideal de cada estação. Caso os índices estiverem muito acima de zero é necessário uma análise nos dados para a verificação dos motivos.

Analisando as figuras 4 a 10, as quais apresentam graficamente os índices, nota-se que a ETE Santa Maria tem um maior índice em comparação às outras estações devido a sua grande quantidade de lodo seco gerado. Uma melhor desidratação dos lodos melhoraria todos os índices propostos.

As diferenças entre os índices de todo das ETE Canoas e São João-Navegantes são semelhantes em todos os índices analisados. Enquanto a ETE Canoas apresenta um IH de 0,049 kg/hab.dia e IQ de 0,496 kg/m³, a ETE São João-Navegantes tem IH de 0,035 kg/hab.dia e IQ de 0,270 kg/m³. Essa discrepância deve-se ao fato da ETE Canoas estar operando com uma vazão muito abaixo da vazão de projeto e atender uma população quase 60% a menos que a ETE São João-Navegantes, enquanto a massa de lodos gerados entre ambas tem pouca diferença.

Os outros índices de remoção por parâmetro, indicam a mesma tendência, a ETE Santa Maria obtendo um índice superior ao da ETE Canoas. A estação São João-Navegantes possui a melhor otimização dos resultados do IR.

Tabela 10: índices de lodos por população atendida, vazão atual e de remoção de DBO₅, DQO, N, P e CF

ETE	Índice de Massa de Sólidos por Habitante	Índice de Massa de Sólidos por Vazão	Índice de Massa de Sólidos por Remoção de DBO ₅	Índice de Massa de Sólidos por Remoção de DQO	Índice de Massa de Sólidos por Remoção de N	Índice de Massa de Sólidos por Remoção de P
	kg/hab.dia	kg/m ³	kg/g	kg/g	kg/g	kg/g
Santa Maria	0,089	0,623	0,665	0,692	0,654	3,10
Canoas	0,049	0,496	0,540	0,557	0,526	0,772
São João-Navegantes	0,035	0,270	0,329	0,398	0,288	0,692



Figura 4: índice de massa de sólidos por habitante

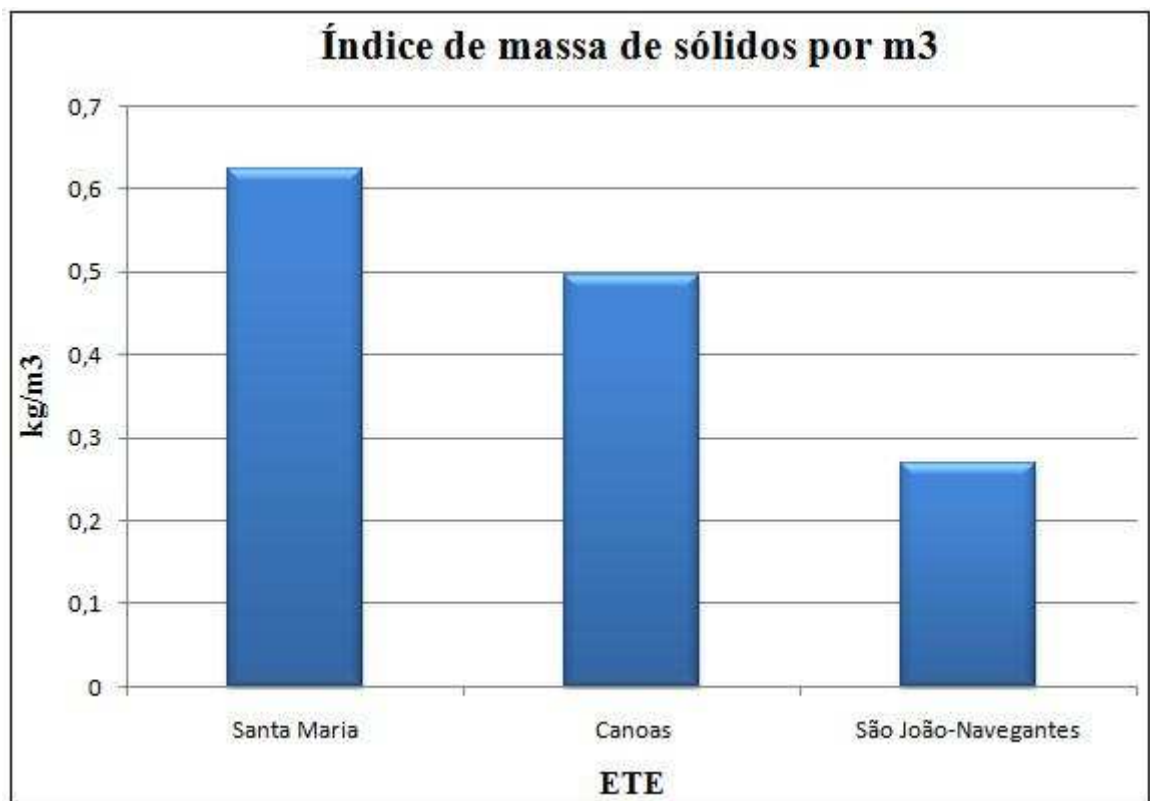


Figura 5: índice de massa de sólidos por vazão

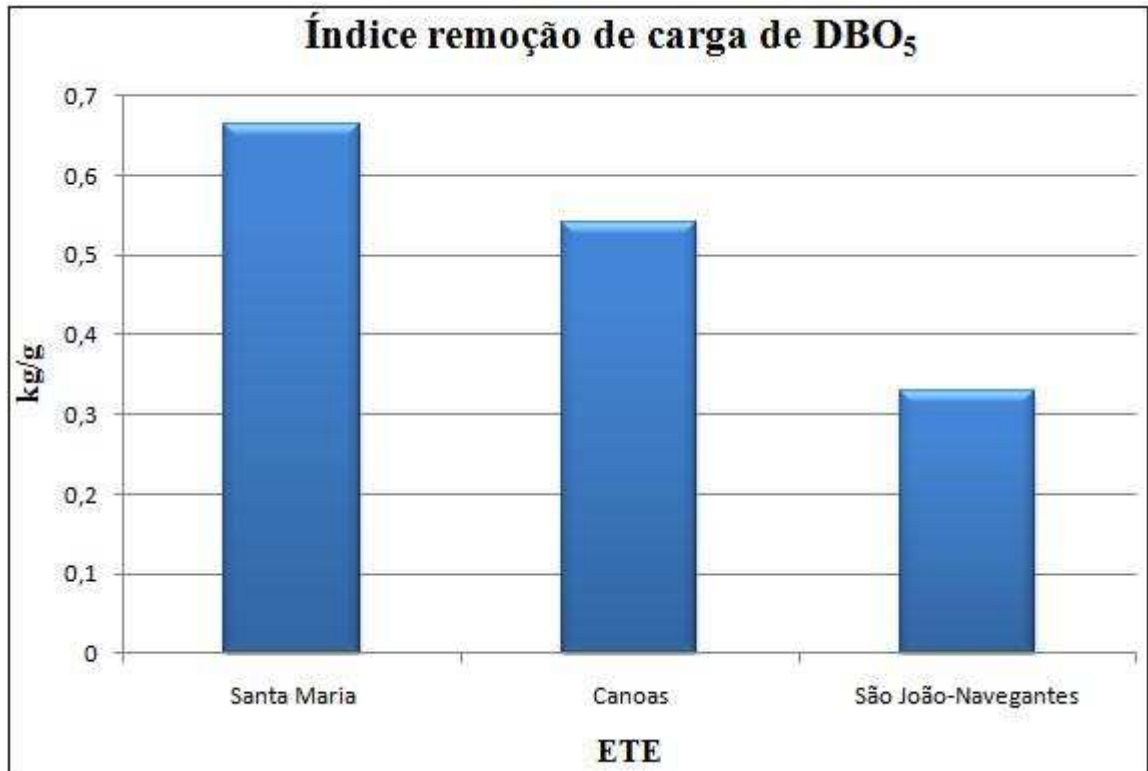
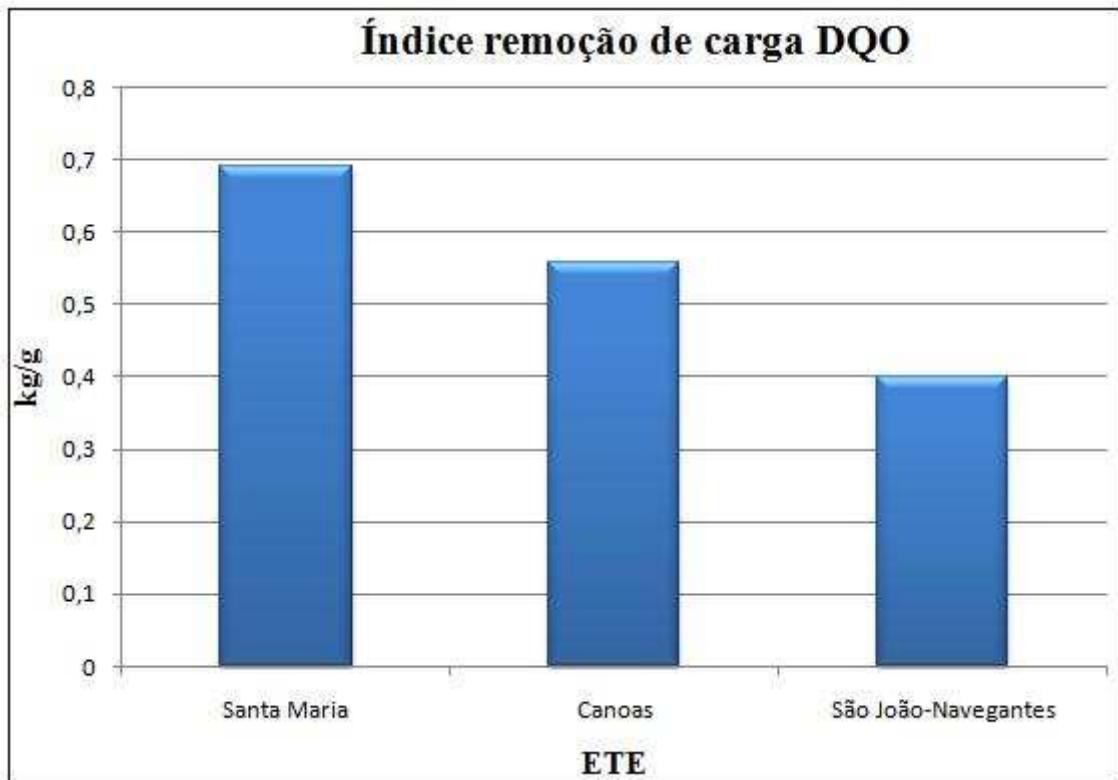
Figura 6: índice de massa de sólidos por remoção de DBO₅

Figura 7: índice de massa de sólidos por remoção de DQO

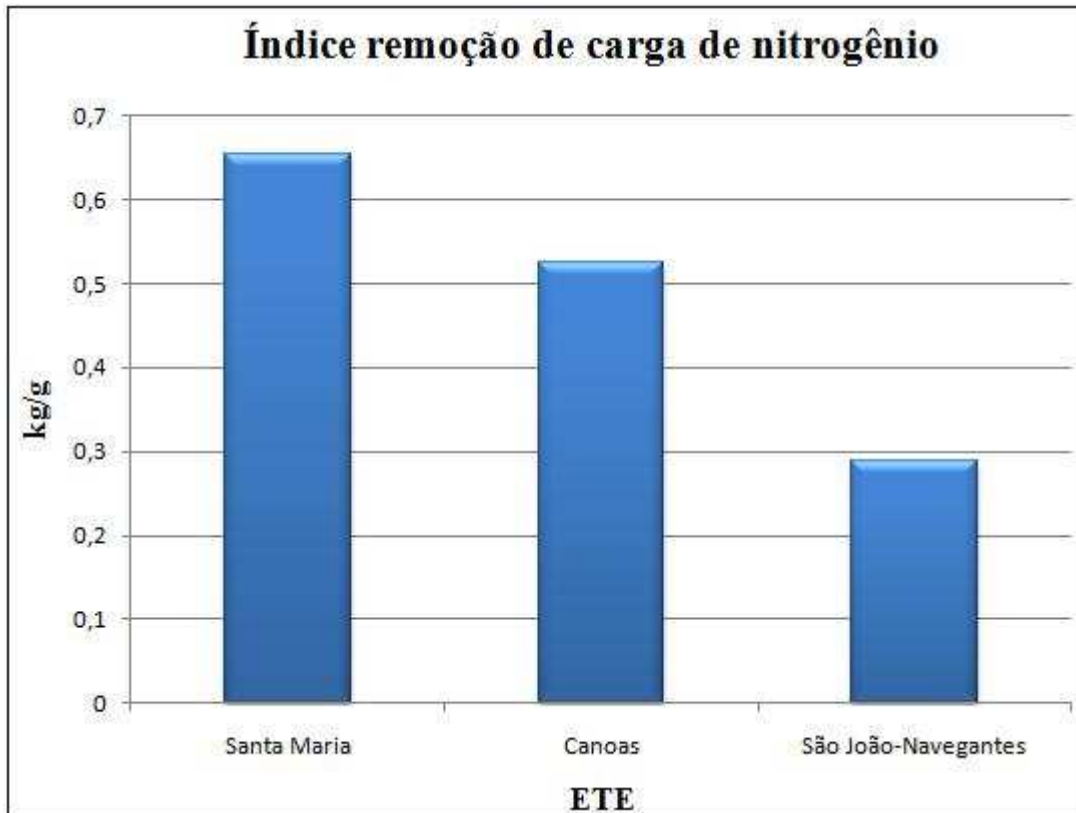


Figura 8: índice de massa de sólidos por remoção de nitrogênio

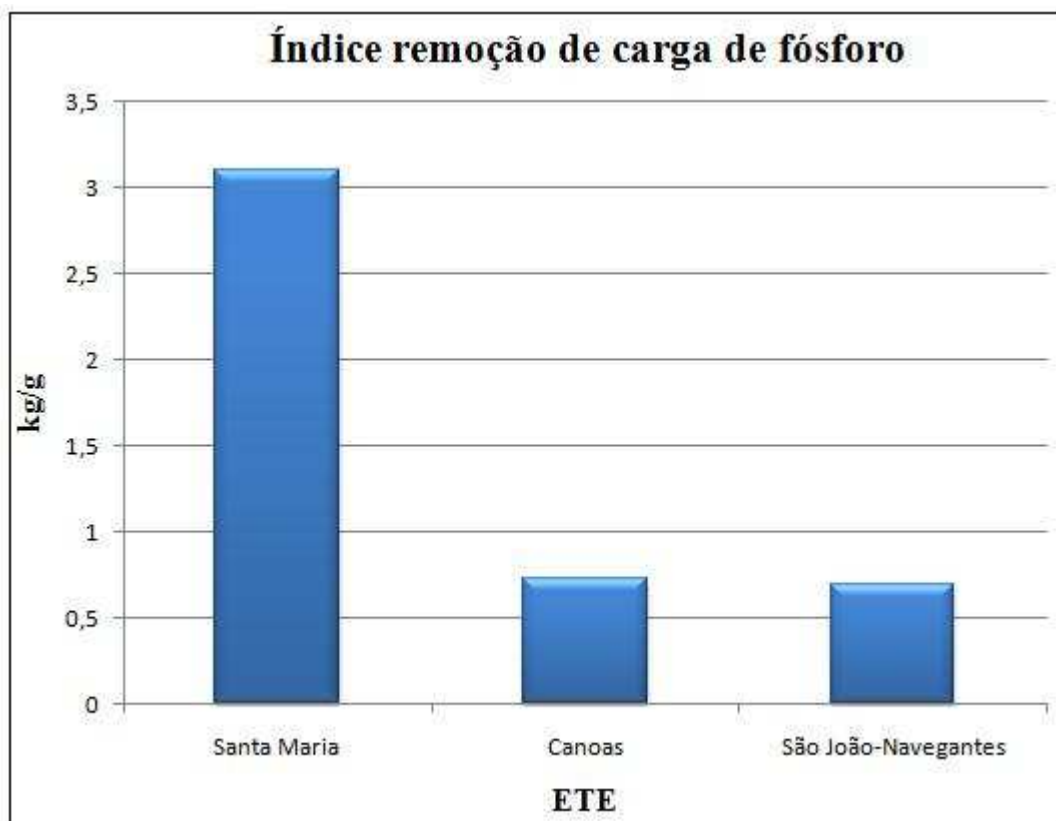


Figura 9: índice de massa de sólidos por remoção de fósforo

9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A sustentabilidade das estações de tratamento de esgoto está ligada diretamente ao gerenciamento correto dos biossólidos durante todo seu ciclo, podendo obter ganhos econômicos e ambientais. Os índices de lodos propostos no presente trabalho permitem uma análise nos dados e o quão eficiente a ETE está operando.

Os indicadores obtidos na tabela 10 avaliam numericamente as estações das ETE Santa Maria, Canoas e São João-Navegantes. Nos gráficos expressos nas figuras 4 a 10 fica clara a maior propensão da ETE Santa Maria a obter índices maiores devido a sua grande quantidade de massa de sólidos produzida.

Quanto aos valores obtidos no transporte (tabela 9) como total de CO₂ equivalente e custo do transporte, ficou evidente que um maior teor de umidade acarreta em um aumento do transporte a ser utilizado.

É recomendado que a ETE Santa Maria melhore a eficiência dos leitos de secagem ou utilize outro sistema de desaguamento para diminuir o teor de umidade. Assim, um grande volume de lodo deixaria de ser disposto, além de causar uma diminuição do transporte a ser utilizado. A CORSAN já tem em projeto a implantação de uma centrífuga, o que vai diminuir consideravelmente o teor de umidade.

Simulando uma diminuição da massa de sólidos para 7 ton/dia, resultaria em índice por habitante de 0,045, por vazão de 0,312, por remoção de DBO₅ 0,325, DQO 0,346 e nitrogênio 0,327. Comparando com os índices da ETE São João-Navegantes (tabela 10), os valores de ambos ficariam bem próximos.

As ETE Canoas e São João-Navegantes tiveram uma variação muito similar entre os índices. A ETE Canoas poderia obter melhores resultados se operasse a plena vazão de projeto, pois assim atenderia uma maior população. Um dos problemas enfrentados na ETE Canoas é que a estação de lodos ativados com aeração prolongada está operando por batelada, ocasionando em uma diminuição da vazão, diferente da ETE Santa Maria que opera com vazão máxima. A ETE São João-Navegantes apresentou os melhores resultados nos índices propostos, pois apesar de possuir uma alta vazão atual de 300 L/s e atender cerca de 200 mil habitantes, produz apenas 7 toneladas de massa de sólidos por dia.

Os índices de remoção por parâmetro (figuras 6 a 10) referentes a DBO₅, DQO, nitrogênio e fósforo, é possível analisar que a ETE São João-Navegantes apesar de possuir uma eficiência inferior as outras estações, possui os menores índices. Já a ETE Canoas possui um problema muito comum de o afluentes chegar muito diluído com águas pluviais, diminuindo a taxa de aplicação e facilitando a remoção, porém o custo de operação aumenta.

A disposição final adotada pelas ETE Santa Maria e Canoas é a agricultura, considerada a melhor alternativa a ser adotada devido aos grandes benefícios ambientais e econômicos. Apesar de a ETE Santa Maria possuir um alto volume de lodos, é a estação que melhor opera o ciclo final, fazendo análises constantemente dos lodos para se adequar a CONAMA n. 375 de 2006. Deve-se ao fato pela grande quantidade de lodos necessitarem de uma destinação final adequada.

A ETE Canoas utiliza um convênio com a prefeitura municipal para mandar seu biossólido para o horto florestal do município, mas ainda não tem análises realizadas. Esta análise é importante, pois a estação recebe o chorume do aterro sanitário da cidade, o que aumenta a concentração de metais pesados. Este problema segundo a CORSAN em breve será solucionado, pois as análises já foram solicitadas.

Quanto a ETE São João-Navegantes, a disposição final adotada é a compostagem, sistema com muitas vantagens que posteriormente pode ser utilizado na agricultura, caso seja realizado uma análise constante, que foi o caso da estação.

Um projeto bem executado deve ter um planejamento inicial adequado, por isso é altamente recomendado que a gestão de biossólidos esteja incluída no projeto inicial da estação, pois ações corretivas posteriores são tecnicamente mais complexas e economicamente mais caras. Como por exemplo a destinação final ocorrer na própria ETE, o que diminuiria os custos com transporte e o CO₂ gerado. Ao longo da gestão da estação, deve haver uma análise do lodo gerado e tratado com os parâmetros operacionais da ETE.

É recomendado para futuros trabalhos uma maior busca de dados em outras ETE de variados tipos de sistema de operação e de vários locais do Brasil para a maior confiabilidade dos resultados e comparação entre a eficiência das companhias por estado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ANDREOLLI, C. V.; PEGORINI E. S. Gestão de biossólidos: situação e perspectivas. In: GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: PROSAB, 1998.

ARAÚJO, F. S. D.; LEITE, J. Y. P.; ARAÚJO, A. L. C.; INGUNZA M. P. D. Caracterização de matérias-primas para o reuso de lodo de ete em produtos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** . Natal: ABES, 2005.

BRASIL. Decreto Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L6938.htm>>. Acesso em: 3 jun. 2009.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para uso agrícola de lodos de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providência. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso em: 9 jun. 2009.

_____. Ministério das Cidades, 2007. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnósticos dos serviços de água e esgoto. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 31 ago. 2009.

CARDOSO, C. S. G. **Proposta para o desenvolvimento de um indicador de ecoeficiência em ETEs**. 2007. 46 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Ecoeficiência. Disponível em: <<http://www.cebds.org.br/cebds/eco-rbe-ecoeficiencia.asp>>. Acesso em: 9 jun. 2009.

DUARTE, A. C. L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços**: uma alternativa para a disposição final do resíduo. 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

FERNANDES, F.; SILVA S. C. P. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Produção e características dos biossólidos. In: USO E MANEJO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA, 1., 1999, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SANEPAR, 1999.

ILHENFELD, R. G. K. L.; ANDREOLI, C. V. Uso de lodo em áreas de produção. In: USO E MANEJO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA, 1., 1999, Curitiba: **Anais...** Curitiba: SANEPAR, 1999.

LARA, A. I. Monitoramento. In: USO E MANEJO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA, 1., 1999, Curitiba: **Anais...** Curitiba: SANEPAR, 1999.

LUCCHESI, L. A. C. Características dos biossólidos e efeitos de sua reciclagem em ambientes edáficos com ênfase na dinâmica de elementos traço. In: GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: PROSAB, 1998.

LUDUVICE, M. Gestão de biossólidos e o Mercosul. In: GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: PROSAB, 1998.

MIKI, M. K.; JÚNIOR, J. C.; OLIVEIRA, F. C.; CHIARADIA, J. J. Compostagem através de leiras revolvidas da ETE limoeiro/presidente prudente como alternativa de tratamento do lodo. **Saneas**, São Paulo, n. 32, p.28-44, mar. 2009. Trimestral.

MORAES, L. D. M. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbio de lodos de esgoto provenientes de reatores anaeróbios sequenciais**. 2005. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PESSOA, C. A.; JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos domésticos: concepções clássicas de tratamento de esgotos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1982.

SANTOS, A. D. D. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo**. 2003. 265 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, J. R. P. **Eficiência Energética em Estações de Tratamento de Esgoto**. 2008. 57 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VERAS, L.R. V., POVINELLI, J. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 218-224, set. 2004.

VON SPERLING, M. Critérios e dados para uma seleção preliminar de sistemas de tratamento de esgotos. **Ação Ambiental (UFV)**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 7-21, 1994.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Disponível em: <<http://www.geocities.com/Heartland/Valley/5990/ecoeficiencia.html>>. Acesso em: 19 mar. 2009.

WORLD WILDLIFE FUND FOR NATURE. **O que é desenvolvimento sustentável?** Disponível em: <http://www.wwf.org.br/informacoes/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel> Acesso em: 20 out. 2009.

ANEXO A – Dados das concentrações das ETE

Período	DBO ₅ (mgO ₂ /L)		DQO (mgO ₂ /L)		N (mgN/L)		P (mgP/L)		Coliformes Fecais (NMP/100mL)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Janeiro-08	361	1,9	427	14	19,6	0,6	2,9	2,3	8.000.000	11.000
Fevereiro-08	179	5	408	11,5	45	0,28	4,4	2,6	30.000.000	90
Março-08	127	5	320	24	40	0	4	3,2	30.000.000	23.000
Abril-08	151	6,1	359	29	19	0,01	4,5	3,6	8.000.000	3.000
Mai-08	191	2,3	569	25	31	0	5,1	2,4	1.100.000.000	23.000.000
Junho-08	142	1,3	375	25	27	0	2,9	3,8	170.000	220
Julho-08	67	3	184	10	12	0,21	3	3,2	1.700.000	50.000
Agosto-08	96	1,1	192	23	40	0,07	-	-	3.000.000	170
Setembro-08	201	1,2	458	10,5	50	0	5,1	2,7	23.000.000	1.400
Outubro-08	159	3,1	307	15	15	0	3,4	2,3	1.100.000.000	170
Novembro-08	213	1,7	514	11	58	3,8	2,3	1,9	30.000.000	130.000
Dezembro-08	98	5,7	267	19	44	3,4	2,3	1,5	30.000.000	500.000
Janeiro-09	117	2,5	144	19	39	0	1,1	3,7	22.000.000	23.000
Fevereiro-09	148	14	333	126	10	0	3,8	3,1	1.300.000	50.000
Março-09	112	1,6	229	25	52	0,21	4,2	3	5.000.000	6.000
Abril-09	272	23	975	50	36	0,1	3,8	3,1	11.000.000	8.000
Mai-09	152	15	379	71	45	0,28	6,9	5,2	300.000	5.000
Junho-09	-	86	-	146	-	23	-	0,4	-	1.700.000
Julho-09	39	5	99	18	23	0,1	2,5	3,4	-	90
Agosto-09	63	5,1	173	15	38	1	3	3	16.000.000	800
Setembro-09	43	1	55	10	8	0	2,1	2,3	9.000.000	24.000

Quadro A.1: dados das concentrações mensais de remoção de poluentes da ETE Santa Maria

Período	DBO ₅ (mgO ₂ /L)		DQO (mgO ₂ /L)		N (mgN/L)		P (mgP/L)		Coliformes Fecais (NMP/100mL)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Janeiro-08	26	5	88	52	30	0	2,9	1,6	3.448.000	141.360
Fevereiro-08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Março-08	44	6	117	52	20	0,7	3,1	1,8	2.382.000	9.590
Abril-08	38	6	-	42	8,9	0,7	1,6	1,3	1.354.000	7.490
Mai-08	66	12	1226	186	564	3,5	8,9	1,4	5.475.000	61.310
Junho-08	3	5	321	37	365	0,1	6,6	1,2	1.081.000	6.570
Julho-08	216	18	863	35	228	0,2	6,9	1,2	1.374.000	11.980
Agosto-08	50	6	213	40	32	7,5	2,6	0,6	98.040.000	9.208.000
Setembro-08	36	8	96	30	23	0,11	1,7	0,83	464.000	16.100
Outubro-08	94	4	324	40	35	4,03	3,2	1	2.909.000	517.200
Novembro-08	-	10	444	55	25	2,7	2,4	0,98	2.359.000	16.000
Dezembro-08	33	2,3	1380	23	70	8,2	4,9	1,3	11.199.000	81.640
Janeiro-09	46	-	66	59	18	11	2,4	1,6	4.106.000	22.820
Fevereiro-09	54	10	212	8,4	59	0,35	3,9	1,2	-	-
Março-09	291	7	1750	44	658	2,2	8,3	1,5	4.352.000	410.600
Abril-09	85	9	127	40	28	0,11	3,8	1,3	6.131.000	34.100
Mai-09	354	10	684	68	37	3,1	3,3	1,5	3.076.000	141.330
Junho-09	100	1	226	67	46	25	3,8	1,3	4.106.000	365.400
Julho-09	50	0,5	181	55	46	18	3,4	1,2	1.989.000	461.100
Agosto-09	24	15	56	43	7,8	33	1,2	1,5	295.000.000	42.600
Setembro-09	82	5	407	40	18	11	3,9	0,58	1.553.100	198.630

Quadro A.2: dados das concentrações mensais de remoção de poluentes da ETE Canoas

Período	DBO ₅ (mgO ₂ /L)		DQO (mgO ₂ /L)		N (mgN/L)		P (mgP/L)		Coliformes Fecais (NMP/100mL)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Janeiro-09	227	35,6	355	153	29,57	0,37	6,60	2,55	20.000.000	240.000
Fevereiro-09	325	52	639	-	48,72	0,17	12,00	1,49	39.000.000	140.000
Março-09	167	43,2	351,5	64	43,68	1,09	4,77	3,18	42.000.000	610.000
Abril-09	217	21,9	647,4	91,5	42,30	1,23	7,72	3,88	44.000.000	44.000
Mai-09	221	17,3	227,9	39,4	34,61	3,47	5,45	4,80	13.000.000	110.000
Junho-09	355	108	-	457,6	51,07	2,51	8,14	13,03	20.000.000	520.000
Julho-09	182	45	419,2	96,4	35,28	9,07	5,35	3,46	16.000.000	150.000
Agosto-09	158	10	284	41	11,42	1,09	3,95	0,58	17.000.000	120.000

Quadro A.3: dados das concentrações mensais de remoção de poluentes da ETE São João-Navegantes

ANEXO B – Laudo das análises do lodo da ETE Santa Maria

Parâmetro	Resultado / Unidade	Limite de detecção
1,2 Diclorobenzeno	não detectado	0,01 mg/kg
1,2,3 Triclorobenzeno	não detectado	0,001 mg/kg
1,2,3,4 Triclorobenzeno	não detectado	0,001 mg/kg
1,2,3,5 Triclorobenzeno	não detectado	0,001 mg/kg
1,2,4 Triclorobenzeno	não detectado	0,001 mg/kg
1,3 Diclorobenzeno	não detectado	0,001 mg/kg
1,3,5 Triclorobenzeno	não detectado	0,001 mg/kg
1,4 Diclorobenzeno	não detectado	0,001 mg/kg
2,4 Diclorofenol	não detectado	0,001 mg/kg
2,4,6 Diclorofenol	não detectado	0,001 mg/kg
Aldrin	não detectado	0,002 mg/kg
Arsênio	não detectado	0,0002 mg/kg
Benzo (a) antraceno	não detectado	0,001 mg/kg
Benzo (a) pireno	não detectado	0,001 mg/kg
Benzo (k) fluoranteno	não detectado	0,001 mg/kg
Bário	não detectado	0,01 mg/kg
Carbono orgânico	8,04%	0,01 %
Chumbo	0,000766%	0,037 mg/kg
Clordano	não detectado	0,001 mg/kg
Cobre	0,001652%	0,023 mg/kg
Cresóis	não detectado	0,001 mg/kg
Cromo total	não detectado	0,023 mg/kg
Cádmio	não detectado	0,002 mg/kg
Cálcio	0,18564%	0,01 %
DDT	não detectado	0,002 mg/kg
Di (2-etilhexil) ftalato (DEHP)		0,001 mg/kg
Di-n-butil ftalato	não detectado	0,001 mg/kg

Dieldrin	não detectado	0,002 mg/kg
Dimetil Ftalato	não detectado	0,001 mg/kg
Endrin	não detectado	0,001 mg/kg
Enxofre	não detectado	0,1 mg/kg
Fenantreno	não detectado	0,001 mg/kg
Fósforo total - P	0,0373%	0,01 mg/kg
Heptano		0,01 %
Hexaclorobenzeno	não detectado	0,001 mg/kg
Indeno (1,2,3-c,d) pireno	não detectado	0,001 mg/kg
Magnésio	0,002632	0,027 mg/kg
Merúrio	não detectado	0,0004 mg/kg
Mirex	não detectado	0,001 mg/kg
Molibdênio	não detectado	0,094 mg/kg
Naftaleno	não detectado	0,001 mg/kg
Nitrato	não detectado	0,01 mg/kg
Nitrito	não detectado	0,01 mg/kg
Nitrogênio amoniacal	0,12879%	0,01 mg/kg
Nitrogênio total	0,54192%	0,8 mg/kg
Níquel	0,00005%	0,018 mg/kg
Potássio	0,017045%	0,016 mg/kg
Selênio	não detectado	0,01 %
Sódio	0,02767%	0,208 mg/kg
Sólidos totais	32,7%	0,0001 %
Sólidos voláteis	6,03%	0,01 %
Toxafeno	não detectado	0,01 mg/kg
Umidade	67,3%	0,01%
Zinco	0,008454%	0,013 mg/kg
pH da suspensão a 5%	7,3	0,01

Quadro B.1: laudo de análise físico-química do lodo da ETE Santa Maria em 2007

Parâmetro	Resultado / Unidade	Limite de detecção
Coliformes termotolerantes (45°C)	40,0 NMP/ST	-
Ovos Viáveis de helmintos	não detectado	-

Quadro B.2: laudo de microbiológica do lodo da ETE Santa Maria em 2007

Resultados	Amostra
pH	5,4
Umidade (%)	28,2
Sólidos voláteis (%)	70,5
Sólidos totais (%)	71,8
Enxofre (%)	1,0
Fósforo (%)	2,3
Cálcio (%)	2,2
Magnésio (mg/g)	6,6
Sódio (µg/g)	870
Potássio (µg/g)	895
Arsênio (µg/g)	3,9
Bário (µg/g)	790
Cádmio (µg/g)	4,5
Chumbo (µg/g)	63,1
Cobre (µg/g)	171
Cromo (µg/g)	64,8
Mercúrio (µg/g)	3,1
Molibdênio (µg/g)	4,0
Níquel (µg/g)	25,2
Selênio (µg/g)	< 0,1
Zinco (µg/g)	809

Quadro B.3: laudo analítico da amostra de lodo da ETE Santa Maria em 2006

Parâmetros	Unidades	Resultados da amostra
pH (mistura 1:1 em água)	-	6,9
Umidade	%	26,8
Matéria orgânica	%	64,6
Cinzas	%	8,6
Óleos e graxas (base seca)	%	0,03
Sulfeto (base seca)	mg/kg	não detectado
Cianeto (base seca)	mg/kg	não detectado
Cádmio (base seca)	mg/kg	não detectado
Chumbo (base seca)	mg/kg	37,3
Cromo (base seca)	mg/kg	15,2
Níquel (base seca)	mg/kg	9,7
Coliformes fecais	(UFC/g)	280

Quadro B.4: laudo técnico de composição química do resíduo em 2008

Parâmetro	Unidades	Resultados da amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Arsênio	(mg/L)	não detectado	1,0
Bário	(mg/L)	não detectado	70,0
Cádmio	(mg/L)	não detectado	0,5
Chumbo	(mg/L)	não detectado	1,0
Cromo total	(mg/L)	não detectado	5,0
Mercúrio	(mg/L)	não detectado	0,1
Fluoreto	(mg/L)	não detectado	150,0
Prata	(mg/L)	não detectado	5,0
Selênio	(mg/L)	não detectado	1,0

Quadro B.5: resultados do ensaio de lixiviação em 2008

Parâmetro	Unidades	Resultados da amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Fenóis totais	(mg/L)	não detectado	0,001
Mercúrio	(mg/L)	não detectado	0,001
Arsênio	(mg/L)	não detectado	0,01
Bário	(mg/L)	não detectado	0,7
Cádmio	(mg/L)	não detectado	0,005
Chumbo	(mg/L)	não detectado	0,1
Cromo total	(mg/L)	não detectado	0,05
Alumínio	(mg/L)	não detectado	0,2
Ferro	(mg/L)	1,4	0,3
Manganês	(mg/L)	0,1	0,1
Sódio	(mg/L)	6,8	200,0
Zinco	(mg/L)	0,05	5,0
Cobre	(mg/L)	não detectado	2,0
Prata	(mg/L)	não detectado	0,05
Selênio	(mg/L)	não detectado	0,01
Cianeto	(mg/L)	não detectado	0,07
Fluoreto	(mg/L)	não detectado	1,5
Nitrato	(mg/L)	0,8	10,0
Cloreto	(mg/L)	11,9	250,0
Sulfato	(mg/L)	14,4	250,0
Surfactantes	(mg/L)	não detectado	0,5

Quadro B.6: resultados do ensaio de solubilização em 2008

Parâmetro	Unidades	Coleta	Limites CONAMA 375/2006
Umidade	%	85	-
Densidade	g/ml	1,40	-
RT105°C	mg/kg	159.000	-
RF550°C	mg/kg	75.000	-
RV550°C	mg/kg	84.000	-
pH (20g/100mL)	-	8,6	-
Condutividade (50g/100ml)	mmho/cm	0,98	-
Carbono orgânico	% C	27,4	-
Matéria orgânica	% MO	8,4	-
Nitrogênio amoniacal	mg N/kg	440	-
Nitrogênio orgânico	mg N/kg	5730	-
Nitrito	mg NO ₂ /kg	1,32	-
Nitrato	mg NO ₃ /kg	29	-
Nitrogênio total	% N	0,62	-
Fósforo total	% P	0,19	-
Cálcio	% Ca	0,16	-
Ferro	% Fe	0,37	-
Magnésio	% Mg	0,034	-
Potássio	% K	0,011	-
Arsênio	mg As/kg	0,80	41
Alumínio	mg Al/kg	14.900	-
Bário	mg Ba/kg	730,0	1300
Boro	mg Be/kg	ND	-
Cádmio	mg Cd/kg	2,0	39
Chumbo	mg Pb/kg	130,0	300
Cobalto	mg Co/kg	14,0	-

Cobre	mg Cu/kg	419,0	1500
Cromo	mg Cr/kg	174,0	1000
Manganês	mg Mn/kg	5.966,0	-
Mercúrio	mg Hg/kg	-	17
Molibdênio	mg Mo/kg	ND	50
Níquel	mg Ni/kg	68,0	420
Sódio	mg Na/kg	496,0	-
Selênio	mg Se/kg	0,60	100
Zinco	mg Zn/kg	2.442,0	2800
Coliforme total	NMP/g de MS	$3,5 \times 10^4$	< 10^3 NMP / g de ST - lodo A < 10^6 NMP / g de ST - lodo B
Escherichia coli	NMP/g de MS	$6,2 \times 10^3$	
Ovos viáveis de helmintos	Nº em 4g ST	484	< 0,25 ovo / g de ST - lodo A < 10 ovos / g de ST - lodo B
Salmonella SP	-	+	Ausência em 10 g de ST - lodo A
Relação CTC/C	Min	Não realizável	
CTC	cmol/kg	Não realizável	
Colifagos	UPF/g de MS	$1,7 \times 10^3$	

Quadro B.3: análise dos lodos da ETE São João-Navegantes em 2007