

JOELANDE ESQUIVEL CORREIA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO
GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO CONTORNO.
FEIRA DE SANTANA, BA.**

Dissertação submetida à banca de defesa da Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana, BA, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadoras: Profa. Dra. Sandra Maria Furiam Dias
Profa. Dra. Tereza Simonne Mascarenhas Santos

FEIRA DE SANTANA, BA-BRASIL

MAIO DE 2009

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

Correia, Joelande Esquivel
C848c Caracterização físico-química e microbiológica do lodo gerado na
estação de tratamento de esgoto contorno - Feira de Santana, BA / Joelande
Esquivel Correia. – Feira de Santana, 2009.
94 f. : il.

Orientadoras: Sandra Furiam Dias
Tereza Simonne M. Santos

Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental)–
Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de
Feira de Santana, 2009.

1. Lodo de esgoto. 2. Resolução CONAMA 375/06. 3. Lodo –
Classificação. 4. Lodo de esgoto – Uso agrícola. I. Dias, Sandra Furiam. II.
Santos, Tereza Simonne M. III. Universidade Estadual de Feira de Santana.
IV. Título.

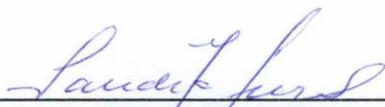
CDU: 628.336

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO
GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO CONTORNO. FEIRA
DE SANTANA, BA.

Joelande Esquivel Correia

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA DE DEFESA DA PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA
DE SANTANA, BA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL.

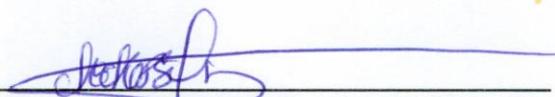
APROVADO POR:



Profa. Sandra Maria Furiam Dias, Dra.
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Profa. Tereza Simonne M. Santos, Dra.
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Profa. Monica Maria Pereira da Silva, Dra.
(Universidade Estadual da Paraíba)



Prof. Roque Angélico Araujo, Dr.
(Universidade Estadual de Feira de Santana)

FEIRA DE SANTANA, BA-BRASIL

MAIO DE 2009

Aos meus amores
Marcelo e João Marcelo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que incentivaram e apoiaram o desenvolvimento desta pesquisa, em especial:

As professoras Dra. Sandra Maria Furiam Dias e Dra. Tereza Simone M. Santos, pela orientação e preocupação na realização de um bom trabalho.

Ao professor João Francisco dos Santos pelo carinho, apoio e orientação.

As minhas amigas e colegas de trabalho pela compreensão.

A Professora Dra. Elisa Teshima, pela co-orientação na identificação dos microrganismos, pela liberação dos laboratórios de Biotecnologia de Alimentos para realização desta pesquisa. E acima de tudo, por sua amizade e dedicação.

Ao amigo Luciano Vaz, pelo incentivo, pela disposição e colaboração de sempre.

A amizade e o companheirismo de Adriano Cosme, Ana Claudia e Paulo Rogério durante toda a pesquisa.

Aos funcionários dos Laboratórios de Saneamento, D. Maria, Dione e Luiz. E, de Microbiologia de Alimentos, Patrícia, Vanessa e Tarcísio. E a dedicação de Letícia.

A disponibilidade, a dedicação e alegria de Bárbara e Tânia (CEPED), na execução das análises dos metais.

Aos funcionários do PPGCEA, Mari, Ugo e Kátia, sempre dedicados e carinhosos.

A Embasa e aos seus colaboradores pela oportunidade de realização desta pesquisa.

E a todos os companheiros de jornada, que de uma forma, ou de outra, me apoiaram dando força, carinho e amizade: Alany, Valda, Elzita, Ney, Lincoln e Karine.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGECEA/UEFS como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO
GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) CONTORNO.
FEIRA DE SANTANA, BA.

Joelande Esquivel Correia

Maio/2009

Orientador 1: Prof^a Dr^a.Sandra Maria Furiam Dias

Orientador 2: Prof^a Dr^a.Tereza Simone M. Santos

Programa: Engenharia Civil e Ambiental

O lodo de esgoto é usado como fertilizante por causa do seu alto conteúdo de matéria orgânica e nutrientes como N e P. Todavia, dependendo da origem e do tratamento dado ao esgoto este pode conter microrganismos e metais pesados, representando um risco para saúde humana e ambiental. Com objetivo de caracterizar os parâmetros físico-químicos e os indicadores microbiológicos do lodo gerado na ETE Contorno no município de Feira de Santana, Bahia, segundo a Resolução CONAMA 375/06, e de classificá-lo, ou não, em bio sólido classe A ou B, esta pesquisa foi realizada. A ETE Contorno opera com sistema de lodo ativado com aeração prolongada, no tratamento de esgotos domésticos. O lodo após decantado, segue do sistema, para desidratação em leito de secagem. O tempo de retenção, do lodo pesquisado, no leito, foi de três meses (setembro a novembro de 2008). O lodo foi coletado diretamente do leito, semanalmente. Seis amostras compostas de lodo foram usadas para análise físico-química. Estas foram coletadas nos tempos 0, 7, 14, 21, 49 e 77 dias de retenção. E 12 amostras compostas, nos tempos 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 e 77 para as análises microbiológicas e parasitológicas. Os resultados mostraram um lodo rico em matéria orgânica; com potencial agrônômico, podendo ser usado como fonte de nutrientes como N e P. É um lodo que apresenta concentração de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni e Zn) abaixo dos níveis permitidos pela Resolução CONAMA, 375/06. O lodo da ETE Contorno é classificado, de acordo com a Resolução CONAMA, 375/06 em bio sólido classe B. É um lodo que, após desidratação em leito de secagem, por 3 meses, possui um NMP de Coliformes Fecais igual a $2,32 \times 10^5$ /g de ST, e ausência de ovos viáveis de helmintos.

Palavras chave: lodo de esgoto; Resolução CONAMA 375/06; classificação; uso agrícola.

Summary of dissertation submitted to PPGECEA / UEFS as part of the requirements for obtaining the degree of Master of Science (M.Sc.)

PHYSICAL-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION THE
SLUDGE GENERATED IN CONTORNO SEWAGE TREATMENT PLANT. FEIRA
DE SANTANA, BA.

Joelande Esquivel Correia

May/2009

Advisor 1: Prof^a Dr^a. Sandra Maria Furiam Dias
Advisor 2: Prof^a Dr^a. Tereza Simone M. Santos
Department: Civil and Environmental Engineering

Sewage sludge is used as fertilizer, because of their high organic material, N and P content. However there are problems associated with application of sludge in agriculture including, potential pathogens and heavy metals, depending on the origin and treatment of sewage. This represents risk to human health and environment. In order to, characterize the physico-chemical and microbiological indicators of sewage sludge generated in the Contorno Sewage Treatment Plant, Feira de Santana, Bahia, according to CONAMA Resolution, 375/06, and classify it or not, in Class A or B, this research was performed. The Contorno plants operate with activated sludge in the treatment of domestic sewage. The sludge follows to dehydration in a drying bed for three months (September to November, 2008). The sludge was collected weekly. Six composite samples of sludge were used for physical-chemical analysis. These were collected at 0, 7, 14, 21, 49 and 77 days of retention. And, 12 composite samples, at 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 and 77 days were collected for the parasitological and microbiological analysis. The results showed sludge rich in organic matter and agronomic potential. It can be used as a source of nutrients, such as N and P. It showed heavy metals concentration (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni and Zn) below the levels allowed. Sewage sludge from ETE Contorno is classified in Class B biosolids in accordance with CONAMA Resolution, 375/06. It sludge that, after dehydration in a drying bed for 3 months has a Fecal Coliform MPN $2,32 \times 10^5$ /g of ST, and absence of viable eggs of helminthes.

Key words: sewage sludge, CONAMA Resolution 375/06; classification; agricultural use.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS	4
2.1 HIPÓTESES	4
2.2 OBJETIVOS.....	4
2.2.1 Objetivo Geral	4
2.2.2 Objetivos Específicos	4
3.1 A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO E A GERAÇÃO DO LODO	6
3.1.1 Processo de Geração do lodo de esgoto	6
3.1.2 Considerações sobre o sistema lodo ativado	9
3.2 LODO DE ESGOTO	11
3.2.1 Antecedentes históricos	11
3.2.2 Características do lodo de esgoto	14
3.2.2.1 Os nutrientes no lodo de esgoto.....	17
3.2.2.2 Os metais pesados no lodo de esgoto	21
3.2.2.3 Microrganismos patogênicos no lodo de esgoto	24
3.3 TRATAMENTO E DESTINO FINAL DO LODO DE ESGOTO	29
3.3.1 O condicionamento	30
3.3.2 O adensamento	30
3.3.3 A desidratação	31
3.3.4 A estabilização e a higienização	33
3.3.5 A disposição final do lodo	35
3.3.5.1 O uso agrícola do lodo de esgoto.....	37
3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO E A GERAÇÃO DE LODO EM FEIRA DE SANTANA-BA	39
3.4.1 A ETE Contorno	41
4 METODOLOGIA	45
4.2 CARACTERÍSTICAS DO LODO COLETADO NA ETE CONTORNO.....	46
4.3 COLETA DE DADOS	46
4.4 ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	49

4.5 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA E PARASITOLÓGICA.....	51
4.6 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS.....	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DA ETE CONTORNO.....	54
5.2 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO DA ETE CONTORNO	60
5.2.1 A análise de parâmetros microbiológicos.....	60
5.2.2 Análise de parâmetros parasitológicos	64
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
7 RECOMENDAÇÕES	71
REFERÊNCIAS	72
APENDICE A - Condições Analíticas da Espectrometria de Absorção Atômica ..	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Representação esquemática do Sistema Lodo Ativado com aeração prolongada e fluxo contínuo. Fonte: Von Sperling (2002).....	11
Figura 02: Concentração dos sólidos do esgoto bruto. Fonte: Von Sperling (2005). ...	16
Figura 03: Esquema da Estação de Tratamento de Esgoto Contorno. Fonte: Araújo e Gunther (2003).	41
Figura 04: ETE Contorno, Feira de Santana, Bahia. (a) Gradeamento (b) Caixa de areia (c) Lagoa de Aeração (d) Decantador de lodo (e) Lagoa de Sedimentação	43
Figura 05: Disposição do lodo realizado na Estação de Tratamento de Esgoto Contorno, Feira de Santana, Bahia. (a) Leito de Secagem (b) Lagoa de Secagem	44
Figura 06: Temperatura Máxima e Mínima e Pluviosidade. Feira de Santana, BA. (set-out/2008).....	45
Figura 07: Preparação do leito de secagem para coleta do lodo e esgoto. ETE Contorno, Feira de Santana, BA: a) leito limpo e seco; b) descarga do lodo no leito.....	47
Figura 08: Coleta do lodo no leito de secagem da ETE Contorno. Feira de Santana, BA.	47
Figura 09: Tratamento das amostras de lodo de esgoto para análises físicoquímicas. .	49
Figura 10: Distribuição temporal de ST, STV e Umidade no lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA (Set-Nov/ 2008).....	58
Figura 11: Sucessão temporal da concentração logarítmica de bactérias no lodo da ETE Contorno em função da temperatura e da umidade do lodo. Feira de Santana, BA (Set-Nov/2008).....	61
Figura 12: Sucessão temporal da concentração, em base seca (g/ST) de ovos de helmintos em relação da temperatura e umidade do lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA (Set-Nov/2008).....	65
Figura 13: Frequência de ovos viáveis de helmintos por espécie e família encontrados no lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Composição físico-química do lodo de esgotos de acordo com o tipo de tratamento do esgoto	15
Tabela 02: Comparação das concentrações de macronutrientes, e de carbono em lodo de esgotos em diferentes estudos no Brasil.....	21
Tabela 03: Principais grupos de microrganismos patogênicos encontrado no lodo de esgoto ..	25
Tabela 04: Concentração de Coliformes Termotolerantes, <i>Salmonellas spp.</i> e Ovos de Helmintos encontrados no lodo de esgoto por diversos estudos realizados no Brasil.	26
Tabela 05: Concentração limite de metais encontrados no lodo de esgotos segundo a Resolução CONAMA 375/06 e U.S.EPA – 503/94	38
Tabela 06: Valores médios de Densidade e Temperatura do lodo gerado na ETE Contorno, Feira de Santana, BA (Set-Nov/2008).....	46
Tabela 07: Concentração de COT e nutrientes no lodo da ETE Contorno (média ± desvio padrão), nos tempos 0, 7, 14, 21, 49 e 77 dias de retenção em leito de secagem.....	54
Tabela 08: Concentração de metais pesados no lodo da ETE Contorno (média ± desvio padrão), nos tempos 0, 7, 14, 21, 49 e 77 dias de retenção em leito de secagem.....	56
Tabela 09: Comparação da concentração (mg/kg de ST)de Metais Pesados da ETE Contorno com diferentes estudos no Brasil e demais países.....	57
Tabela 10: Parâmetros físico-químicos do lodo da ETE Contorno (média ± desvio padrão), nos tempos 0, 7, 14, 21, 49 e 77 dias de retenção em leito de secagem.	59
Tabela 11: Sucessão temporal da concentração de <i>Enterococcus spp.</i> , Coliformes fecais e <i>Salmonella spp.</i> no lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA, Set-Nov/2008.....	63
Tabela 12: Concentração em base seca de ovos de Helmintos no lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA, Set-Nov/2008.	66

1 INTRODUÇÃO

Dentre os resíduos gerados pelas atividades humanas, o esgoto sanitário tem sido alvo de grandes preocupações, pelo aumento da necessidade do seu tratamento em virtude da grande concentração de indivíduos nos centros urbanos. O tratamento do esgoto tem a finalidade de reduzir a sua carga orgânica para garantir seu retorno ao meio ambiente sem causar degradação ambiental e problemas sanitários à população.

Como subproduto do tratamento do esgoto, o lodo é considerado um dos maiores problemas de saneamento no Brasil, em virtude da dificuldade de disposição final adequada deste resíduo pelas Estações de Tratamento dos Esgotos - ETE (LIRA; GUEDES; SCHALCH, 2008).

É crescente a produção de lodo em consequência da ampliação da cobertura de coleta e do tratamento de esgotos, nos centros urbanos dada a pressão da comunidade por melhores condições ambientais e de vida. No Brasil, estima-se que sejam geradas cerca de 150-220 mil toneladas por ano de massa seca de lodo nas estações de tratamento (SILVA *et al.*, 2008). Apenas 5% destas são reutilizadas de forma adequada (CASSINI; VAZOLLER; PINTO, 2003).

São inúmeras as possibilidades de uso do lodo de esgoto, no entanto, o seu destino final é quem define o tipo de tratamento dado a este resíduo. Dentre as alternativas de reuso do lodo, a Agricultura é a que tem despertado maior interesse e, talvez seja, a que traga menos impactos negativos ao meio ambiente. Porém, é necessário conhecer as características deste lodo.

Muito são os impactos negativos surgidos, das negligências com o gerenciamento deste tipo de resíduo. Segundo Andreoli e Pegorini (2000), entre as consequências de práticas inadequadas de disposição do lodo gerado nas estações de tratamento de esgotos têm-se: a redução da eficiência técnica destas estações, pelo acúmulo do lodo em leitos de secagem ou em pilhas dispostas no solo, servindo como fonte de contaminação de rios, solos, homens e animais; a degradação dos recursos naturais, pelo aumento da produção de chorume e acúmulo de metais pesados quando este é disposto em aterros, contaminando corpos d'água; e as alterações sobre o perfil sanitário da população, servindo de propagação de vetores de doenças infecciosas e parasitárias.

Feira de Santana na Bahia dispõe de dez estações de tratamento de esgoto sanitário, no atendimento de 46,33% de sua população. Entretanto, a geração de lodo nestas estações é um problema visto que, após desidratação do lodo (redução do volume por perda d'água), a qual é realizada em leitos e lagoas de secagem, este lodo vem sendo acumulado em pilhas no pátio das estações ou permanecendo no leito por longos e desnecessários períodos, antes de serem co-dispostos (com resíduos sólidos urbanos), no aterro sanitário do município, significando desperdício de matéria e energia para o meio ambiente. Dados fornecidos pela Divisão de Esgotamento Sanitário da Unidade de Negócios de Feira de Santana da Empresa Baiana de Águas e Saneamento UNFE/EMBASA (2009).

Em Feira de Santana, BA, o acúmulo de lodo nas estações é de fato preocupante, pois, tem despertado o interesse de alguns pequenos agricultores que o utilizam como adubo agrícola, em virtude do alto poder nutricional do lodo. Todavia, este é um uso indiscriminado, visto que, se desconhecem as características físicas, químicas e microbiológicas deste lodo, as quais podem ser influenciadas pela presença de organismos patogênicos e metais pesados, originados das atividades humanas locais.

Neste caso, ações de estabilização e higienização do lodo gerado nas estações de Feira de Santana, BA, fazendo uso de tecnologias adequadas, poderão resultar na conservação da saúde pública e do meio ambiente, pelo simples fato de aumentar as possibilidades de seu destino final.

Neste contexto, a caracterização físico-química do lodo gerado na ETE Contorno de Feira de Santana é fundamental para sua classificação ou não, em biossólido Classe A ou B, para uso agrícola, obedecendo às diretrizes da Resolução do Conselho de Meio Ambiente (CONAMA), N° 375 de 2006 (BRASIL, 2006).

O lodo de esgoto vem sendo estudado amplamente como condicionante do solo, insumo agrícola e no reuso industrial. Mas, seja qual for a escolha do destino do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto, esta deve vir acompanhada da análise de suas características. Pois, a utilização deste resíduo sólido, como matéria-prima alternativa sejam adubos orgânicos, tijolos cerâmicos, concretos e outros representam uma solução ambiental e economicamente adequada para seu reaproveitamento e sua disposição final. Porém, deve ser feita de maneira racional, criteriosa e assim, contribuir para a sustentabilidade das estações de tratamento de esgotos de Feira de Santana.

Portanto, numa perspectiva de realização de um estudo que viabilize alternativas de tratamento e/ou disposição final adequadas sanitária e ambientalmente do lodo no referido município, além da ampliação das oportunidades de estudos dentro do programa de Pós – graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UEFS, esta pesquisa propôs responder o seguinte questionamento: **quais as características físico-químicas e microbiológicas do lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Contorno de Feira de Santana, BA, Brasil?** E, neste contexto, caracterizar os parâmetros físico-químicos e os indicadores microbiológicos do lodo gerado na ETE Contorno no município de Feira de Santana, Bahia, segundo a Resolução CONAMA, 375/06, com a finalidade de classificá-lo, ou não, em bio sólido classe A ou B.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESES

O lodo gerado na ETE Contorno é rico em nutrientes e após três meses de retenção no leito de secagem apresenta redução suficiente de patógenos para enquadramento na Classe B para fins agrícola como disposto na Resolução CONAMA, 375/2006 (BRASIL, 2006).

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar lodo gerado na ETE Contorno no município de Feira de Santana, Bahia, segundo a Resolução CONAMA, 375/06, com a finalidade de classificá-lo, ou não, em biossólido classe A ou B.

2.2.2 Objetivos Específicos

Avaliar os parâmetros físico-químicos do lodo de esgoto gerado na ETE Contorno de Feira de Santana (BA), segundo a Resolução CONAMA, 375/06;

Identificar a presença de *Salmonella spp.*, no lodo de esgoto gerado na ETE Contorno de Feira de Santana (BA), segundo a Resolução CONAMA, 375/06;

Determinar o Número Mais Provável de indicadores microbiológicos, Coliformes fecais e *Enterococcus spp.*, no lodo de esgoto gerado na ETE Contorno de Feira de Santana (BA);

Determinar o número e a viabilidade de ovos de helmintos no lodo de esgoto gerado na ETE Contorno de Feira de Santana (BA), segundo a Resolução CONAMA, 375/06;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO E A GERAÇÃO DO LODO

3.1.1 Processo de Geração do lodo de esgoto

Esgoto é o termo usado para caracterizar os efluentes oriundos dos diversos usos de águas, tais como, uso doméstico, comercial, hospitalar, industrial de utilidade pública, de áreas agrícolas, dentre outros (CHAGAS, 2000).

Estima-se a produção de esgoto sanitário a partir da população contribuinte e do tipo e do tamanho da rede coletora. De maneira geral, a sua vazão corresponde aproximadamente a 80% do consumo de água da localidade. No entanto, este consumo pode variar conforme o clima e a cultura local; o padrão de vida da comunidade; as atividades sócio-econômicas locais, como o comércio, indústrias, turismo; a existência ou não de ligações de águas pluviais à rede de esgoto; a construção e o estado de conservação e manutenção das redes de água e esgoto; o custo, a medição, a pressão e a quantidade da água distribuída na rede, além das perdas no sistema pelo estado de conservação dos aparelhos sanitários e vazamentos de torneiras. Podendo ainda variar em relação ao dia, hora, estação do ano e de acordo com o ciclo natural das atividades humanas (PHILIPPI JR; MALHEIROS, 2005; VON SPERLING, 2005).

Desta forma, o conteúdo dos esgotos domésticos pode variar. A composição média do esgoto doméstico é de 99,9% de água e 0,1% de sólidos, sendo que cerca de 70 % desses sólidos são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras e outros) e 30% de inorgânicos (areia, sais, metais, nitratos, ortofosfatos, amônia e outros) bem como microrganismos (bactérias, fungos, protozoários, vírus, helmintos, entre outros) (IMHOFF; IMHOFF, 1998; METCALF; EDDY, 2003; NUVOLARI, 2003; VON SPERLING, 2005).

A principal razão do tratamento de esgoto é a presença destes sólidos que podem causar problemas desde 'estéticos' (WONG *et al.*, 2001) (visuais e olfativos) a problemas de saúde e ambientais. A questão estética do tratamento do esgoto é devida à

capacidade destes em produzir odores desagradáveis durante a decomposição da matéria orgânica e de propagar vetores, transmissores de doenças.

A preocupação com a saúde, no tratamento de esgoto é devida à presença de elementos tóxicos no esgoto, como metais pesados e outros produtos químicos (detergentes e pesticidas, por exemplo) e a presença de agentes patogênicos. Os metais pesados podem se acumular na cadeia alimentar e causar doenças via corpos d'água contaminados. Os agentes patogênicos são lançados na rede através dos dejetos humanos e podem contribuir com o perfil sanitário da população (OLIVEIRA, 2006).

A questão ambiental do tratamento do esgoto está ligada a degradação da matéria orgânica e a presença de sólidos sedimentáveis. O acúmulo de matéria orgânica em corpos d'água leva depleção de oxigênio e, conseqüentemente, morte da vida aquática e perda da qualidade da água (grande problema social, econômico e turístico pela impossibilidade de seu uso). Além disso, sólidos grosseiros e sedimentáveis, podem causar assoreamento nos leitos de rios.

Para Van-Haandel e Lettinga (1994), tratar o esgoto objetiva corrigir algumas de suas características indesejáveis pela redução de sólidos em suspensão, material orgânico (biodegradável), nutrientes (nitrogênio e fósforo) e organismos patogênicos, para possível reutilização ou destinação final.

De acordo com a área, com recursos financeiros disponíveis e com o grau de eficiência que se deseja obter, um ou outro processo de tratamento do esgoto pode ser mais adequado (OLIVEIRA, 2006). Assim, o tratamento do esgoto sanitário envolve operações físicas, químicas e biológicas. Von Sperling (2005) compreende as seguintes etapas de: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e eventualmente tratamento terciário.

O tratamento preliminar compreende a remoção de sólidos grosseiros e de areia. O gradeamento se encarrega de reter os sólidos com dimensão maior que os espaços entre as barras das grades. E o desarenador permite que o grão de areia se sedimente no fundo da caixa, pela redução da velocidade do esgoto no canal de acesso, permitindo assim sua remoção, seu tratamento e seu reuso como drenante em leitos de secagem.

O tratamento primário compreende a remoção de materiais flutuantes, sólidos suspensos e substâncias coloidais. Essa remoção se dá por meio de decantadores, em que os sólidos que possuem densidade maior que a massa líquida depositam lentamente

no fundo do tanque de sedimentação (denominado lodo primário), e o efluente segue para tratamento secundário.

O tratamento secundário tem como objetivo remover a matéria orgânica que pode apresentar-se na forma de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos ou particulados. Esse tratamento se dá por processos biológicos de estabilização da matéria orgânica, como: filtro biológico, lagoas de estabilização, disposição e tratamento no solo e lodo ativado.

O tratamento terciário compreende a remoção de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo que podem propiciar o desenvolvimento de algas e plantas aquáticas em corpos d'água, resultando em fenômenos de eutrofização, os quais não são eliminados por processos primários e secundários; e na remoção de compostos tóxicos ou não-biodegradáveis, insuficientemente removidos no tratamento secundário. O tratamento terciário pode ser do tipo avançado utilizando-se de processo de múltiplas barreiras, cujo grau de complexidade vai desde a simples adição de pequenas doses de cloreto férrico e polímeros no tratamento primário; até a adoção de processos unitários sofisticados como osmose reversa, troca iônica, membranas filtrantes, ozonização, adsorção em leito de carvão ativado, a depender do tipo de reuso; ou ainda ser do tipo combinado.

A escolha destas etapas no tratamento do esgoto depende de fatores como as características do esgoto e de sua disposição final (reuso agrícola, disposição em corpos d'água), por exemplo.

Ao final do processo de tratamento de esgoto sanitário são removidos sólidos grosseiros, areia, espuma e o lodo (VON SPERLING, 2005). Este último, ainda na sua forma líquida ou semi-sólida possui cerca de 0,25 a 12% de sólidos na sua composição dependendo do tipo de operação e processo de tratamento, do qual foi gerado. Trata-se de um resíduo rico em matéria orgânica e nutriente (CAMARGO, 2006), que pode ser usado como fertilizante do solo. Porém pode conter metal pesado, contaminantes orgânicos e organismos patogênicos (FERNÁNDEZ-LUQUEÑO *et al.*, 2008) havendo uma necessidade de uma adequada disposição final. Face às grandes quantidades geradas, o tratamento e a disposição final o lodo é talvez o mais complexo problema enfrentado pelas engenharias no tratamento de esgotos (METCALF; EDDY, 2003; VON SPERLING; GONÇALVES, 2001; OLIVEIRA, 2006).

Basicamente as fontes de geração de lodo numa estação de tratamento de esgoto são as unidades de operações primárias, as secundárias ou biológicas, e os processos de tratamento do lodo.

Desta forma, Von Sperling (2005); Von Sperling e Gonçalves (2001) distinguem:

- Lodo bruto ou primário composto por sólidos sedimentáveis gerado nos decantadores primários, com coloração acinzentada, pegajoso, odor ofensivo, facilmente fermentável, e de fácil digestão sob condições adequadas de operações da estação de tratamento de esgoto;
- Lodo biológico ou secundário é a própria biomassa que cresceu à custa do alimento fornecido pelo esgoto afluyente. Gerado em reatores biológicos, com aparência floculenta, coloração de marrom a preta, odor pouco ofensivo quando fresco e pode ser digerido sozinho ou misturado ao lodo primário (neste caso chamado de lodo misto);
- Lodo digerido aquele que sofreu estabilização biológica aeróbia ou anaeróbia, não possui odor ofensivo e é marrom escuro;
- Lodo químico originário do tratamento do esgoto que inclui etapas físico-químicas para melhorar o desempenho dos decantadores primários;

O termo biossólido designa (sólidos) lodo gerado do tratamento biológico do esgoto. É uma forma de ressaltar os aspectos benéficos, valorizando a utilização produtiva em comparação com a mera disposição final improdutiva, aterro, disposição no solo ou incineração (ANDREOLI; VON SPERLING, 2001).

3.1.2 Considerações sobre o sistema lodo ativado

O tratamento biológico dos esgotos pode ocorrer por via aeróbia, em que os microrganismos atuantes na decomposição da matéria orgânica utilizam oxigênio livre

no seu metabolismo; por via anaeróbia, em que são usados compostos como sulfatos e nitratos como agentes oxidantes dos compostos orgânicos; ou por mecanismos facultativos, em que microrganismos atuam tanto em vias aeróbias quanto anaeróbias (VON-SPERLING, 2002; NUVOLARI, 2003).

A recirculação da biomassa ativa (bactérias capazes de assimilar a matéria orgânica), nos reatores é o princípio básico do sistema de lodo ativado, o qual é constituído basicamente de um tanque de aeração que por ação de microrganismos a matéria orgânica é estabilizada, produzindo um efluente de qualidade aceitável na remoção de matéria orgânica e de nutrientes (SILVA e SILVA-NETO, 2001) e de um decantador onde são removidos os flocos biológicos de seu efluente. Parte destes flocos (lodo de retorno) volta ao reator de aeração (ALMEIDA, 2008), para manter a quantidade elevada de microrganismos no sistema.

Dentre os processos biológicos do tratamento de esgotos capazes de remover nutrientes, o processo de lodo ativado merece destaque principalmente devido a sua flexibilidade operacional (MEDEIROS; CYBIS; SANTOS, 2007).

A remoção de poluentes se faz pela formação e sedimentação de flocos biológicos, no fundo do reator (ALMEIDA, 2008). O lodo recirculado possui maior concentração de sólidos em suspensão, o que possibilita aumentar a concentração de sólidos totais no reator.

A recirculação em geral, é feita por bombeamento do lodo do fundo do decantador secundário para o reator. O lodo excedente é bombeado para tratamento da fase sólida, diretamente dos reatores ou do decantador secundário.

O sistema lodo ativado com aeração prolongada é um sistema de tratamento de esgoto capaz de remover de 80-90% da demanda bioquímica de oxigênio - DBO durante o tratamento secundário. Porém tem elevado custo operacional, e, necessita de controle laboratorial rigoroso (VON SPERLING, 2005; PHILLIPI JR; MALHEIROS, 2005).

Os sistemas de lodo ativado podem variar, em função da idade do lodo em lodo ativado convencional e lodo ativado de aeração prolongada. E, quanto ao fluxo em contínuo e intermitente (batelada) (VON SPERLING, 2002). No sistema convencional, parte da matéria orgânica é retirada através do decantador primário antes da entrada nos tanques de aeração, enquanto que no sistema de aeração prolongada, a permanência da biomassa no sistema dispensa o decantador primário, simplificando o sistema evitando

produção e tratamento de lodo primário, e a necessidade de unidades de digestão do lodo (ALMEIDA, 2008). O lodo produzido por este sistema é denominado lodo secundário ou ativado, é instável e necessita de passar por processos de suplementares de estabilização (MALTA, 2001).

No sistema de lodo ativado por aeração prolongada e fluxo contínuo, Figura 01, a biomassa permanece no sistema por um período de 18-30 dias, com a mesma carga de DBO que o sistema de lodo ativado convencional. Neste caso é necessário um reator maior e um tempo de detenção hidráulica, da ordem de 16-24 horas (VON SPERLING, 2002). Como consequência tem-se um maior gasto energético.

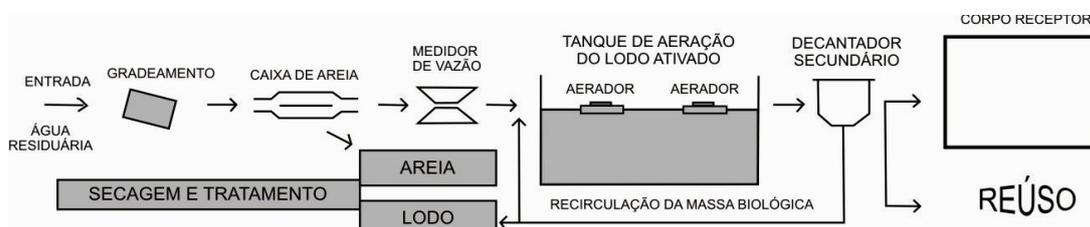


Figura 01: Representação esquemática do Sistema Lodo Ativado com aeração prolongada e fluxo contínuo. **Fonte:** Von Sperling (2002).

A reduzida disponibilidade de nutrientes no sistema de lodo ativado faz com que as bactérias para sobreviverem passem a utilizar a própria matéria orgânica componente de suas células, nos processos metabólicos (OLIVEIRA, 2006). A matéria orgânica celular é convertida em gás carbônico e água por processo de respiração, durante a estabilização que ocorre nos próprios reatores (VON SPERLING, 2002).

3.2 LODO DE ESGOTO

3.2.1 Antecedentes históricos

A concentração do homem no meio artificial das cidades favorece a produção de elevado volume de esgoto que, como águas servidas, deveria ser exportado para ecossistemas contíguos. Sem tratamento estes esgotos causam impactos ao ambiente e consequentes riscos à saúde humana (NATAL; MENEZES; MUCCI, 2005).

A correlação entre o crescimento populacional e o aumento acelerado dos problemas ambientais e de saúde pública é perceptível principalmente em países em que esse crescimento é desordenado e principalmente, onde não há rede de abastecimento de água, de tratamento de esgotos ou disposição adequada de resíduos sólidos.

No Brasil, modelos de desenvolvimento adotados ao longo de sua história, tiveram como resultados impactos sociais, econômicos e ambientais, provocando excessiva concentração de renda e riqueza, com exclusão social e aumento das diferenças regionais.

Dentre os aspectos que influenciaram as preocupações com o ambiente e a saúde têm-se: as políticas que contribuíram para a explosão demográfica nos centros urbanos; o aumento pela demanda por infra-estrutura, principalmente, das ações em saneamento; as mudanças no padrão de consumo no período pós-industrial com o aumento da demanda por recursos naturais, principalmente no uso de águas superficiais; e o aumento da geração de resíduos sólidos e líquidos domésticos e industriais (PHILIPPI JR; MALHEIROS, 2005).

Entretanto, as ações de saneamento vêm sendo desenvolvidas junto à evolução dos povos. As antigas civilizações da Índia já possuíam relatos da existência de banheiros, construção de rede de esgotos, drenagens nas ruas, filtração e fervura das águas de consumo (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 1999).

Na Antiguidade, além da construção de aquedutos, banheiros públicos e termas, foi construída uma das obras mais importantes referentes ao saneamento devido a sua concepção e dimensão: a Cloaca Máxima de Roma a qual recebia os esgotos provenientes das construções civis (FONTES, 2003).

Para Metcalf e Eddy (2003), ainda que a captação e a drenagem datem tempos antigos o reconhecimento das águas residuárias e o seu tratamento sistemático datam do final do século passado e início do presente. Para o autor, o desenvolvimento da ‘teoria do germe’, por Koch e Pasteur marcou o início de uma nova era no campo do saneamento. Até aquele momento, pouco se relacionava contaminação às enfermidades e ainda não se havia aplicado os conceitos de bacteriologia ao tratamento de esgotos.

No início do século XIX, os danos causados à população européia e norte-americana, pelas condições sanitárias e o reuso indiscriminado das águas residuárias impulsionaram uma crescente demanda no tratamento e gestão das águas residuárias. No Brasil, o Rio de Janeiro – RJ foi o quinto município do mundo a possuir rede

coletora de esgotos e estação de tratamento de efluentes antes de 1900. Entretanto, somente na década de 70, a maioria das cidades brasileiras iniciou a coleta e o tratamento de seus esgotos sob pena de ficarem sem mananciais de água apropriada para o abastecimento público (MALTA, 2001).

Porém, durante as décadas de 70 e 80 as pesquisas no Brasil destinaram-se apenas ao tratamento de esgotos; ao desenvolvimento das estações de tratamento e sua implantação, ou seja, a preocupação destinava-se somente à remoção da matéria orgânica e proteção do meio ambiente. Entretanto, na década de 90 esta preocupação com o meio ambiente é ampliada para a saúde pública e, a partir daí a remoção de microrganismos no esgoto sanitário passa a ser estudada (ARAÚJO, 2003).

Na década de 70 inicia-se a regulamentação do lançamento deste lodo no meio ambiente. Nesta época, com o objetivo de proteger à vida e o ambiente marinho, três convenções fixaram acordos para controlar a disposição de resíduos no mar: a Convenção de Oslo (1972); a Convenção de Londres (1972) e a Convenção de Paris (1974). Mas, somente a partir de 1980, a “Commission of Communities – CEC” encarrega-se da padronização de regulamentos e da fixação de estritas limitações à utilização do lodo no solo, para a comunidade européia estabelecendo diretrizes de manuseio, reuso e da presença de metais no lodo e em solo agrícola (VINCENT; CRITCHELEY, 1984 apud MALTA, 2001).

Em 1980, Bettiol e Carvalho pesquisaram pela primeira vez sobre a utilização de lodo na agricultura (GUEDES *et al.*, 2006).

Em 1993, através do código 40 CFR “Code of Federal Regulations”, a Environmental Protection Agency (EPA – 40 Part 503), impôs os padrões norte-americanos para o uso ou disposição de lodos produzidos por estações de tratamento de esgotos municipais fixando limites para elementos potencialmente tóxicos como: arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco, além do estabelecimento de parâmetros de operação de tratamento de higienização e desinfecção, garantindo a redução de patógenos e práticas de gestão para aplicação do lodo em áreas agrícolas e não agrícolas, sua distribuição, manuseio, disposição na superfície e incineração (MALTA, 2001).

O Brasil tomando como base o código americano (40 CFR) estabeleceu suas normas técnicas e regulamentos para uso e gestão do lodo. Atualmente, podemos contar com a Resolução do Conselho do Meio Ambiente, CONAMA, 375/2006 (BRASIL,

2006), que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto e seus produtos gerados; uma série de manuais técnicos da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB), que estabelece critérios para elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas de uso agrícola; com as experiências da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) que vem utilizando largamente o lodo estabilizado na agricultura; e com a rede de cooperativa de pesquisa e o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), que atua no desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias, resíduos sólidos de fácil aplicabilidade e baixo custo. Além das pesquisas nordestinas envolvendo pesquisadores da Paraíba e da Bahia, no conhecimento das características dos lodos gerados por Estações de Tratamento de Esgotos e na definição de tecnologias sustentáveis de reciclagem do lodo e do esgoto.

3.2.2 Características do lodo de esgoto

O lodo é composto na sua maior parte de água, de matéria orgânica, de macronutrientes e de micronutrientes, além de microrganismos patogênicos e outros poluentes. Todavia, sua composição e a concentração de contaminantes são dependentes da origem dos rejeitos (doméstico, industrial ou hospitalar), do tipo do tratamento dos esgotos, do caráter sazonal e do seu próprio tratamento (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

A Tabela 01 apresenta variações na composição físico-químicas do lodo de acordo com o tipo de tratamento dado ao esgoto.

O pH é importante parâmetro de qualidade e de controle operacional da estação de tratamento de esgoto. Valores afastados da neutralidade ($\text{pH} = 7$) afetam a vida aquática e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico do esgoto, os quais se mantêm entre 6,0 - 8,5 (ALMEIDA, 2008).

Tabela 01: Composição físico-química do lodo de esgotos de acordo com o tipo de tratamento do esgoto

Características	Lodo primário ¹ (Tanque séptico)	Lodo secundário	
		Lodo ativado ²	Lodo anaeróbio estabilizado ³
Sólidos totais	221 g/kg	0,880 g/kg	101 g/kg
Sólidos voláteis	280 g/kg	0,777 g/kg	682 g/kg
Nitrogênio	21 g/kg	0,047 g/kg	60,8 g/kg
Fósforo (P ₂ O ₅)	-----	4,13 g/L	21 g/kg
Carbono orgânico (COT)	155 g/kg	0,165 g/kg	325 g/kg
pH	7,0	6,17	-----

Fonte: Adaptado de ¹Silva *et al.* (2008); ²Magalhães (2008); ³Adani e Tambone (2005).

O pH fornece uma boa informação sobre o estado de decomposição da matéria orgânica. A acidez do lodo, implica na necessidade de correção do pH para favorecimento da decomposição (FIALHO *et al.*, 2005; KIEHL, 1985). O aumento do pH favorece a atividade microbiana, aumenta a mineralização da matéria orgânica e como consequência aumenta a disponibilidade de micronutrientes como Cu, por exemplo (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002).

O pH alcalino é um importante fator para inativação de microrganismo no lodo (BARROS; COSTA; ANDREOLI, 2006). O mecanismo de destruição se dá por via química-alcalina, em que se utiliza um alcalinizante para elevar o pH e a temperatura do lodo e produzir amônia (NH₃) e, conseqüentemente, alterar a natureza coloidal do protoplasma celular dos microrganismos patogênicos de forma letal e produzir um ambiente inóspito à sua sobrevivência (PINTO, 2001). O NH₃ é capaz de penetrar na membrana protetora de ovos de helmintos, desnaturar enzimas responsáveis pelo metabolismo, inativar e destruir-los (BARROS; COSTA; ANDREOLI, 2006).

Os sólidos, segundo Von Sperling (2005), podem ser classificados em dissolvidos e em suspensão; as suas características químicas em voláteis e em fixos e, a de acordo a sua decantabilidade em sólidos suspensos sedimentáveis e em sólidos suspensos não sedimentáveis, os quais estão distribuídos no esgoto, como mostra a Figura 02.

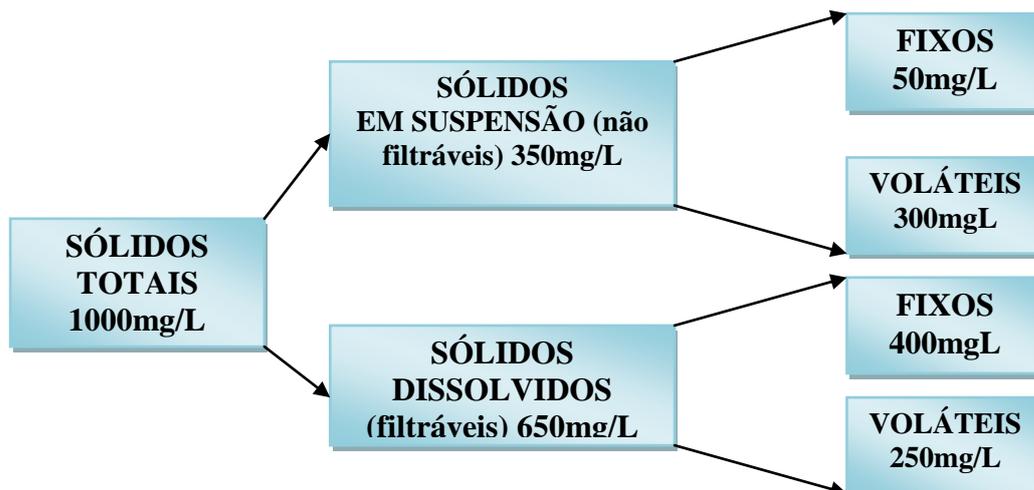


Figura 02: Concentração dos sólidos do esgoto bruto. **Fonte:** Von Sperling (2005).

A análise dos sólidos é necessária para o controle biológico e físico do processo de tratamento de esgoto. A determinação mais importante é a dos sólidos suspensos, pois, eles vão formar o lodo. Na análise deste parâmetro costuma-se distinguir sólidos grosseiros, sólidos sedimentáveis e sólidos não sedimentáveis. Porém, para a avaliação do lodo ou de produto derivado determinam-se os teores de sólidos voláteis e totais.

A partir dos teores de sólidos totais e sólidos totais voláteis do lodo pode-se monitorar o grau de estabilização da matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2008) e conseqüentemente, o teor de putrefação do lodo e capacidade de produzir odores ofensivos e atrair vetores transmissores de doenças, como ratos, aves e insetos.

Brasil (2006), com a Resolução CONAMA, 375/06, estabelece alguns parâmetros para avaliação de sólidos no lodo:

- A relação entre sólidos voláteis e sólidos totais no lodo, inferior a 0,70 considera estabilidade ao produto;
- A redução em valores menores ou igual a 38% de Sólidos Totais Voláteis e o alcance de 90% de Sólidos Totais, para lodos secos em leitos de secagem são critérios adequados de processos na redução da atratividade de vetores (BRASIL, 2006).

Desta maneira, o conhecimento dos teores de sólidos no lodo possibilita a avaliação da remoção do lodo de esgoto no leito para tratamento o destino final.

3.2.2.1 Os nutrientes no lodo de esgoto

Nutrientes são aqueles elementos essenciais no desenvolvimento dos vegetais. Assim, temos: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn.

A composição química do lodo de esgoto é de suma importância na recomendação da quantidade aplicada ao solo, principalmente, devido ao seu potencial de fertilização. Este potencial é dado pela presença de macronutrientes como N, P e K. O lodo de esgoto pode fornecer às plantas, quantidades satisfatórias de nutrientes essenciais, exceto o potássio e o boro, para culturas como: Pinus, milho, arroz, feijão, trigo, soja, sorgo, pastagens e cana-de-açúcar (SKORUPA *et al.*, 2006).

A matéria orgânica é uma das vias de incorporação de nutrientes aos solos, visto que, durante o processo de mineralização todos os nutrientes vão para a solução do solo (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002).

O carbono tem na atmosfera o seu reservatório, mas, está presente em todos os lugares na natureza. Os compostos de carbono (proteínas, carboidratos e gorduras), fazem parte da constituição da matéria viva e são fundamentais nos processos de fotossíntese, respiração e regulação do clima.

As duas fontes mais comuns de carbono para os organismos são: a matéria orgânica (CH₂O) e o gás carbônico (CO₂) (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002). O carbono orgânico é derivado, naturalmente, da decomposição de plantas e animais, e está presente na massa seca do lodo de esgoto em concentrações que variam de 18 - 50% (MAGALHÃES, 2008).

O C permite a ciclagem dos nutrientes necessários ao desenvolvimento dos vegetais (SKORUPA *et al.*, 2006), pois, garante uma menor demanda por insumos, maior compactação e retenção de água (MAGALHÃES, 2008). Para Dias *et al.* (2007), o reaproveitamento do lodo na Agricultura proporciona incremento no estoque de carbono em camadas superficiais do solo dependendo da dose aplicada e da sua composição química. A aplicação contínua do lodo resulta em maior acúmulo de substâncias húmicas no solo, não alterando as proporções de carbono na matéria orgânica deste.

O nitrogênio é um dos principais nutrientes minerais para o desenvolvimento dos seres vivos da biosfera, pois é o elemento constituinte principal de proteínas e ácidos

nucléicos. Encontrado em grande quantidade na atmosfera, na forma de nitrogênio molecular, N_2 , poucos são os seres vivos que o assimilam desta forma. Apenas alguns tipos de bactérias, as Cyanobactérias (LADAKIS, DESSENAKIS e PANTAZIDOU, 2006). Pode-se destacar também que o nitrogênio é indispensável ao crescimento de microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgoto, no entanto, seu excesso no ambiente pode acelerar processos de eutrofização e desta forma, trazer sérios riscos ao meio ambiente

O ciclo do nitrogênio tem se tornado mais acelerado em função do aumento da população e conseqüente, consumo de fertilizantes, além do aumento da produção industrial de muitos compostos nitrogenados (ROSA, MESSIAS e AMBROZINI, 2003). No esgoto, por exemplo, o nitrogênio provém além de proteínas, de aminoácidos, de clorofila e de outros compostos biológicos existentes nos despejos domésticos, nos industriais e nas excretas de animais. Parte deste nitrogênio está sob forma de amônia, NH_3 , ou íon amônio NH_4^+ . E devido a seus vários estados de oxidação, que dependendo das condições físicas e bioquímicas presentes, pode mudar rapidamente de um estado a outro. O equilíbrio entre as suas formas molecular, NH_3 e iônica, NH_4^+ é fortemente dependente do pH e da temperatura (AGUSTINI; ONOFRE, 2007).

Cerca de 40% do nitrogênio encontra-se na forma orgânica ($C_5H_7O_2N$ e $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$) (CHAGAS, 2000; VON SPERLING e GONÇALVES, 2001). Numa estação de tratamento, a eventual nitrificação implica no consumo de oxigênio livre e da alcalinidade do meio, com redução de pH (COSTA, FERREIRA e VAN HAANDEL, 2007; MACHADO *et al.*, 2006); a desnitrificação implica em economia de oxigênio e de alcalinidade ou ainda na deterioração da decantabilidade do lodo (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

O nitrogênio orgânico está associado com os sólidos suspensos no tratamento de esgoto e é removido por sedimentação e filtração. A fase sólida do nitrogênio pode ser incorporada ao lodo e consiste de um complexo de moléculas orgânicas contendo carboidratos, proteínas complexas. Parte do nitrogênio orgânico é hidrolisado a aminoácidos solúveis que pode reduzir-se futuramente a amônia ionizada (NH_4^+) (METCALF; EDDY, 2003).

O nitrogênio do lodo provém dos dejetos presentes no esgoto e da biomassa microbiana, encontrando-se na forma mineral (nitrato e amônio) ou orgânica (Equação 01):

$$N_{\text{total}} \text{ do lodo} = \text{NO}_3^-_{\text{(aq)}} + \text{NH}_4^+_{\text{(aq)}} + N_{\text{org}} \quad (01)$$

O nitrogênio é elemento referencial para a limitação das taxas de aplicação do lodo no solo (BETTIOL e CAMARGO, 2000). É elemento essencial para o crescimento vegetal e de microrganismos do solo, todavia sua aplicação em excesso pode contaminar corpos d'água por arraste deste elemento do solo.

A disponibilidade de nitrogênio total e de suas formas no lodo pode ser influenciada por vários tipos de processos de estabilização. Assim, a digestão anaeróbia (30 dias ou mais) produz um lodo com altos níveis de amônio e pouco nitrato. A digestão aeróbia produz altos níveis de nitrato. E o processo de desidratação reduz tanto o nitrato quanto o nitrito. Uma boa estabilização é capaz de converter a maior parte do nitrogênio orgânico em nitrogênio inorgânico disponível, deixando apenas o que é relativamente inerte e resistente a mineralização futura (U.S.EPA, 1994).

O fósforo é um elemento químico, proveniente de rochas fosfáticas, que participa estruturalmente de moléculas fundamentais do metabolismo celular, como fosfolipídios, coenzimas e ácidos nucléicos. É um nutriente limitante do crescimento de plantas e algas em ambientes aquáticos, pois armazena e transfere energia à planta e sem sua presença não ocorre nenhum processo metabólico (SOUZA *et al.*, 2005). Em abundância no meio ambiente, pode causar sérios problemas ambientais, como eutrofização em corpos d'água.

Além de ser fruto de produtos de dissolução do solo (como ortofosfato e polifosfato), o fósforo pode originar-se da decomposição da matéria orgânica e fazer parte de algumas proteínas existentes nas fezes humanas. O uso mais comum do fósforo pelo homem é como fertilizante. Ele é um dos principais componentes do NPK, fertilizante mais usado na agricultura. Porém, o fósforo, também é usado na fabricação de detergentes domésticos. Assim, o fósforo do tratamento do esgoto provém dos dejetos, de células de microrganismos que atuam no tratamento do esgoto e de detergentes e outros produtos utilizados para limpeza doméstica que utilizam fosfatos na sua composição (MAGALHÃES, 2008).

Difícilmente, o excesso de fósforo causará a toxicidade de plantas ou causará contaminação de corpos d'água subterrâneos, visto que, nosso solo é pobre deste nutriente e a sua capacidade de retenção é grande (AGUSTINI e ONOFRE, 2007). Entretanto, por ter a capacidade de formar compostos solúveis, o fósforo do solo, ao ser

carreado pelas chuvas, pode causar sérios danos ambientais pelo seu excesso em rios e lagos pelo aumento da população bacteriana e de algas verdes (fotossintéticas), contribuindo para o processo de eutrofização e servir de nutriente de plantas (NUVOLARY, 2003).

Na água, o fósforo apresenta-se sobre três formas: ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. Seu conhecimento tem importância maior em esgotos industriais e na geração do lodo de estações de tratamento de esgotos, pois durante o tratamento o fósforo orgânico é convertido a ortofosfatos (VON SPERLING e GONÇALVES, 2001). Os ortofosfatos apresentam predominantemente na água sobre a forma do íon HPO_4^{-2} , e são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversão a forma mais simples. Os polifosfatos são moléculas mais complexas que se transformam em ortofosfatos lentamente, pelo processo de hidrólise. O fósforo orgânico é integrante da fração orgânica das células bacterianas ($\text{C}_{60}\text{H}_{87}\text{O}_{23}\text{N}_{12}\text{P}$). O P está disponível para as plantas sob a forma de HPO_4^- (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002).

Segundo Luchese, Favero e Lenzi (2002), o fósforo orgânico será mineralizado ao longo da decomposição da matéria orgânica, a um pH entre 5 e 7. No lodo estabilizado, o fósforo inorgânico será lentamente, liberado ao longo dos anos.

Os solos tropicais e subtropicais, em geral, são tipicamente ácidos. O que provoca perdas de bases de elementos como Ca, Mg e K. A correção nutricional de solos com estas características se dá, principalmente, pela aplicação de calcário para incorporação de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Processos de decomposição da matéria orgânica podem contribuir com a incorporação destes elementos ao solo (LUCHESE, FAVERO e LENZI, 2002), porém, a incorporação de potássio do solo se dá pela adição de suprimento como, NPK.

No lodo, o Cálcio provém das etapas de condicionamento químico usado no tratamento do esgoto ou de processos de higienização do lodo através da adição de cal. E o Mg dos detergentes domésticos. Um aumento gradual na disponibilidade de Ca e Mg, no solo, tem sido observado pela aplicação do lodo de esgoto.

No entanto, o lodo não tem sido citado como uma boa fonte de K, devido ao baixo teor do elemento no mesmo, não sendo capaz de suprir as necessidades das plantas em relação ao elemento (MELO *et al.*, 2000). Para uso do lodo na agricultura há necessidade da adição de uma fonte mineral de K (GUEDES *et al.*, 2006).

O lodo de esgoto, dependendo da sua origem pode conter na sua composição diferentes concentrações de nutrientes (Tabela 02), o que apontam para a necessidade de caracterização deste tipo do resíduo, como procedimento básico para escolha da alternativa de tratamento (SILVA, 2008).

Tabela 02: Comparação das concentrações de macronutrientes, e de carbono em lodo de esgotos em diferentes estudos no Brasil.

Parâmetros	Concentração Média			
	Guedes <i>et al.</i> , (2006) ¹	Agustini; Onofre (2007) ²	Silva <i>et al.</i> , (2006) ³	Vaz (2000) ⁴
C	172,26 gkg ⁻¹	152 gkg ⁻¹	382,4 gkg ⁻¹	114,0 gkg ⁻¹
N	18,66 gkg ⁻¹	NE	68,2 gkg ⁻¹	26 gkg ⁻¹
P	9,40 gkg ⁻¹	80 gkg ⁻¹	12,9 gkg ⁻¹	9,5 gkg ⁻¹
K	1,96 gkg ⁻¹	13,4 gkg ⁻¹	1,0 gkg ⁻¹	1,3gkg ⁻¹
Na	0,58 gkg ⁻¹	NE	0,9 gkg ⁻¹	0,5 gkg ⁻¹
Ca	86,40 gkg ⁻¹	1650 gkg ⁻¹	24,8 gkg ⁻¹	95,0 gkg ⁻¹
Mg	3,80 gkg ⁻¹	52,1 gkg ⁻¹	2,2 gkg ⁻¹	3,0 gkg ⁻¹

¹Lodo oriundo da digestão aeróbia (decantação) e anaeróbia (primário e secundário) seguido de condicionamento com Ca(OH)₂ e FeCl₃ e secagem ao ar; ²Lodo gerado na ETE Pato Branco, Paraná; ³Lodo polimerizado, oriundo do tratamento de esgoto doméstico por lodo ativado convencional, Franca, SP; ⁴Lodo prensado, oriundo da digestão aeróbia (decantação) e anaeróbia (primário e secundário) seguido de condicionamento e higienização com Ca(OH)₂ e FeCl₃.

NE – não especificado.

3.2.2.2 Os metais pesados no lodo de esgoto

Os metais pesados são elementos químicos que se caracterizam por sua alta densidade, principalmente, quando comparadas a outras substâncias leves como a água e o alumínio. Estes metais são não-degradáveis podendo acumular-se no ambiente, onde manifestam sua toxicidade. A fixação final dos metais pesados ocorre nos solos e nos sedimentos (BAIRD, 2002). Do ponto de vista ambiental, metal pesado, pode ser compreendido como aquele que em determinadas concentrações e tempo de exposição oferece risco à saúde pública e ao meio ambiente, prejudicando as atividades de microrganismos vivos (OLIVEIRA, 2006).

A toxicidade dos metais pesados depende, em grande parte da forma química do elemento, ou seja, da sua especiação. Os metais pesados na sua forma livre condensados, não são particularmente tóxicos e podem passar pelo corpo humano sem causar grandes danos. Porém, o mercúrio, (Hg), o chumbo, (Pb), o cádmio, (Cd) e o

arsênio, (As) tornam-se perigos nas suas formas catiônicas ou quando ligados a cadeias curtas de carbono. No meio ambiente, os metais pesados podem entrar na cadeia alimentar e serem absorvidos primariamente por microrganismos e plantas e em seguida, animais e homem. As formas solúveis podem atravessar barreiras como a membrana protetora do cérebro e a membrana transplacentária (placenta fetal), causando doenças imediatas ou até a morte (BAIRD, 2002).

Bioquimicamente, a toxicidade dos cátions de Hg, Pb, Cd e As deriva da sua forte afinidade pelo enxofre presente em enzimas que controlam a velocidade do metabolismo humano. Assim, os grupos sulfidril, (SH) ligam-se rapidamente aos cátions de metais pesados ingeridos, de maneira que prejudicam a função enzimática, por vezes sendo fatal. Quando esta ligação é com cátions Hg, Pb ou Cd produzem sistemas estáveis de uma espécie insolúvel de metal-enxofre (MS) (BAIRD, 2002).

Em geral, nos esgotos os metais estão presentes em pequenas concentrações, exceto esgotos industriais (curtumes e galvanoplastia, por exemplo), em que estas podem estar aumentadas. Problema comum entre as cidades de pequeno e médio porte no Brasil. Sem dúvida, a galvanoplastia é a mais problemática, pois, lançam seus resíduos, contendo sais de diversos metais utilizados nos processos industriais, na rede. Outros processos como a metalúrgica também contribuem com o excesso de metais no lodo de esgoto (MALTA, 2001).

Os metais pesados como Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, dentre outros que estão presentes nos esgotos, sofrem várias reações químicas no solo como: adsorção na superfície de argila; complexação com ácidos húmicos, flúvicos e ligantes orgânicos e inorgânicos; precipitação como carbonatos, hidróxidos, sulfetos e outros; oxidação e redução. O equilíbrio químico destas reações define a disponibilidade e toxidez para as plantas, a solubilidade e a lixiviação de um metal no solo (CHAGAS, 2000).

Metais como níquel (Ni), manganês (Mn), chumbo (Pb), crômio (Cr), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe) e magnésio (Mg) são importantes constituintes, em quantidades traço, de muitas águas. Alguns metais são necessários ao crescimento dos organismos. Outros como Zn, Cu, Mn, Fe, Mo e Ni, são micronutrientes para as plantas (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Desta forma a sua ausência pode limitar o crescimento de plantas e algas, por exemplo. Entretanto, em excesso no meio aquático, estes podem manifestar sua toxicidade, interferindo nos diversos usos da água

(METCALF e EDDY, 2003) e do solo. E em especial, o Zn, o Cu e o Ni, em teores elevados podem ser fitotóxicos (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Os metais complexados podem ser retirados durante o tratamento dos esgotos na remoção do lodo primário. Na sua forma iônica pode seguir a jusante com o efluente tratado e constituir uma ameaça aos corpos d'água (NUVOLARI, 2003).

A concentração total, a biodisponibilidade e mobilidade dos metais pesados são fatores limitantes ao uso do lodo de esgoto na agricultura. Como adubo, o lodo, constitui fonte potencial de nutriente. Todavia, existem riscos de contaminação do solo e conseqüente, incorporação de metais na cadeia alimentar, podendo persistir por longos períodos como *passivo* na contaminação de animais e plantas, pois suas perdas por adsorção, sua remoção por vegetais cultivados ou lixiviação são normalmente baixas (OLIVEIRA, 2006).

Para Fuentes *et al.*, (2008), uma análise de extração sequencial pode fornecer informações sobre a mobilidade dos metais no lodo, no solo. O uso do lodo de esgoto aumenta os teores de metais no solo, que muitas vezes, estão sob a forma de complexos e quelados, e a depender das características deste solo pode passar de uma forma para outra, tornando-se disponível. Porém, Silva *et al.* (2001) afirmam que teores de metais disponíveis podem ser bem menores que os valores considerados perigosos ao ambiente.

Desta forma, a biodisponibilidade e a mobilidade dos metais no lodo dependem das propriedades físico-químicas das amostras de lodo como: pH, matéria orgânica, condutividade elétrica, fração nitrogênio mineralizável e força iônica (WANG *et al.*, 2006). A biodisponibilidade e a mobilidade dos metais aumentam em $\text{pH} < 6,5$ e diminui com $\text{pH} > 6,5$, com exceção do Mo e Se (MELO *et al.*, 2000).

De maneira geral, os metais pesados tendem a se complexar com a matéria orgânica, diminuindo sua mobilidade no solo. Isto faz com que, sua distribuição no perfil siga a matéria orgânica (MELO *et al.*, 2000). Pode haver ainda, a formação de complexos solúveis e movimentação destes em profundidade, ou retenção de íons metálicos na superfície do solo (WANG *et al.*, 2006).

Os metais são adsorvidos nos pontos de troca catiônica, os quais permanecem em equilíbrio na solução do solo. O excesso de metais será percolado, se não houver outro mecanismo para sua imobilização. O aumento da matéria orgânica do solo aumenta a Capacidade de troca catiônica (CTC) e, conseqüentemente, a capacidade de

adsorção de metais (cátions). Com exceção do Zn, a biodisponibilidade dos metais diminui com o aumento do carbono orgânico (MELO *et al.*, 2000).

Contudo, as diferenças entre as propriedades químicas dos metais podem ser explicadas pelas diferentes fontes de origem do esgoto e da eficiência nos processos de tratamento (WONG *et al.*, 2001).

3.2.2.3 Microrganismos patogênicos no lodo de esgoto

Microrganismos patogênicos são organismos capazes de causar doenças ao homem e aos animais por várias vias de infecção como a ingestão, a inalação e o contato dérmico. O lodo contém os mais variados microrganismos patogênicos (AGUSTINI e ONOFRE, 2007). Os quatro maiores grupos de organismos patogênicos que afetam a saúde humana, as bactérias, os vírus, os protozoários e os helmintos estão presentes no lodo de esgoto numa densidade que depende do quadro epidemiológico da comunidade local e do tratamento dado ao esgoto e ao lodo numa ETE (CARRINGTON, 2001). Estes chegam aos esgotos via sistema de coleta, devido à presença de material fecal contido no esgoto (MAGALHÃES, 2008), o que reflete o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico da região (LEITE; INGUNZA; ANDREOLI, 2006).

A origem destes microrganismos pode ser também de procedência animal quando seus dejetos são lançados na rede; ou pela presença de animais, principalmente roedores, na rede de esgoto (VON SPERLING e GONÇALVES, 2001).

A Tabela 03 apresenta os principais grupos de microrganismos que podem ser encontrados no lodo de esgoto.

A presença destes microrganismos, no lodo, inicialmente está associada aos sólidos insolúveis concentrado durante o tratamento primário do esgoto. No tratamento secundário do esgoto, como lodo ativado, por exemplo, pode reduzir substancialmente o número de patógenos no lodo gerado, pois, promove condições adversas a sobrevivência destes microrganismos (USEPA, 2003).

Tabela 03: Principais grupos de microrganismos patogênicos encontrado no lodo de esgoto

Bactérias	Vírus	Helmintos	Protozoários	Fungos
<i>Salmonella spp</i>	Poliovirus	<i>Taenia spp</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Aspergillus spp</i>
<i>Shigella spp</i>	Hepatite A-vírus	<i>Ascaris lumbricóides</i>	<i>Giardia lamblia</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>Escherichia coli</i>	Rotavirus	<i>Ancylostoma duodenale</i>	<i>Criptosporidium spp</i>	
<i>Clostridium perfringens</i>	Parvovirus	<i>Hymenolepis nana</i>	<i>Toxoplasma gondii</i>	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Influenza virus	<i>Toxocara spp</i>	Sarcocystis	
<i>Vibrio cholera</i>		<i>Stroglyoides stercolaris</i>		
		<i>Trichiuris trichiura</i>		

Fontes: Carrington (2001); USEPA (2003)

A exposição dos patógenos do lodo ao homem pode ocorrer por contato direto e indireto. Por meio do uso do lodo, imprópriamente tratado, em melhoramentos de solos, em pastagens e no plantio ou podem ser transmitidos por vetores presentes durante o tratamento e disposição (SAHSTRÖM *et al.*, 2005).

No entanto, a presença de agente infeccioso nos lodos usados na agricultura não significa imediata transmissão de doenças, apenas caracteriza um risco potencial. Uma combinação de fatores como, a resistência de patógenos ao tratamento de esgotos e as condições ambientais; dose infectiva; patogenicidade; susceptibilidade e grau de exposição humana aos focos de transmissão podem representar um risco real da contaminação por lodo de esgoto (AGUSTINI; ONOFRE, 2007).

Embora existam dificuldades na detecção de patógenos específicos, numa amostra de água, de esgoto e de lodo, eles podem ser pesquisados a partir de indicadores de contaminação fecal.

Os indicadores de contaminação fecal são aqueles microrganismos que coexistem com os patógenos nas fezes, pois estão presentes no intestino do homem e dos animais de sangue quente. A família *Enterobacteriaceae*, com os gêneros *Salmonellas spp.* e *Enterococcus spp.*, e o grupo dos Coliformes são considerados bons indicadores de contaminação fecal, pois, em geral são lançados na rede de esgoto em grandes quantidades; não estão presentes em solos e águas não poluídas; estão presentes

no lodo de esgoto sanitário; e são resistentes às condições adversas (VON SPERLING, 2005).

A Tabela 04 apresenta a concentração de alguns microrganismos presentes no lodo de esgoto citados em estudos conduzidos no Brasil. Verifica-se a insuficiência de dados microbiológicos para caracterização e classificação do lodo de acordo com as normas da Resolução CONAMA 375/06, o que para Silva (2008), limita a segurança sanitária e ambiental para o uso agrícola.

Tabela 04: Concentração de Coliformes Termotolerantes, *Salmonellas spp.* e Ovos de Helmintos encontrados no lodo de esgoto por diversos estudos realizados no Brasil.

Indicador Microbiológico	Agustini; Onofre (2007) ¹	Lira; Guedes; Schalch (2008) ²	Magalhães (2008) ³	Silva <i>et al</i> (2008) ⁴
Coliformes Termotolerantes NMP/g de ST	3,2 x 10 ²	< 2 x 10 ⁶	1,4 x 10 ³	ND
<i>Salmonella spp</i> (g/ST)	1,2 x 10	ND	ND	ND
Ovos de Helmintos (g /ST)	ND	ND	ND	102,4

¹ Lodo da ETE de Pato Branco – PA; ² Lodo estabilizado com cal e cloreto férrico; ³ Lodo ativado. ⁴ Lodo primário de sistema anaeróbio. ND - dado não descrito.

As bactérias Coliformes Termotolerantes existem, enquanto parte da microbiota normal no intestino, em grandes números, na forma de bacilos comensais. São bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas. Cada pessoa evacua em média, com as fezes, um trilhão de bactérias *E.coli* todos os dias (VON SPERLING, 2005). A pesquisa de bactérias deste grupo é um dado que deve ser analisado no monitoramento do lodo e viabilidade bacteriana neste resíduo (PAULINO, CASTRO; THOMAZ-SOCCOL, 2001).

Nos esgotos brutos e tratados, os Coliformes estão presentes em proporções maiores que outras enterobactérias, no entanto, no lodo líquido ou desidratado encontra-se com concentrações semelhantes aos enterococos, às bactérias sulfito-redutoras (VILANOVA; BLANCH, 2005) e às salmonelas (LANG; SMITH, 2008).

O gênero *Enterococcus spp.* também faz parte da microbiota intestinal de homens e animais que se faz presente em grandes quantidades no esgoto (COSTA, VAZ-PIRES e BERNARDO, 2006). As espécies *E. faecium* e *E. faecalis* são espécies predominantes no esgoto e lodo. Dada a resistência às condições ambientais, os *Enterococcus spp.* tem

sido considerado como apropriado para o monitoramento da utilização do lodo (VILANOVA e BLANCH, 2005) podendo ser usado para estimar o risco do uso do lodo na saúde pública (PALUSZAK; BAUZA-KASZEWSKA; LIGOCKA, 2004).

A resistência desta enterobactéria é influenciada pela alteração genética de suas espécies devido à presença de agentes antimicrobianos como, Vancomicina e Eritromicina, no esgoto, associada à mistura do esgoto doméstico aos resíduos hospitalares (COSTA, VAZ-PIRES e BERNARDO, 2006; VILANOVA e BLANCH, 2005). Além disso, podem estar envolvidos na transmissão de genes de resistência a antibióticos para microrganismos como *Staphylococcus aureus*, *Proteus sp.* e *Pseudomonas sp.* presentes nas fezes de animais, assim como em esgotos não tratados. O que insere o *Enterococcus spp.* como indicador patogênico apropriado na caracterização e no monitoramento do lodo para uso na agricultura (PALUSZAK; BAUZA-KASZEWSKA; LIGOCKA, 2004).

O gênero *Salmonella spp.*, sobrevive às condições adversas do ambiente sendo capaz de se multiplicar fora de seus hospedeiros. São aeróbias ou anaeróbias facultativas. Crescem a uma temperatura menor ou igual a 37°C, mas, pode desenvolver-se a 43°C. Permanecem viáveis no esgoto, em alimentos secos e em matéria fecal, por semanas. Em solos arenosos o fator umidade não afeta a ocorrência de *Salmonella*. Embora sua transmissão seja feco-oral, pode ser transmitida por via respiratória na inalação de poeira contaminada. Sua detecção no lodo de esgoto tem mostrado ser importante na epidemiologia de Salmoneloses (CAVINATTO; PAGANINI, 2007).

A temperatura é fator importante na inativação de patógenos bacterianos no lodo de esgotos. De maneira geral, dependendo do clima local, à temperatura ambiente, a sobrevivência de patógenos é em função de sua estirpe específico, das condições locais e da natureza do meio que estão suspensos. Entretanto, por causa de muitas variáveis incontroláveis não deve ser possível produzir lodo livre de patógenos a temperatura ambiente (CARRINGTON, 2001).

Entretanto, a relação tempo/temperatura tem mostrado efeito altamente significativo na redução de enterobactérias tanto em condições *in vitro* (LANG e SMITH, 2008) e no tratamento do lodo (SAHSTRÖM *et al.*, 2005). Processos como Pausterização (70°C) e Digestão Anaeróbia Termofílica (55°C) são capazes de eliminar

100% das enterobactérias bacterianas em até 60 minutos, reduzindo o risco de transmissão de doenças bacterianas pelo uso do lodo (SAHSTRÖM *et al.*, 2005).

Já em processos mesofílicos, a inativação de patógenos não é influenciada diretamente pela temperatura, mas é atribuído a um complexo de interações físicas e bioquímicas que ocorre durante o tratamento do lodo como o tempo de retenção e as condições operacionais do sistema (PALUSZAK, BAUZA-KASZEWSKA e LIGOCKA, 2004), a disponibilidade de substrato, a inibição e a competição microbiana (LANG e SMITH, 2008), a predação, a carência de nutrientes, o estresse osmótico e a luz visível podem afetar as populações de indicadores fecal bacteriano em diferentes graus (CARRINGTON, 2001; VILANOVA; BLANCH, 2005).

Para Lang e Smith (2008), a Digestão Anaeróbia Mesofílica necessita de otimização operacional, na destruição de patógenos. O lodo oriundo deste pode ser incluído na Classe B (SAHSTRÖM *et al.*, 2005).

Outro grupo de microrganismos que deve ser levado em consideração, pela sua importância epidemiológica são os helmintos. Os ovos de helmintos são resistentes as condições de estresse ambiental (SILVA, 2008), podem sobreviver a diversos tipos de tratamento de esgoto e lodo e possui baixa dose infectante.

A quantidade de ovos viáveis de helmintos encontrados no lodo de esgoto pode ser influenciada pela situação sócio-econômica dos habitantes e pelas condições operacionais da ETE e deve ser levada em consideração se este for destinado à agricultura, pastagens ou áreas afins, as quais não tenham restrições de seu uso.

As espécies de helmintos mais freqüentes no lodo são *Ascaris lumbricoides*, *Ascaris suum*, *Toxocara sp.*, *Trichuris trichiura*, *Taenia sp.*, *Necator americanus* e *Hymenolepis nana*. Sendo o gênero *Ascaris spp.* responsável pela maior prevalência (PAULINO, CASTRO e THOMAZ-SOCOOL, 2001; SILVA, 2008). Estes podem permanecer viáveis no solo por um período de até 20 dias, dada sua resistência a fatores químicos e ambientais (CHERUBINI *et al.*, 2000; PAULINO, CASTRO e THOMAZ-SOCOOL, 2001; SILVA, 2008) e a variadas de temperatura (SAHSTRÖM *et al.*, 2005).

A sobrevivência de ovos e larvas de helmintos está associada, a fatores como a umidade, temperatura, pH e as relações ecológicas (CARRINGTON, 2001). Os fungos e os invertebrados são seus principais predadores (SILVA, 2008). Temperaturas elevadas (60°C a 65°C), pH alcalino (≥ 12) e baixa umidade (< 80%) e exposição a raios solares são capazes de inviabilizar estes ovos (CAVINATTO; PAGANINI, 2007).

Em leito de secagem, a rápida sedimentação destes ovos pode funcionar como fator de proteção e permanência destes microrganismos no lodo. Pois, em camadas mais internas do lodo, os helmintos encontram umidade, amenização da temperatura e proteção contra raios solares. Fatores propícios à sobrevivência de suas espécies (ANDREOLI; CHERUBINI; FERREIRA, 2002).

3.3 TRATAMENTO E DESTINO FINAL DO LODO DE ESGOTO

Para Van Haandel e Além Sobrinho (2006), o lodo gerado em Estação de Tratamento de esgotos pode exibir três aspectos indesejáveis: 1) instabilidade biológica podendo levar a putrefação quando composto de grande quantidade de substâncias biodegradáveis; 2) péssima qualidade higiênica, possuindo muitas espécies de patógenos como vírus, bactérias e parasitas; e 3) concentração de sólidos suspensos baixa, quando seu volume é grande.

As etapas de tratamento e disposição final do lodo é uma operação complexa, durante a gestão do esgoto (OLIVEIRA *et al.*, 2006). O tratamento do lodo visa basicamente reduzir o teor de material orgânico biodegradável, a concentração de organismos patogênicos e a quantidade de água (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). Os principais processos incluem as fases de pré tratamento do lodo: condicionamento, adensamento, desaguamento e as fases de tratamento: estabilização e higienização.

A implantação destas etapas é definida de acordo com o destino final deste produto e com os custos operacionais da ETE, os quais representam em torno de 50% do gasto total com a operação. Na maioria das vezes, as etapas de pré tratamento, tratamento e destino final do lodo são negligenciadas e, por vezes, as soluções de descarte do lodo, tomadas pelas ETE são emergenciais, e não satisfatórias (CAMARGO, 2006), causando impactos na saúde e no meio ambiente.

Em nosso meio, o tratamento dado ao lodo proveniente do Sistema Lodo Ativado, inclui as fases de adensamento, desidratação e destino final. Entretanto, a depender do destino final deste lodo, pode ser agregada ao tratamento, a fase de higienização (se o destino final for o agrícola), ou suprimida a fase de desaguamento (se

pretender usar o lodo líquido em superfícies) (VON-SPERLING; GONÇALVES, 2001).

3.3.1 O condicionamento

O condicionamento é um processo físico com melhores efeitos a partir do tratamento térmico; ou químico no uso de produtos inorgânicos, orgânicos ou associados, no qual partículas menores de lodo se unem às partículas maiores formando agregados com dimensões superiores a estas partículas: os flocos. Miki, Além Sobrinho e Van Haandel (2006), afirmam que o condicionamento melhora as características de separação das fases sólido-líquida e beneficia as fases seguintes do tratamento, o adensamento e a desidratação influenciando positivamente a eficiência dos processos mecanizados.

3.3.2 O adensamento

O adensamento tem por objetivo reduzir a umidade do resíduo através de processos físicos, aumentando a concentração de sólidos. Os tipos de adensamentos mais comuns são: por gravidade, flotação, centrífuga, adensador de esteira (*belt press*) e tambor rotativo (VAN HAANDEL; ALÉM SOBRINHO, 2006).

Adensadores por gravidade são mais eficientes no tratamento do lodo primário. São semelhantes a um decantador primário, no qual o lodo sedimenta e adensa no fundo do tanque, sendo removido por raspadores para a estabilização. O líquido sobrenadante retorna ao início do tratamento primário.

Adensadores por flotação são utilizados para o tratamento do lodo secundário, ou lodo gerado em sistema de lodo ativado e em ETE em que ocorre remoção biológica do fósforo (GONÇALVES, LUDIVICE e VON SPERLING, 2001). Consiste na injeção de bolhas de ar no meio líquido, que aderem as partículas sólidas, fazendo com que a

sua densidade diminua e as mesmas sejam arrastadas para a superfície, onde são removidas por raspadores.

Os adensadores por centrífuga separam os sólidos da água por diferença centrífuga. Os sólidos suspensos depositam - se na parede interna do tambor e são empurrados pela rosca, que gira a uma velocidade um pouco maior, para a de menor diâmetro, onde saem da camada líquida, sendo então descarregados.

Os adensadores de esteira (belt press) são comuns em unidades onde o adensamento e a desidratação são processos combinados em série. O lodo neste caso necessita da fase de condicionamento com adição de polímero (MIKI; ALÉM SOBRINHO; VAN HAANDEL, 2006).

Nos adensadores tambor rotativo, o lodo condicionado com polímero é introduzido no interior do tambor e o filtrado passa através das perfurações da tela de filtração e é direcionado para calha de drenagem. Os sólidos são transportados através de uma rosca parafuso ao longo do tambor.

3.3.3 A desidratação

A desidratação ou desaguamento do lodo é um processo físico através do qual o teor de umidade é reduzido. Esta pode ser feita de forma mecanizada ou natural.

A secagem mecanizada é usada em estações de médio a grande porte, em que há significativa geração de lodo. Produz um lodo seco chamado, “torta de lodo” com concentração de 20% a 30% de sólidos totais. Neste processo são usados: filtro prensa de esteira, centrífuga, filtro prensa de placas e prensa parafuso.

Fazem parte do processo de desidratação por secagem natural os leitos de secagem e as lagoas de secagem de lodo.

O leito de secagem é uma unidade de tratamento do lodo, geralmente retangular, com paredes de alvenaria ou concreto e fundo de concreto projetada e construída de modo a receber o lodo dos digestores, ou de unidades de oxidação total, onde se processa a redução da umidade com a drenagem e evaporação da água liberada durante o período de secagem. A perda da umidade se dá devido aos fenômenos de 1)liberação de gases dissolvidos ao serem transferidos do digesto e submetidos à pressão

atmosférica nos leitos de secagem; 2)liquefação devido à diferença de peso específico aparente do lodo digerido e da água; 3)evaporação natural da água devido ao contato íntimo com a atmosfera e 4)evaporação devido ao poder calorífico do lodo (GONÇALVES; LUDIVICE; VON SPERLING, 2001; METCALF; EDDY, 2003).

Para Pedrosa *et al.* (2006), o leito de secagem tem importantes vantagens quando comparados com método mecanizados, pois, é um método muito simples, o custo de instalação e operação é mais baixo e existe a possibilidade de se obter índices inferiores de umidade que o mecanizado. A maior desvantagem do leito é a exigência de uma área superior à destinada aos reatores que o produz. Esta área depende da velocidade dos processos de percolação e evaporação, os quais dependem de outros fatores como, temperatura, vento e umidade do ar.

As características físicas do lodo (granulometria) e as condições climáticas podem influenciar o comportamento do leito de secagem. Por outro lado, este processo pode promover em determinadas situações considerável remoção de patógenos, pela exposição a temperaturas elevadas (U.S.EPA, 1989; GONÇALVES; LUDIVICE; VON-SPERLING, 2001).

Em condições normais, o lodo poderá ser removido do leito de secagem por um período que varia de 20 a 40 dias, cuja redução da umidade atinge de 60% a 70% (BRASIL, 2006). Teores de sólidos totais em 30% indicam remoção imediata do lodo do leito de secagem para não dificultar sua retirada posterior e evitar proliferação vegetal e mau planejamento da ETE (GONÇALVES; LUDIVICE; VON SPERLING, 2001).

As lagoas de secagem de lodo são escavações feitas no solo, ou posicionadas em depressões do terreno ou dotadas de diques, cujas características evitem problemas com as fases de manuseios do lodo, cargas e remoções, e ainda que os gases e líquidos liberados pelo processo não afetem as condições ambientais. São utilizadas para adensamento, digestão complementar, desaguamento e até destino final. Nas lagoas de secagem o lodo é disposto temporariamente ou por um período de tempo longo de 3 a 5 anos.

As etapas de pré tratamento do lodo (condicionamento, adensamento e desidratação) visam reduzir seu volume, tornando mais fácil seu manuseio, e menores o seu custo de transporte e destino final. Todavia, a depender da reutilização ou do seu destino final, ele necessita das fases seguintes (estabilização e higienização).

3.3.4 A estabilização e a higienização

A estabilização e a higienização conferem a redução de patógenos, evita a eliminação de maus odores e inibe, reduz ou elimina o potencial de putrefação.

Dentre as tecnologias mais usadas na estabilização do lodo tem-se: a digestão anaeróbia, a digestão aeróbia e a secagem ao ar por um período mínimo de três meses. Entretanto, muitos parasitas intestinais são pouco afetados por estes processos necessitando de uma etapa complementar ou conjugada para sua completa inativação: a higienização.

Higienizar significa reduzir a patogenicidade do lodo a níveis que não cause riscos à saúde da população, de acordo as exigências para cada uso (PINTO, 2001). E, envolve processos como a calagem, a compostagem e a incineração.

A calagem (estabilização com cal) consiste no tratamento químico alcalino, usado para elevar o pH nos digestores, remover fósforo no tratamento avançado de efluente e condicionar o lodo para a desidratação mecânica e estabilização química. Devem ser consideradas as características do mesmo lodo: quantidade, tipo, umidade, concentração de sólidos; a dosagem de cal e o tempo de contato e estocagem (BARROS; COSTA; ANDREOLI, 2006).

A eliminação de patógenos e a estabilização da matéria orgânica se dá pela elevação do pH do lodo a níveis maiores ou iguais a 12, produção de amônia e elevação da temperatura, criando um ambiente inóspito para a sobrevivência da maioria dos agentes patogênicos. A cal provoca uma alteração significativa na concentração de sais do lodo aumentando a pressão osmótica, fatores que dificultam a absorção de água e contribuem para a morte das estruturas de resistência. Isto resulta em um lodo esterilizado, já que os patógenos e organismos indicadores de patogenicidade geralmente são eliminados e os demais permanecem inviáveis, garantindo eficiência do processo (BARROS; COSTA; ANDREOLI, 2006).

A digestão anaeróbia tem como objetivo a redução de sólidos voláteis, de patógenos, a estabilização de substâncias orgânica e instáveis naturais, e a redução do volume do lodo por fenômenos de liquefação, gaseificação e adensamento (MIKI; ALÉM SOBRINHO; VAN HANDEL, 2006). É realizada na ausência de oxigênio. Bactérias anaeróbias e facultativas estabilizam a matéria orgânica produzindo gás

carbônico, metano, massa celular e outros micronutrientes, em um tempo médio de retenção de 15 dias, entre 35-55 °C e 60 dias a 20°C.

Na digestão aeróbia do lodo a agitação com ar ou oxigênio mantém as condições aeróbias, durante a estabilização da matéria orgânica. O tempo médio de retenção é de 40 dias a 20°C e de 60 dias a 15°C. É um método simples, de baixo custo em investimentos, que libera odor menos ofensivo e maior estabilidade biológica. Porém, necessita de alto custo operacional, com energia para manter os aeradores funcionando (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HANDEL, 2006), e não representa eficiência para a higienização do lodo.

A compostagem é um processo de tratamento biológico, em que materiais de origem orgânica sofrem ação de vários grupos de microrganismos, num processo de decomposição controlada, exotérmica e bio-oxidativa, em um ambiente úmido, aquecido e aeróbio. Durante a compostagem são gerados dióxido de carbono, água e como produto final obtém-se uma matéria mineralizada, com baixo teor de matéria orgânica, denominada húmus, a qual pode ser usada como fertilizante (FIALHO *et al.*, 2005).

Ela pode ser feita por vários métodos dentre eles: leiras estáticas, aeradas, de revolvimento manual ou de Windrow. Durante o processo de biodegradação a temperatura se eleva naturalmente chegando a 60-65°C nos primeiros dias. A elevação da temperatura é responsável pela eliminação ou redução de patógenos. A compostagem do lodo necessita da introdução de fontes naturais de carbono (palha, podas, bagaço de cana e outros) para equilibrar a relação C/N (20/30) e o processo ocorra em boas condições.

Este processo depende também da aeração feita por revolvimento ou injeção de ar que permite manter os organismos aeróbios e mantém a temperatura ideal na remoção de patógenos; da umidade mantida entre 55 e 65 %, pois, valores menores inibem atividade microbiológica e maiores provocam anaerobiose por tamponamento de interstícios; do pH próximo da neutralidade (entre 6,5-8,5) e de granulometria variando entre 0,5-4,0 cm, permitindo aeração entre os grãos (FIALHO *et al.*, 2005).

Durante o tratamento do lodo, a condição operacional da compostagem, também, pode influenciar na sobrevivência de microrganismos como *E. coli* e *Enterococcus spp.* A falta ou ineficiência da fase termofílica, por exemplo, não garante a biossegurança

do processo (PALUSZAK, BAUZA-KASZEWSKA e LIGOCKA, 2004). Processos mesofílicos necessitam de maior tempo de retenção (SILVA, 2008).

Tratamentos higienizantes do lodo estão sendo usados em diversos países, porém a eficiência destes processos depende da qualidade operacional dos mesmos e da natureza dos patógenos presentes no lodo. E se este lodo for para uso na agricultura deve-se considerar ainda, o baixo padrão de saúde de algumas populações que contribui com a disseminação de agentes parasitários e a quantidade de patógenos ao final do processo (PAULINO; CASTRO; THOMAZ-SOCCOL, 2001).

A incineração é a inativação de substâncias orgânicas presentes no lodo através da combustão, a qual é obtida na presença de excesso de oxigênio (LUDUVICE e FERNANDES, 2001). É um processo complexo e requer grandes investimentos para implantação. Por não ser viável dentro da concepção de sustentabilidade, só deve ser usada no Brasil se o lodo estiver grande quantidade de poluentes orgânicos e metais pesados, ou requerer drástica redução de volume do lodo gerado (PINTO, 2001).

A incineração tem como principal vantagem a redução do lodo de 10% a 20 % do volume total. Durante o processo, os sólidos voláteis são convertidos em gás carbônico e água na presença de oxigênio e, os sólidos fixos são transformados em cinza. Estas são inerteis e estéreis e podem ser usadas como agregados de concreto, aterros e outros (PINTO, 2001).

Todavia, o uso ou disposição inadequada das cinzas de lodo, as quais podem conter metais pesados, pode acarretar na lixiviação destes metais e eles serem absorvidos pelas plantas. Entretanto, o reuso industrial das cinzas provenientes da incineração do lodo vem dando fortes contribuições como matéria-prima na fabricação de cimento para uso na construção civil (FONTES, 2003).

3.3.5 A disposição final do lodo

Muitas são as formas de disposição deste resíduo: aterro sanitário, uso agrícola, *landfarming*, recuperação de áreas degradadas, uso em áreas florestais, reuso industrial das cinzas de lodo, conversão em óleo combustível e disposição oceânica.

A disposição em aterros sanitários consiste em confinar os resíduos sólidos na menor área e volume possíveis, cobrindo-os com a camada de material inerte. Este pode ser do tipo exclusivo ou misto (co-disposto com resíduos sólidos urbanos), porém requer cuidados especiais no projeto, devido a distância de áreas residenciais, a percolação de lixiviado, a drenagem dos gases, o tratamento do chorume e a proliferação de vetores (ANDREOLI; PINTO, 2001; ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

A disposição superficial do lodo no solo (*landfarming*) é feita a uma taxa de aplicação de 60 a 70 cm da superfície, com revolvimento para facilitar a biodegradação e minimizar produção de odores, com a colocação de drenos e coleta e tratamento dos percolados. Como se trata de sistema aberto seu mau planejamento pode levar a contaminação de águas subterrâneas, solo e vegetação (ANDREOLI, VON SPERLING e FERNANDES, 2001). Esta é uma prática ainda pouco difundida no Brasil, pois temos poucas cidades dotadas de estações de tratamento de esgotos (CAMARGO, 2006).

Para Skorupa *et al.* (2006), as características químicas do lodo melhoram as condições físicas do solo e sua capacidade de formar agregados, aumentando com isso, a aeração, a filtração e a retenção de água. O que faz do lodo, um insumo de grande potencial de utilização na recuperação de áreas, com alta deficiência de matéria orgânica, de nutrientes e de atividade biológica.

A recuperação de áreas degradadas associando-se o uso do lodo de esgoto com espécies florestais nativas traz vantagens como: redução do custo com fertilizantes; absorção de nutrientes durante boa parte do ano por plantas perenes; capacidade de imobilizar grandes quantidades de nutrientes e metais pesados pela grande produção e distribuição de carbono orgânico e não associação do produto florestal à alimentação, propiciando baixos riscos à saúde pública. Em plantações florestais, o lodo tratado termicamente implicaria na produção de madeira, aumentando as possibilidades do seu uso (POGGIANI, SILVA e GUEDES, 2006; SKORUPA *et al.*, 2006). No cultivo de eucaliptos a utilização de biossólidos funciona como fonte de alimento para nutrição e desenvolvimento (GUEDES *et al.*, 2006). Incrementando o desenvolvimento destas árvores, principalmente de seus troncos (LIRA; GUEDES; SCHALCH, 2008).

3.3.5.1 O uso agrícola do lodo de esgoto

O uso do lodo como insumo agrícola vem sendo estudado em quase todo mundo, como uma excelente alternativa do seu aproveitamento. Porém, muitas são as limitações no emprego do lodo na agricultura, graças ao seu conteúdo patogênico, o acúmulo de metais pesados e capacidade de produzir odores desagradáveis (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Para Bettiol e Camargo (2006); Ferreira, Andreoli e Prevedello (2002), dentre muitos outros, o uso do lodo na agricultura é a alternativa de destino final que apresenta menores impactos ambientais negativos, desde que sejam observados o conteúdo de metais pesados, a possibilidade de lixiviação do nitrogênio e qualidade sanitária. Desta forma, para utilizá-lo é necessário avaliar a sua qualidade e as características ambientais local, no sentido de evitar possíveis poluições do meio ambiente e riscos à saúde pública (CHAGAS, 2000).

O tratamento dado ao lodo para aplicação em área agrícola deve garantir a redução e/ou eliminação de patógenos, a níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA 375/06, que estabelece critérios para o uso do lodo e seus derivados (BRASIL, 2006). Quanto à presença de agentes patogênicos esta resolução classifica o lodo e seus derivados em classe A e classe B. Assim, os lodos classificados como classe A apresentam ausência de salmonela em 10g de ST; menos que 0,25 ovos de helmintos/g de ST; uma concentração menor que 10^3 NMP de Coliformes Termotolerantes/g de ST e menor que 0,25 UFC ou UFF/g de vírus por ST. Estes lodos poderão ser utilizados em quaisquer culturas respeitando restrições previstas nos seus artigos 12 e 15.

Os lodos classificados como classe B deverão apresentar menos que 10^6 NMP de Coliformes Termotolerantes/g de ST e menos que 10 ovos de helmintos/g de ST e serão restritas ao cultivo do café, silvicultura e culturas para produção de fibras e óleos além daquelas expressas no artigo 15 e inciso XI do artigo 18 (BRASIL, 2006).

Entretanto, não apenas a identificação de patógenos no lodo de esgotos satisfaz a uma análise dos riscos, frente a uma possível contaminação ambiental e humana, pelo uso agrícola do lodo. Devem ser observados, os níveis máximos de sobrevivência destes microrganismos no lodo, a ser disposto, sem causar riscos à saúde pública e ao meio

ambiente (CHAGAS, 2000). Se necessário, o lodo deve passar por um processo eficaz de desinfecção (ANDREOLI; CHERUBINI; FERREIRA, 2002).

A Tabela 05 apresenta a concentração permitida de alguns metais no lodo de esgoto segundo a Resolução CONAMA 375/06 e a Agência Americana, U.S.EPA (1994), para classificação do lodo para fins agrícola.

Tabela 05: Concentração limite de metais encontrados no lodo de esgotos segundo a Resolução CONAMA 375/06 e U.S.EPA – 503/94

Lodo seco, mg/kg		
Metal	Concentração máxima (CONAMA 375/06)¹	Concentração limite (U.S.EPA – 503/1994)²
Bário	1300	---
Cádmio	39	85
Cromo	1000	3000
Cobre	1500	4300
Chumbo	300	840
Níquel	420	420
Zinco	2800	7500

Fonte: ¹BRASIL (2006); ²U.S.EPA (1994).

Os metais pesados estão presentes em pequenas concentrações nos esgotos domésticos. Porém, quando os despejos industriais entram no sistema de captação de esgotos esta concentração pode aumentar significativamente. Estes metais, apesar de está presente, em quantidades traço, é importante no desenvolvimento de alguns seres vivos; são não-degradáveis e podem acumular-se no ambiente (OLIVEIRA, *et al.*, 2006), por tempo indefinido, onde manifestam sua toxicidade a partir da formação de cátions. A fixação final dos metais pesados ocorre nos solos e nos sedimentos (NUVOLARI, 2003; BAIRD, 2002).

Muitas pesquisas vem sendo conduzidas no Brasil evidenciando o uso do lodo como insumo agrícola, de modo a garantir a minimização dos riscos sobre o ambiente e a saúde do ser humano. Em Baueri, SP, a aplicação contínua de lodo de esgotos em solos resultou em maior acúmulo de substâncias húmicas no solo, não alterando as proporções de carbono entre diferentes compartimentos humificados de matéria orgânica do solo (DIAS *et al.*, 2007). Em estudos conduzidos por Guedes *et al.* (2006), usando lodo, desta mesma estação, estabilizado quimicamente, assim como, Silva *et al.* (2001), em Piracicaba, SP, concluíram que o biossólido alcalino diminui a acidez do solo e melhora a sua fertilidade, aumentando a disponibilidade da maioria dos nutrientes, como, Ca, P, Se e Zn, pelo aumento de trocas catônicas efetivas.

Como visto, embora com tantas alternativas de reuso e disposição do lodo produzido em estações de tratamento de esgotos, a escolha deve vir acompanhada de criteriosa análise das características físico-químicas e microbiológicas do lodo, além das condições ambientais locais levando em consideração, na seleção de métodos apropriados no processamento, normas e padrões preestabelecidos.

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO E A GERAÇÃO DE LODO EM FEIRA DE SANTANA-BA

O Município de Feira de Santana possui uma extensão de 1.344 km². Está inserida em uma zona de transição entre o Recôncavo Baiano e os tabuleiros do Nordeste da Bahia. Situado ao Leste do território baiano está a aproximadamente 100 km da capital Salvador e possui uma população estimada em 2007 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE de 571.997 habitantes (BRASIL, 2007).

O clima de Feira de Santana é influenciado pelas fortes características destas zonas: variando de clima úmido a sub-úmido e seco a sub-úmido, respectivamente. A região sofre uma variação de temperatura entre 18°C a 30°C. Seu relevo é ondulado a levemente ondulado e seu solo bastante fértil. É cortada por três bacias hidrográficas: a Bacia do Jacuípe/Paraguaçu (Sudoeste), a Bacia do Pojuca (Nordeste) e a Bacia do Subaé (sudeste), que servem de fonte de abastecimento para as comunidades em seu entorno e como fonte de subsistência através do uso de suas águas na irrigação de culturas hortifrutigranjeiras e da pesca artesanal. Servindo também como corpo receptor de efluentes industriais, de esgotos sanitários e de águas servidas dos municípios que estão inseridas, assim como também, de depósito de resíduos sólidos em alguns pontos. Sua vegetação é rica em plantas forrageiras, frutíferas e ervas medicinais. E, na economia do município destacam-se o comércio, seguido pela agropecuária, indústria e serviços (ARAÚJO, 2000).

O esgotamento sanitário em Feira de Santana não foi assunto de muita preocupação da administração pública municipal até meados da década de 80, de forma que as fontes naturais foram sendo poluídas gradativamente com despejos de esgotos e resíduos sólidos. Esta é uma realidade comum em países latino-americanos, onde a

contaminação da água soma-se ao uso irracional, gerando sérios problemas de saúde pública e ambiental (ARAUJO, 2003).

O primeiro sistema de esgotamento sanitário do município foi implantado em quatro etapas. A primeira (1978-1982) e a segunda (1983-1987) etapas corresponderam à execução de redes coletora na bacia, a construção do interceptor do Riacho Principal e da Estação de Tratamento da Bacia do Rio Jacuípe, bem como ligações de redes a conjuntos habitacionais. Na terceira etapa (1992-1994), os valos de oxidação da estação de tratamento foram substituídos pela Estação de Tratamento Contorno e a quarta etapa (1997-2001) correspondeu a implantação da primeira fase do Sistema de Esgotamento Sanitário da Bacia do Subaé, a Estação de Tratamento Subaé (ARAUJO, 2003).

Hoje, atendendo a sua sede Feira de Santana dispõe de dez estações de tratamento de esgotos administradas pela Empresa Bahiana de Saneamento Ambiental (EMBASA). Estas estações possuem sistema de tratamento de esgoto diferenciado em virtude do número de habitantes atendido. O pré-tratamento dado ao lodo após sua drenagem é a desidratação em leitos e lagoas de secagem, a qual está a maior parte, concentrada na ETE Contorno.

De acordo com a estimativa da população para 2007, do IBGE apenas 46,33%, ou seja, 265.000 habitantes de Feira de Santana são beneficiados com rede de esgoto sanitário. Os demais habitantes são potenciais usuários do sistema de esgotamento existente; utilizam-se de tanque sépticos com sumidouros (ALMEIDA, 2008); descarregam esgotos diretamente nas galerias de drenagem pluvial, ou lançam a céu abertos, poluindo, e contaminando o solo, o aquífero freático, as nascentes e os córregos que alimentam suas bacias hidrográficas (ARAUJO, 2003).

Segundo a Divisão de Esgotamento Sanitário da Unidade Regional de Feira de Santana de Esgotos (UNFE/EMBASA), grande parte da população assistida pelo sistema de esgotamento sanitário, ou seja, 187.510 habitantes que compreende a 70,76% da população tem seu esgoto tratado na ETE Contorno.

3.4.1 A ETE Contorno

A Estação de Tratamento Contorno está localizada nas proximidades do Bairro Pedra do Descanso. Entre as demais estações de tratamento de esgoto, do município é a única que utiliza a tecnologia do lodo ativado.

Esta unidade foi projetada para tratar os esgotos domésticos, porém além destes, recebe resíduos de clínicas, de hospitais, do comércio, de órgãos públicos e de indústrias (ALMEIDA, 2008). Gera em média uma vazão de 156 L/s, em um tempo de detenção total de aproximadamente 4 dias.

A Estação de Tratamento Contorno é constituída de tratamento preliminar; seguido de tratamento primário e secundário através de duas lagoas aeradas funcionando em paralelo; esse conjunto opera em série com uma lagoa de decantação e uma lagoa facultativa. O efluente é lançado no Riacho principal, afluente da bacia de acumulação da barragem Pedra do Cavalo, conforme Figura 03 (ALMEIDA, 2008).

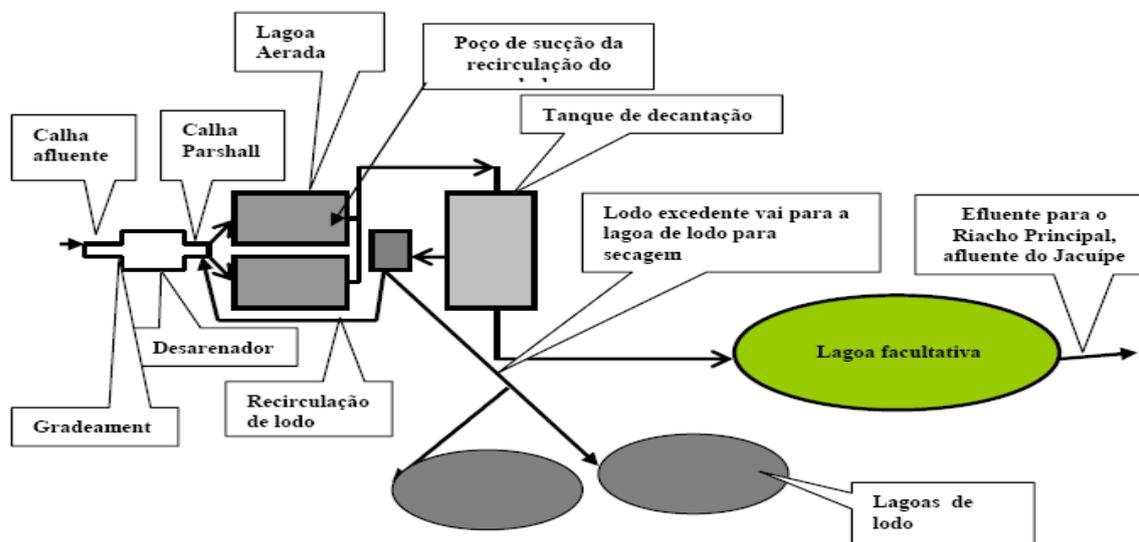


Figura 03: Esquema da Estação de Tratamento de Esgoto Contorno. **Fonte:** Araújo e Gunther (2003).

As operações unitárias da ETE Contorno compreende tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento secundário:

Tratamento Preliminar:

O qual compreende as etapas de gradeamento e desarenação (Figura 4a e 4b). Segundo a UNFE/EMBASA (2009), a limpeza das grades e da caixa de areia é mecânica e realizada a cada dois dias com armazenamento dos resíduos em containeres ou tambores com capacidade para 100L. Após preenchimento destes armazenadores, os resíduos são retirados e encaminhados para o aterro sanitário.

Tratamento Primário e Secundário:

Lagoas de Aeração (Figura 4c) são duas lagoas dotadas de 08 aeradores cada com objetivo de acelerar a oxigenação e oxidação da matéria orgânica (ALMEIDA, 2008). O tratamento consiste no fornecimento de oxigênio livre mantendo os microrganismos aeróbios predominantes no sistema para que consuma a matéria orgânica existente.

Decantador de Lodo com bomba de recirculação (Figura 4d) tem objetivo de reduzir a DBO, os teores de sólidos sedimentáveis e microrganismos no efluente tratado, separando a fase sólida da líquida do esgoto. No decantador ocorre a deposição do lodo ativado e inoculação do esgoto bruto com captação de lodo para recirculação e para desidratação. A recirculação do lodo ativado é em média de 1/5 da sua produção para as lagoas aeradas.

Lagoa Facultativa ou de Sedimentação (Figura 4e) objetiva sedimentação de material suspenso mais fino, inclusive flocos de microrganismos do efluente do decantador. Funciona também, como lagoa de maturação para eliminar organismos patogênicos (ALMEIDA, 2008) e contribui para a redução de DBO, fósforo e nitrogênio. Daqui, o efluente final parte para o Riacho Principal.



Figura 04: ETE Contorno, Feira de Santana, Bahia. (a) Gradeamento (b) Caixa de areia (c) Lagoa de Aeração (d) Decantador de lodo (e) Lagoa de Sedimentação

Tratamento e Disposição final do Lodo: é realizado em leito e lagoa de secagem (Figura 5a e 5b) localizados próximo ao sistema. Diariamente, $15,6\text{m}^3$ do lodo é bombeado para uma lagoa de secagem, localizada próxima ao sistema. E o restante segue para o leito de secagem (ARAUJO, 2003).

Leito de secagem é construído com paredes em alvenaria apresentando as seguintes dimensões: 17,80 x 9,70 x 50 cm. Segundo Almeida (2008), a recirculação total do lodo, para as lagoas aeradas, durante seu estudo, estava fora do padrão operacional recomendado, devido à falta de local para a disposição do lodo excedente. Os leitos se encontravam cheios e a alta umidade não permitia disposição no aterro sanitário, prejudicando o sistema como todo.



Figura 05: Disposição do lodo realizado na Estação de Tratamento de Esgoto Contorno, Feira de Santana, Bahia. (a) Leito de Secagem (b) Lagoa de Secagem

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa trata-se um estudo experimental de natureza descritiva em que se propôs caracterizar os parâmetros físico-químicos e os indicadores microbiológicos do lodo gerado na ETE Contorno do município de Feira de Santana, Bahia, segundo a Resolução CONAMA, 375/06, com a finalidade de classificá-lo, ou não, em biossólido tipo A ou B.

Os trabalhos experimentais foram desenvolvidos nos Laboratórios de Saneamento, Laboratório de Microbiologia de Alimentos e Laboratório de Físicoquímica de Alimentos do Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Os valores pluviométricos de temperatura máxima e mínima e pluviosidade, durante o período da pesquisa, foram coletados na Estação Climatológica da Universidade Estadual de Feira de Santana e são apresentados na Figura 06.

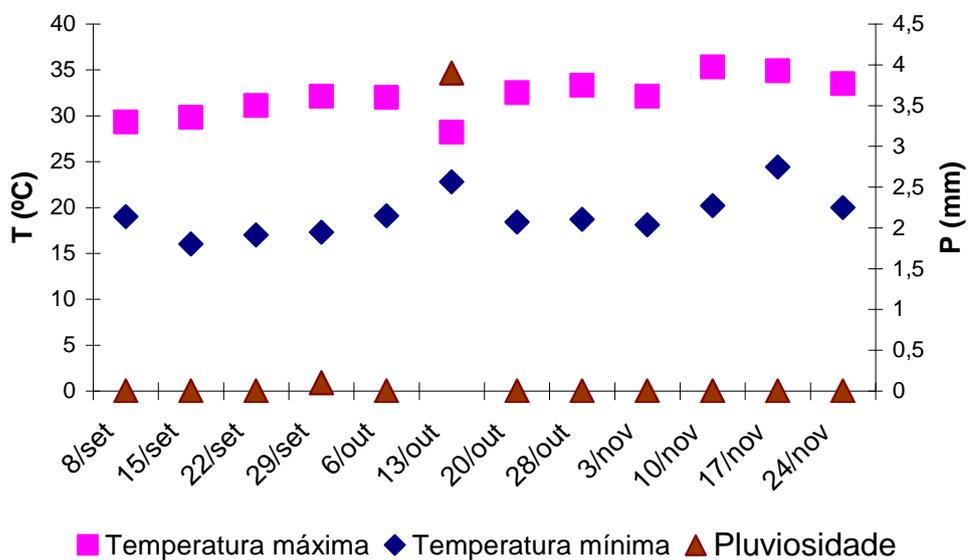


Figura 06: Temperatura Máxima e Mínima e Pluviosidade. Feira de Santana, BA. (set-out/2008)

4.2 CARACTERÍSTICAS DO LODO COLETADO NA ETE CONTORNO

O lodo da ETE Contorno trata-se de um resíduo gerado após digestão aeróbia em decantador secundário, o qual foi disposto em leito de secagem para desidratação ao ar e caracterização durante um período de 77 dias. As temperaturas do resíduo foram registradas em três pontos aleatórios no leito de secagem no momento da coleta, bem como a sua densidade e estão apresentadas na Tabela 06.

Tabela 06: Valores médios de Densidade e Temperatura do lodo gerado na ETE Contorno, Feira de Santana, BA (Set-Nov/2008).

Tempo (dias)	Parâmetros	
	Densidade ¹	Temperatura (°C) ²
0	1,05	26
7	0,73	27
14	0,45	29
21	0,47	28
28	0,55	39
35	0,48	39
42	0,48	40
49	0,4	39
56	0,45	34
63	0,51	36
70	0,51	28
77	0,51	34

¹ $d=m/v$; ² Determinada com termômetro digital e haste metálica, em três pontos no leito de secagem.

O valor da densidade do lodo no dia da descarga foi de 1,05 e da temperatura média do lodo durante o tempo de retenção no leito de secagem variou entre 26°C – 40°C.

4.3 COLETA DE DADOS

Antes da descarga do lodo que foi utilizado na pesquisa, o leito de secagem da ETE Contorno foi drenado e limpo (Figura 07a). No dia oito de setembro de 2008 cerca de 52.000 L de lodo foram despejado no leito de secagem, preenchendo o leito a uma

profundidade de 30 cm (Figura 07b). Conforme aferição, a vazão da ETE Contorno no momento da descarga do lodo foi $Q=196,62$ L/s.



Figura 07: Preparação do leito de secagem para coleta do lodo e esgoto. ETE Contorno, Feira de Santana, BA: a) leito limpo e seco; b) descarga do lodo no leito.

A primeira coleta do lodo foi feita logo após a sua descarga. As coletas subsequentes, como mostra a Figura 08, foram realizadas sempre nas segundas feiras, no mesmo horário, durante 12 semanas, entre os meses de Setembro e Novembro de 2008.

As coletas das amostras de lodo no leito de secagem tiveram como referência a NBR 10007/97, conforme Brasil (2006), de forma a obter uma amostra representativa do lodo para determinação de suas características físicoquímicas e microbiológicas.



Figura 08: Coleta do lodo no leito de secagem da ETE Contorno. Feira de Santana, BA.

A composição amostral foi obtida dividindo inicialmente o leito de secagem em uma rede quadriculada imaginária. De cada quadrícula foi retirada, com auxílio de uma pá coletora, quatro subamostras representativas da área, formando uma amostra composta de 1000g / peso úmido.

Foram utilizados três frascos de vidro estéreis e autoclaváveis de boca larga e dois sacos plásticos autoclaváveis, com capacidade de 1000 ml para as coletas de lodo com densidade diferente de 0,73 e, sacos de 2000 ml para as demais coletas. Estes foram previamente etiquetados com informações sobre a amostra (nº, tipo, vol, preservação, nome do coletador, data, horário da coleta) e após o uso, foram descontaminados em autoclaves e descartados como resíduo comum.

O transporte e o acondicionamento das amostras até os laboratórios para análise foram realizados conforme a norma da NBR 1007/97 (BRASIL, 2006). Em caixas térmicas, as amostras foram acondicionadas a 4°C e transportadas em picapes abertas, até os laboratórios para análise.

Obedecendo a Resolução CONAMA 375/06 para classificação do lodo da ETE Contorno em Biossólido A ou B:

- Para a análise de parâmetros químicos foram coletadas seis amostras compostas, com intuito de se obter a concentração média de cada elemento no lodo ao longo do tempo de detenção no leito de secagem. A distribuição das amostras obedeceu aos intervalos de tempos 0, 7, 14, 21, 49 e 77 dias.
- Para análise de parâmetros físicos (sólidos totais, sólidos voláteis totais e pH), microbiológicos e parasitológicos foram coletadas 12 amostras compostas durante os três (03) meses, conforme o anexo IV. 2.3 da Resolução CONAMA 375/06 de classificação do lodo (BRASIL, 2006). A distribuição das amostras para análises microbiológicas compreendeu os intervalos de tempos 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 e 77 dias.

4.4 ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A análise físico-química do lodo de esgotos compreendeu a determinação da concentração em mg/kg de massa seca de COT, N, P, Na, K, Ca, Mg, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, do pH, da umidade e dos teores sólidos totais e sólidos voláteis totais, conforme American Water and Wastewater Association – AWWA (1998). As amostras para análises físico-químicas no laboratório foram homogêneas e fracionadas em quatro partes, conforme a Figura 09.

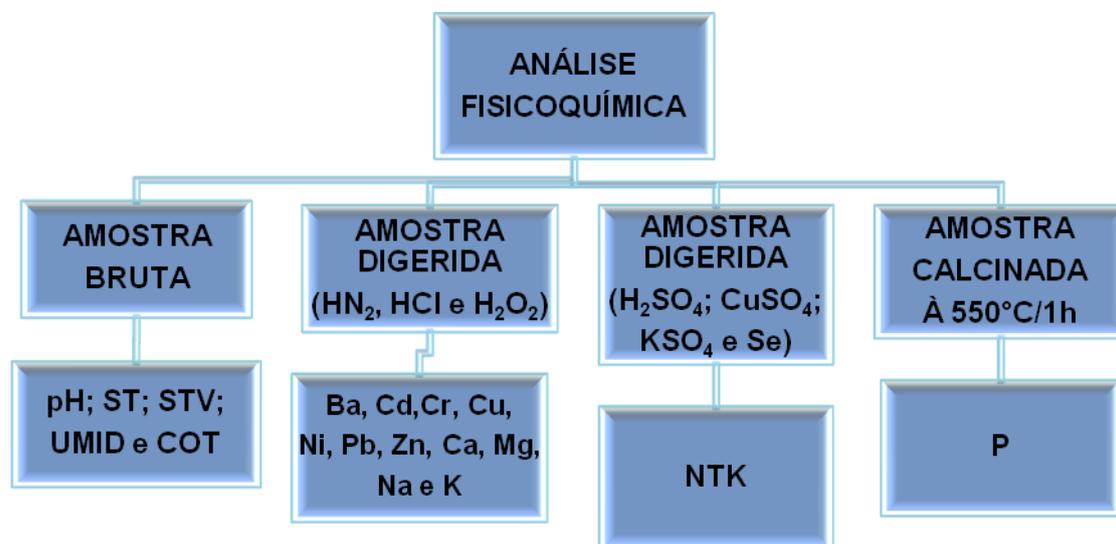


Figura 09: Tratamento das amostras de lodo de esgoto para análises físico-químicas.

A determinação dos parâmetros físico-químicos do lodo coletado foi conforme:

- pH: em suspensão aquosa 1:5 (m/v) (HANDA; NOGUEIRA, 2000).
- Sólidos Totais (ST) e os Sólidos Totais Voláteis (STV): método gravimétrico G245, (AWWA, 1998).
- Umidade: a partir do teor de Sólidos Totais usando a Equação 02:

$$\% \text{ Umidade} = 100 - \%ST \quad (02)$$

- Carbono Orgânico Total (COT): a partir dos valores de Sólidos Voláteis Totais usando o fator de correção proposto por Pereira *et al.* (2006), $f = 1,86$. A equação de correção encontra-se descrita abaixo.

$$COT = \frac{SVT}{1,86} \quad (03)$$

- Nitrogênio: método do nitrogênio Kjeldahl (oxidação úmida) segundo AWWA (1998) com algumas modificações propostas por Kiehl (1986).

O Nitrogênio Kjeldahl é um método titulométrico usado na determinação do nitrogênio, orgânico e amoniacal, em amostras inorgânicas, sólidas ou líquidas. Baseia-se na digestão da amostra por aquecimento com ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), na presença de um catalisador. Para a determinação do nitrogênio no lodo foram usados como catalisadores: Sulfato de Cobre (CuSO₄), sulfato de Potássio (KSO₄) e selênio (Se). A adição de catalisadores foi utilizada para acelerar a digestão, diminuindo o tempo gasto pelo método. O método compreendeu três etapas: digestão, destilação e titulação.

(1) Digestão - o nitrogênio orgânico é reduzido a amônio, o qual é retido em solução, na forma de sulfato de amônio. Esta fase procedeu-se da seguinte maneira: 0,55g da mistura catalítica contendo 19,20g (KSO₄), 0,80g (CuSO₄) e 1,82g de Se foi embalada junto a 0,1g de lodo em papel filtro e colocada no fundo em tubos digestores. Em cada tubo foi adicionado 5 mL de H₂SO₄ concentrado. Na placa digestora a temperatura do digesto foi controlada e lentamente aumentada até uma temperatura de 350°C. A digestão se completou quando o líquido permaneceu translúcido. Um branco foi preparado usando apenas mistura catalítica e H₂SO₄ concentrado.

(2) Destilação - o amônio foi deslocado por adição de uma base forte (NaOH a 40%) em um destilador microkjeldahl.

(3) Titulação – a determinação da amônia digerida, após destilação com vapor foi realizada usando uma solução de ácido bórico a 4%. O excesso da amônia foi determinado por titulometria com uma solução padrão de ácido hidrocloreídrico, fator 0,98 na presença de uma mistura de indicadores (verde bromocressol e vermelho metila).

O nitrogênio foi calculado conforme a Equação 04.

$$N_{\text{mg/kg}} = \frac{\text{vol HCl}_{(ml)} \times f_{\text{HCl}} \times n_{\text{HCl}} \times PeN}{\text{massa total}_{(g)}} \quad (04)$$

Onde:

f = fator do ácido

n = normalidade do ácido

$Pe N$ = peso específico do Nitrogênio

Observa-se que as análises de pH, ST, SVT, Umidade, COT e N foram realizadas em triplicata.

Os teores de metais pesados, do sódio, do potássio, do cálcio e do magnésio foram determinados após digestão das amostras do lodo em quatro replicatas, em meio ácido (HN₂, HCl e H₂O₂), pelo método EPA 3050B/1996. As concentrações foram determinadas por Espectrometria de Absorção Atômica (AAS), Avanta GBS Plus, conforme o método EPA 7000B/2007 (U.S.EPA, 1996; 2007). No apêndice A encontra-se as condições analíticas da AAS.

O Fósforo (P) foi determinado na forma de fosfato por espectrofotometria, conforme o método do ácido ascórbico (AWWA, 1998). Devido a limitações na metodologia, apenas foi realizada uma determinação do fósforo por amostra.

4.5 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA E PARASITOLÓGICA

Nesta fase, foram determinados no Laboratório de Qualidade de Alimentos da UEFS, os indicadores de contaminação fecal: *Salmonella spp.*, Coliformes Fecais, *Enterococcus spp.* e ovos de helmintos.

O isolamento e a identificação de *Salmonella spp.* foram realizados baseando-se na norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB – L 5.218 e AWWA (1998), com modificações. As amostras de lodo foram inoculadas diretamente em meios de pré-enriquecimento, Caldo Lactosado e Água Peptonada Tamponada por 18 a 24h, a 35°C e, posteriormente, inoculadas em meio de enriquecimento Caldo Rappaport tetratonato à 35°C. Após 24 h, foram realizadas estrias de esgotamento na superfície das placas de Petri, em duplicatas, contendo os meios de cultura: Rambach, Verde Brilhante, Entérico de Hectoen e Xilose Lisina Desoxicolato, por 18 a 24 h a 35°C. Provas sorológicas foram realizadas para

confirmação das placas que apresentaram colônias com características positivas. Os resultados foram expressos em presença ou ausência/g de ST como descrito pela Resolução CONAMA 375/06.

A determinação do Número Mais Provável (NMP) de **Coliformes fecais** por tubos múltiplos foi realizada baseando-se na norma técnica CETESB – L5218 e AWWA, 1998.

Os resultados para Coliformes fecais foram expressos em NMP de g/kg de ST. O Cálculo da Estimativa da Densidade Bacteriana foi realizado usando o Bacteriological analytical Manual on line: Most probable Number for serial dilutions, proposto por Blodgett (2002), devido a necessidade de realizar um grande número de diluições. Foram usados, limite de confiança de 95%. A transformação em base seca (g/kg de ST) foi determinada pela Equação 05:

$$NMP_{(mg/Kg)} = \frac{NMP_{(mL)}}{\%ST} \quad (05)$$

O NMP de *Enterococcus spp.* foi determinado pela técnica de tubos múltiplos, usando a norma técnica L5-205 do CETESB (1984) b (HIGASKINO *et al.*, 2000). Foram necessárias diluições do lodo até uma proporção de 10^{-16} . A inoculação das amostras, a partir de cada diluição foi usando um (1) mL de inócuo numa série de 5 tubos contendo Caldo Esculina Azida. Os tubos que apresentaram alteração da cor do caldo para o tom marrom foram considerados positivos. A expressão dos resultados, o cálculo da estimativa bacteriana e a transformação em base seca foi semelhante ao realizado para Coliformes fecais.

A determinação do número e viabilidade de **ovos de helmintos** foi realizada por diluição, sedimentação, centrifugação e contagem em câmara de Sedwick-Rafter (YANCO, 1987) com algumas modificações proposta por Coelho, Carvalho e Araújo (2002). Para obtenção da concentração expressa em g/kg de ovos de helmintos, foi utilizado o cálculo proposto por Silva *et al.* (2007), cuja Equação 06 é:

$$n^{\circ}ovos (g/ms) = \frac{n^{\circ}ovos \times volume\ final}{volume\ câmara (mL) + ST} \quad (06)$$

4.6 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos, a partir da pesquisa experimental, foram ordenados e classificados em categorias de dados físico-químicos e dados microbiológicos. Para a realização das análises físico-químicas foram aplicadas medida de tendência central (média aritmética) e medidas de variação (desvio padrão). Os resultados foram descritos e confrontados com a literatura.

Os valores obtidos com as análises microbiológicas passaram por dois tratamentos: primeiro, foram correlacionados com parâmetros físico-químicos, utilizando-se de análise estatística descritiva com a finalidade de avaliar a resistência de microrganismos no lodo da ETE Contorno e a eficiência do tratamento dado (secagem ao ar por 77 dias em leito), em relação qualidade do produto obtido, ao longo do tempo. E, posteriormente foram comparados com os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 375/06, para classificação ou não em lodo classe A ou B. Aos dados parasitológicos foram adotados medida de frequência.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DA ETE CONTORNO

Nas Tabelas 07, 08 e 09, são expressos os valores médios com respectivos desvios padrão, dos parâmetros físico-químicos, obtidos das análises do lodo, nos tempos 0, 7, 14, 21, 49 e 77.

A concentração média do COT, encontrada aos 77 dias de retenção no lodo igual a 274 g/kg de ST, está entre as médias apresentadas por Guedes *et al.* (2006), 172,26 g/kg; Agustini e Onofre (2007), 152 g/kg e Silva *et al.* (2006), 385,4 g/kg.

A concentração média inicial do N igual a 43,1 g/kg diferencia de Guedes *et al.*, (2006) que apresentou concentração do elemento de 18,66 g/kg e Vaz (2000) com 26 g/kg, mas se aproxima de Silva *et al.* (2006) com 68,2 g/kg.

Entretanto, o aumento da concentração do nitrogênio, até o final do período de retenção do lodo no leito de secagem, pode está relacionada com a perda d'água durante o pré tratamento do lodo e concentração do elemento na massa seca.

Limitações na determinação do fósforo impediram a sua análise em triplicata. Entretanto, a Tabela 07, mostra uma tendência no aumento da concentração desde elemento, no final do período de retenção do lodo.

Tabela 07: Concentração de COT e nutrientes no lodo da ETE Contorno (média \pm desvio padrão), nos tempos 0, 7, 14, 21, 49 e 77 dias de retenção em leito de secagem.

Parâmetros ¹	Tempo (dias)					
	0	7	14	21	49	77
COT (g/kg)	366 (\pm 30)	360 (\pm 6)	344 (\pm 4)	306 (\pm 12)	269 (\pm 3)	274 (\pm 16)
N (g/kg)	43,1 (\pm 8,2)	170,2 (\pm 10,9)	255,3 (\pm 8)	293,2 (\pm 10,7)	531 (\pm 11,3)	591,5 (\pm 50,4)
P (g/kg)	9,6 (0,0024)	7,5 (0,03)	7,5 (0,023)	7,9 (0,057)	6,7 (0,159)	11,1 (0,195)
Ca (g/kg)	\pm 0,0001 (0,089)	(\pm 0,0001) (0,093)	(\pm 0,0003) (0,0475)	(\pm 0,0002) (0,0137)	(\pm 0,0037) (0,0413)	(\pm 0,007) (0,0502)
Mg (g/kg)	(\pm 0,0037) (0,41)	(\pm 0,0028) (0,12)	(\pm 0,007) (0,0654)	(\pm 0,0035) (0,045)	(\pm 0,0025) (0,5)	(\pm 0,0073) (0,0424)
Na (g/kg)	(0) (0,196)	(\pm 0,0062) (0,14)	(\pm 0,0024) (0,06)	(\pm 0,0014) (0,0554)	(\pm 0,0009) (0,074)	(\pm 0,0011) (0,0596)
K (g/kg)	(\pm 0,001) (0,196)	(\pm 0,001) (0,14)	3(\pm 0,0009) (0,06)	(\pm 0,0009) (0,0554)	(\pm 0,0015) (0,074)	(\pm 0,008) (0,0596)

¹ valores obtidos segundo AWWA, 1998. ² valores obtidos sem repetições.

A concentração final do P da ETE Contorno de 11,1 g/kg, se assemelham com os apresentados por Guedes *et al.* (2006) que apresentou 9,4 g/kg de P; Vaz (2000) com 9,5 g/kg e Silva *et al.* (2006) que apresentou uma média de concentração de 12,9 g/kg.

O conteúdo do P do tratamento do esgoto da ETE Contorno, provavelmente, seja derivado de resíduos de detergentes e outros produtos utilizados para limpeza doméstica que utilizam fosfatos na sua composição, já que se trata de um lodo proveniente de estação que trata resíduo doméstico (MAGALHÃES, 2008; VON SPERLING, 2002).

As diferenças nas concentrações de N e P entre os autores estudados podem está relacionadas a origem do esgoto, aos diferentes sistemas de tratamento de esgoto, e a eficiência do tratamento (WANG *et al.*, 2006; WONG *et al.*, 2001). Segundo Von Sperling (2002) e Além Sobrinho (2002), durante o tratamento do esgoto, no Sistema Lodo Ativado com aeração prolongada, parte destes elementos se concentra na massa seca do lodo, como mostrou o lodo da ETE Contorno. Por outro lado, Miki e Andrigueti e Além Sobrinho (2002) afirmam que o aumento do pH, em lodos tratados com cal virgem, levam a perdas de N por volatilização de amônia, assim como, redução do P solúvel por precipitação, o que pode está associado às diferenças nas concentrações destes nutrientes entre o lodo da ETE Contorno com o lodo estudado por Vaz (2000) e Guedes (2006).

A concentração do Ca aumentou, significativamente, até a última semana de retenção do lodo no leito de secagem, apresentando aos 77 dias uma concentração média igual a 0,195 g/kg. Esse valor é muito abaixo quando comparados com os valores obtidos por Guedes *et al.* (2006), 86,4 g/kg; Silva *et al.* (2006) 24,8 g/kg e, Vaz (2000), 95 g/kg, pois, exceto Silva *et al.*, 2006 estes analisaram o lodo proveniente de estabilização química utilizando cal extinta. O aumento do cálcio observado na ETE Contorno em função da idade do lodo pode ser atribuído a decomposição de sedimentos presente no leito de secagem com a diminuição do pH.

Os elementos Na, K e Mg, sofreram redução na concentração até o tempo 14 dias, entretanto, a partir dos 21 dias de retenção do lodo no leito de secagem estes valores tenderam a uma estabilização, não alterando, de maneira significativa, a concentração final. A concentração final destes elementos, no lodo da ETE Contorno, foi respectivamente, 0,042 g/kg; 0,06 g/kg e 0,05 g/kg. Estes valores são diferentes dos apresentados pelos autores estudados, no entanto, percebe-se que, de maneira geral, o lodo de esgoto é pobre destes elementos. Para uso na agricultura, ao lodo pesquisado

deve ser acrescido de uma fonte mineral de K, para suprir as necessidades deste para as plantas (GUEDES *et al.*, 2006).

O lodo da ETE Contorno é rico em Carbono, matéria orgânica e nutrientes como N e P, e pode ser usado como fertilizante no desenvolvimento dos vegetais como propõe Wang *et al.*(2006) e Wong *et al.*(2001). Segundo Deschamps e Favaretto (2001), como adubo orgânico normalmente aumenta o teor de matéria orgânica do solo contribuindo para melhoria das suas características químicas, físicas e biológicas.

Exceto o Zn, todos os metais estudados tiveram suas concentrações diminuídas ao longo dos 77 dias de retenção do lodo no leito de secagem. Os valores iniciais das concentrações de Cd (traços), Cr (3,9 mg/kg de ST), Cu (4,6 mg/kg de ST), Pb (5,2 mg/kg de ST), Ni (3,5 mg/kg de ST) e Zn (5,9 mg/kg de ST) são inferiores a concentração permitida pelo CONAMA, 375/06 (Tabela 08). Como os metais não são degradáveis, esperávamos uma concentração constante em função do tempo de permanência do lodo no leito de secagem, no entanto, esses valores variaram e este comportamento pode estar associado às limitações no método de análise. Durante a estabilização do lodo, os metais são metabolizados pelos microrganismos por adsorção ou quelação e desta forma, associados as cadeias carbônicas, a atomização dos metais é dificultada e conseqüentemente, sua detecção no aparelho fica limitada.

Tabela 08: Concentração de metais pesados no lodo da ETE Contorno (média \pm desvio padrão), nos tempos 0, 7, 14, 21, 49 e 77 dias de retenção em leito de secagem.

Parâmetros ¹	Tempo (dias)					
	0	7	14	21	49	77
Cu (mg/kg)	4,6(\pm 0,1)	3,9(\pm 0,1)	1,8(\pm 0,05)	1,9(\pm 0,07)	2,5(\pm 0,1)	1,8(\pm 1,1)
Zn (mg/kg)	5,9(\pm 0,6)	34,3(\pm 2,1)	12,2(\pm 0,8)	14(\pm 0,6)	14(\pm 1,6)	12,6(\pm 4,1)
Pb (mg/kg)	5,2(\pm 0,2)	1,9(\pm 0,01)	0,8(\pm 0,005)	0,8(\pm 0,4)	1,4(\pm 0,5)	0,6(\pm 0,5)
Cd (mg/kg)	Traços	Traços	Traços	Traços	Traços	Traços
Ni (mg/kg)	3,5(\pm 0,02)	0,8(\pm 0,02)	0,3(\pm 0)	0,4 (\pm 0,1)	0,4(\pm 0,005)	0,3(\pm 0,1)
Cr (mg/kg)	3,9(\pm 0,2)	1,3(\pm 0,045)	0,4(\pm 0)	0,5(\pm 0,03)	Traços	Traços

¹ valores obtidos segundo AWWA, 1998. Traços - indicam valores abaixo do limite detectável pelo método utilizado.

Comparando os resultados da concentração de metais no lodo da ETE Contorno com as concentrações obtidas em lodos de diferentes ETE no Brasil (GUEDES *et al.*, 2006; AGUSTINI e ONOFRE, 2007; OLIVEIRA, 2006) e demais países (FUENTES *et al.*, 2008; KARVELAS, KATSOYANNIS e SAMARA, 2003; WANG *et al.*, 2008;

WONG *et al.*, 2001), através dos dados apresentados na Tabela 09, observou-se que, de forma semelhante, o estudo de Guedes *et al.* (2006) encontrou traços de Cd em todas as suas amostras coletadas. Todavia, os demais autores encontraram uma concentração desse metal inferior a permitida pelas legislações exigentes.

Maiores diferenças foram encontradas nas concentrações Cr, Cu, Pb, Ni e Zn, que podem, também, ser atribuídas a origem do esgoto e eficiência do tratamento (WONG *et al.*, 2001), e, às características do esgoto de cada região, as quais podem ser influenciadas pela mistura do esgoto de indústrias, ao esgoto doméstico (SANTOS, 2003).

Tabela 09: Comparação da concentração (mg/kg de ST) de Metais Pesados da ETE Contorno com diferentes estudos no Brasil e demais países

Fontes	Concentração Média dos Metais no lodo de esgoto (mg/kg de ST)					
	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
Brasil (2006)¹	39	1000	1500	300	420	2800
ETE Contorno	Traços	3,9	4,6	5,2	3,5	5,9
Guedes <i>et al.</i> (2006)²	Traços	268	900	ND	222	1.632
Oliveira (2006)³	1,32	195,02	391,67	132,08	239,44	864,43
Agustini; Onofre (2007)⁴	5,0	68,78	123,45	143,05	89,76	1.256,09
Fuentes <i>et al.</i> (2008)⁵	1,138	51	139	85,5	16,4	408,2
Wang <i>et al.</i> (2008)⁶	5,06	48,85	105,08	41,19	25,32	1872
Wong <i>et al.</i> (2001)⁷	3,65	87,6	648	49,1	202	1301
Karvelas; Katsoyannis; Samara (2003)⁸	10	370	1200	330	300	4.500

¹Resolução CONAMA 376/06 – limites máximos permitidos; ²Lodo oriundo da digestão aeróbia (decantação) e anaeróbia (primário e secundário) seguido de condicionamento com Ca(OH)₂ e FeCl₃ e secagem ao ar; ³Lodo Ativado gerado na ETE Ribeirão Preto-SP; ⁴Lodo gerado na ETE Pato Branco, Paraná; ⁵ Lodo Ativado, adensado e desaguado - Espanha; ⁶ Lodo seco ao ar - China; ⁷Lodo Ativado, desaguado - Hong Kong. ⁸Lodo digerido e desaguado – Norte da Grécia. Traços – menor que limite de detecção. ND – não determinado.

O baixo teor de metais encontrados no lodo da ETE Contorno é indicador para a sua reutilização agrícola, entretanto, Chagas (2000) afirma que são necessários estudos sobre a dinâmica destes íons metálicos no solo aplicado. Os quais podem ser auxiliados por análises de extração sequencial de metal (FUENTES *et al.*, 2008).

A Figura 10 apresenta a distribuição temporal de ST, STV e Umidade no lodo da ETE Contorno. Como esperado, os valores de ST foram aumentando em função do tempo de retenção do lodo no leito de secagem. Com 49 dias de retenção o lodo apresentou uma concentração de 89,3% de ST. Entretanto, aos 28 dias de retenção, o lodo já havia atingindo uma concentração de 90,3% de ST. Segundo Brasil (2006), com este teor de ST o lodo de esgoto reduz a capacidade de atração de vetores de doenças como insetos e roedores.

A queda da umidade do lodo (Figura 10) foi expressiva até os 28 dias de retenção, com perda de cerca de 90% da água por infiltração e evaporação. Entretanto com 21 dias de retenção no leito, o lodo apresentava apenas 36,3% de umidade. Nesta condição, a Resolução CONAMA, 375/06 recomenda a remoção deste lodo, do leito de secagem, para tratamento e/ou destino final (BRASIL, 2006).

A perda da umidade do lodo, conseqüente da secagem ao ar, diminui os impactos econômicos e ambientais causados pela estação de tratamento de esgoto, pelo simples fato de reduzir o volume do lodo gerado (HONG *et al.*, 2008), podendo ser retirado para tratamento ou deslocado para aterro sanitário.

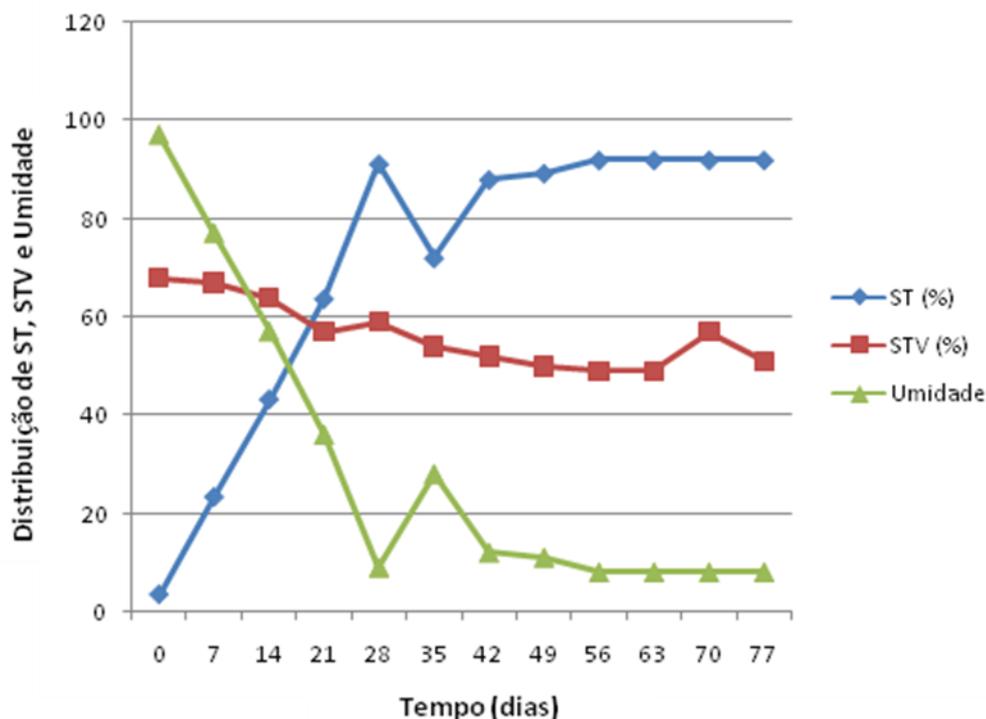


Figura 10: Distribuição temporal de ST, STV e Umidade no lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA (Set-Nov/ 2008).

A relação de Sólidos Totais Voláteis e Sólidos Totais a partir dos 49 dias de retenção apresentou igual a 0,60 (Tabela 10). Este valor é definido pela Resolução CONAMA, 375/06 (BRASIL, 2006), como ideal no processo de estabilização do lodo, para fins agrícola. Esta relação supõe início do processo de estabilização da matéria orgânica e significa diminuição da capacidade do lodo em produzir odores ofensivos. Este lodo estabilizado é característico de lodo gerado em estações que operam sistema de lodo ativado com aeração prolongada e, portanto, não necessita de digestão posterior.

Tabela 10: Parâmetros físico-químicos do lodo da ETE Contorno (média \pm desvio padrão), nos tempos 0, 7, 14, 21, 49 e 77 dias de retenção em leito de secagem.

Parâmetros ¹	Tempo (dias)					
	0	7	14	21	49	77
pH	6,8(\pm 0,12)	6,2(\pm 0,06)	6,7(\pm 0,06)	5,8(\pm 0,06)	5,6(\pm 0,06)	5,5(\pm 0)
ST (%)	3,4(\pm 0,1)	23,3(\pm 0,6)	43,2(\pm 3,1)	63,7(\pm 0,6)	89,3(\pm 1,2)	92(\pm 0,0)
STV (% de ST)	68(\pm 0,6)	67(\pm 1,2)	64(\pm 0,8)	57(\pm 2,3)	50(\pm 0,6)	51(\pm 3,1)
STV/ST	20	2,9	1,5	0,9	0,6	0,6
UMIDADE (%)	96,6(\pm 0,07)	76,7(\pm 0,8)	56,8(\pm 0,07)	36,3(\pm 1,47)	10,3(\pm 0,68)	8(\pm 0,6)

¹ valores obtidos segundo AWWA, 1998.

O valor do pH de 6,8 (Tabela 10), foi obtido no tempo zero, logo após descarga do lodo no leito de secagem. Este valor se aproxima aos valores de pH do efluente na saída das lagoas aeradas (ALMEIDA, 2008). Este mesmo autor avaliando as características físico-químicas dos efluentes da ETE Contorno, mostrou que o pH, durante o processo de tratamento do esgoto, permanece em uma faixa próxima ao neutro, com pouca variação entre 6,7 e 7,6, faixa ótima para formação dos flocos biológicos no sistema de Lodo Ativado. No entanto, durante a secagem do lodo no leito este valor reduziu para 5,5, até o final do período de retenção.

A diminuição do pH até o final do tempo de retenção do lodo no leito de secagem deve-se a processo de oxidação biológica que ocorre durante a nitrificação com consumo de oxigênio livre e conseqüente redução de pH (COSTA; FERREIRA; VAN-HAANDEL, 2007; GUEDES *et al.*, 2006; MACHADO *et al.*, 2006).

Para Fialho (2005), a faixa de pH entre 5,5 e 8,5 de um determinado material é considerada ótima para o uso deste em processo de compostagem. Na prática, o valor do pH torna-se relevante quando se conhece a textura e a estrutura do solo. A absorção dos

nutrientes pela raiz capilar depende do pH da água, do solo e da espécie vegetal, e este deve estar entre valores da neutralidade, 6,5 e 8,4 (SOUZA *et al.*, 2005).

Os valores iniciais de pH demonstram que o lodo ao ser descarregado no leito de secagem possui as mesmas características que o efluente oriundo das lagoas de aeração. Entretanto a variação das médias obtidas durante todo estudo depende não somente das condições climáticas locais (temperatura ambiente, solarização e pluviosidade), como também de processos biológicos que ocorrem durante a desidratação do lodo.

5.2 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO DA ETE CONTORNO

5.2.1 A análise de parâmetros microbiológicos

A Figura 11 apresenta a sucessão temporal da concentração logarítmica de bactérias no lodo de esgoto da ETE Contorno em função da temperatura e umidade do lodo e a Tabela 11, a sua relação com a classificação do lodo para uso na agricultura, de acordo a Resolução CONAMA, 375/06.

Verifica-se que, a redução da umidade do lodo até o 14º dia é acompanhada pela diminuição de um ciclo log ou 90% da concentração inicial de *Enterococcus spp.*, no leito de secagem. A mesma proporção de Coliformes fecais foi reduzida até o sétimo dia. No entanto, a diminuição continuada dos teores de umidade até o 28º dia (8,7%), não influenciaram na diminuição dos níveis destes microrganismos na mesma proporção das primeiras semanas, verificando-se um aumento destes microrganismos neste mesmo período. A elevação da umidade aos 35 dias pode ter contribuído para manutenção de Coliformes fecais e elevação da concentração de *Enterococcus spp.* em dois ciclos logarítmicos. Após este período a redução dos teores de umidade (6,3%), pode ter provocado a redução na concentração de dois ciclos logarítmicos de Coliformes fecais mas, com pouca influência sobre os *Enterococcus spp.*, que continuou aumentando durante o período. A manutenção dos microrganismos até o final da pesquisa pode ter

vido devido a elevação da umidade do lodo aos 70 dias de retenção, que pode ser justificada pela ocorrência de chuvas em dias anteriores.

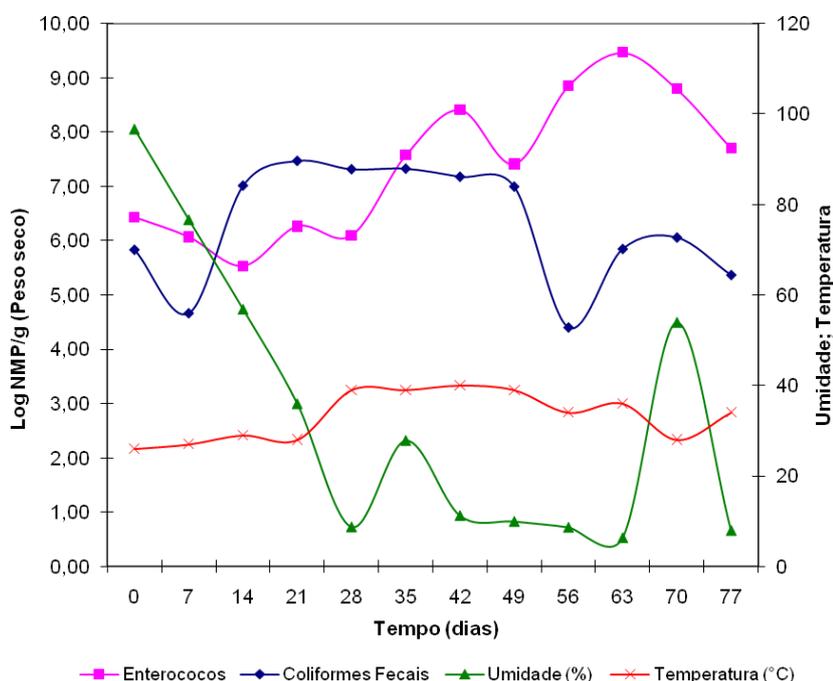


Figura 11: Sucessão temporal da concentração logarítmica de bactérias no lodo da ETE Contorno em função da temperatura e da umidade do lodo. Feira de Santana, BA (Set-Nov/2008).

A variação inicial da temperatura registrada até o 21° dia (26-29°C) pode ter contribuído para a manutenção dos *Enterococcus spp.* no lodo, mas, pouco influenciou no desenvolvimento de Coliformes fecais, naquele período. Entre o 28° e 49° dias de retenção a temperatura registrada (39 a 40°C) pode ter influenciado na manutenção de Coliformes fecais numa concentração de sete logNMP/g de ST. Uma queda da temperatura até 34°C aos 58° dia representou a diminuição de dois ciclos logarítmicos de Coliformes fecais. Entretanto, o aumento de temperatura a 36°C, associada ao aumento da umidade do lodo para 53,9%, dias seguintes, pode ter influenciado na presença destas bactérias até o final da pesquisa.

Um aumento na concentração de dois ciclos logarítmicos dos *Enterococcus spp.* até o 42° dia de retenção do lodo no leito de secagem, mostra que a temperatura de 39 a 40°C, também favoreceu o desenvolvimento e a manutenção dessa bactéria, que se manteve em nível crescente, mesmo com a queda desta temperatura.

A concentração de Coliformes fecais no lodo da ETE Contorno sofreu variações durante toda a pesquisa (Figura 11), todavia, a sua concentração final ($2,33 \times 10^5$ NMP/g de ST) mostra que as condições adversas de temperatura, umidade, não foram determinantes na inativação destes microrganismos durante o período que o lodo foi submetido ao desaguamento, no leito de secagem, porém influenciaram no desenvolvimento e crescimento destas enterobactérias. Como termotolerantes, o grupo dos Coliformes fecais se desenvolveram bem à temperaturas mesofílicas (30 - 40°C) como também foi observado nos estudos de Lang e Smith (2008) e Magalhães (2008).

As bactérias do gênero *Enterococcus spp.* se adaptaram às condições adversas de temperatura e umidade do lodo, aumentando um ciclo logarítmico da sua concentração inicial até o final dos três meses de disposição do lodo no leito de secagem (Figura 11). Segundo Costa, Vaz-Pires e Bernardo (2006), a adaptação de espécies de *Enterococcus spp.*, inclusive das espécies *E. fecalis* e *E. faecius* é devida à riqueza de nutrientes presentes tanto no esgoto, quando no lodo, assim como as relações ambientais local, o que favorecem o desenvolvimento destes microrganismos.

A concentração final de *Enterococcus spp.* de $5,03 \times 10^8$ NMP/ g de ST, pode ser indício da necessidade da inclusão deste gênero na classificação e monitoramento do lodo para fins agrícola, pois segundo Paluszak, Bauza-kasewaka e Ligocka (2004), a persistência destes microrganismos às condições adversas pode estimar o risco do uso do lodo para saúde pública, quando não tratado de forma eficiente.

A concentração inicial de Coliformes fecais e de *Enterococcus spp.* é semelhante, à concentração do lodo estudado por Vilanova e Blanch (2005). No entanto, a concentração final das bactérias do grupo Coliformes, nas condições dessa pesquisa sofreu variações, porém não foi alterada até o final do tempo de retenção do lodo no leito de secagem. Já a concentração de *Enterococcus spp.* apresentou um aumento até o final da pesquisa. Vilanova e Blanch (2005) perceberam, nas condições de seu estudo, que apesar de apresentar semelhanças na concentração inicial entre estas enterobactérias, as bactérias do grupo Coliformes tendem a reduzir mais com o tratamento do lodo em comparação as do grupo dos Enterococos. Mas, um indício da necessidade de inclusão deste indicador no monitoramento do lodo.

Tabela 11: Sucessão temporal da concentração de *Enterococcus spp.*, Coliformes fecais e *Salmonella spp.* no lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA, Set-Nov/2008.

Tempo (dias)	Concentração (g de ST)		
	<i>Enterococcus spp.</i> (NMP)	Coliformes fecais (NMP)	<i>Salmonella spp.</i> (25g)
0	2,72 x 10 ⁶	6,75 x 10 ⁵	Presença
7	1,17 x 10 ⁶	4,63 x 10 ⁴	Presença
14	3,42 x 10 ⁵	1,02 x 10 ⁷	Presença
21	1,85x 10 ⁶	2,89 x 10 ⁷	Presença
28	1,25 x 10 ⁶	2,05 x 10 ⁷	Presença
35	3,75x 10 ⁷	2,10 x 10 ⁷	Presença
42	2,60 x 10 ⁸	1,50 x 10 ⁷	Presença
49	2,60 x 10 ⁷	9,88 x 10 ⁶	Presença
56	7,03 x 10 ⁸	2,51 x 10 ⁴	Presença
63	2,95x 10 ⁹	7,12 x 10 ⁵	Presença
70	3,12 x 10 ⁸	5,69 x 10 ⁵	Presença
77	5,03 x 10 ⁸	2,33 x 10 ⁵	Presença
Média	1,91 x 10 ⁷	1,55 x 10 ⁶	-----
*Classe B	NM	<10 ⁶	NM
*Classe A	NM	<10 ³	Ausência

*Limite máximo permitido para classificação do lodo para fins agrícola segundo Brasil (2006). NM - não mencionado

A concentração de Coliformes fecais no lodo da ETE Contorno, após 77 dias no leito de secagem, encontra-se dentro dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA, 375/06 ($< 6 \log_{10}$), (Tabela 11), para classificação do lodo em classe B, para uso na Agricultura. O que diferencia dos estudos de Agustini e Onofre (2007) que classifica seu lodo como classe A, mas, se assemelha aos estudos de Lira, Guedes e Schalch (2008).

As bactérias do gênero *Salmonella spp.* permaneceram presentes em todo o período da pesquisa, mostrando-se adaptadas às condições ambientais desfavoráveis. O gênero *Salmomella spp.* é capaz de se multiplicar fora de seus hospedeiros. A diminuição da umidade do lodo de 97% a 6%, não afetou a viabilidade desta bactéria. O que assemelha a pesquisa de salmonelas em solo arenoso realizada por Cavinato e Paganini (2007). Entretanto estes dados diferem de Agustini e Onofre (2007), que encontrou menos que três salmonelas/por quatro gramas de sólidos, até o final do

estudo, número considerado pelo autor, que usou a classificação da U.S.EPA de 1994 na classificação do lodo como de “classe A”.

A temperatura do lodo (26 – 40°C), no período estudado, favoreceu o desenvolvimento dessas bactérias, que permaneceram viáveis por todo estudo, como comprova os estudos realizados por Cavinato e Paganini (2007); Long e Smith (2008); Sahström *et al.* (2005). A inativação de Salmonelas a estas temperaturas (mesofílicas) depende principalmente, do tempo de exposição a estas temperaturas, da limitação do substrato e do acúmulo de resíduos no meio (LANG e SMITH, 2008), dentre outros fatores como pH, composição físico-química do lodo e relações ecológicas existentes (CARRINGTON, 2001).

A presença de *Salmonella spp.* até o final dos três meses, indica necessidade de higienização do lodo de esgoto da ETE Contorno antes do uso agrícola em culturas destinadas a receber lodo classe A (BRASIL, 2006). Neste caso, sugere-se retirar o lodo da ETE Contorno do leito de secagem antes dos 77 dias de retenção.

5.2.2 Análise de parâmetros parasitológicos

A Figura 12 apresenta a sucessão temporal da concentração, em base seca (g/ST), de ovos viáveis de helmintos no lodo disposto no leito de secagem da ETE Contorno e, a relação com a temperatura e a umidade do lodo registrada no mesmo período. A Tabela 12 apresenta a concentração de ovos viáveis e não viáveis de Helmintos no lodo da ETE Contorno em base seca (g/ST), assim como, a relação com a concentração máxima permitida pela CONAMA 375/06.

No tempo inicial, o número de ovos viáveis de helmintos encontrados representa a contagem no lodo líquido, com densidade igual a 1,05.

No tempo sete (dias), o número de ovos viáveis pode estar subestimado, em virtude da rápida sedimentação dos ovos de helmintos e da alta taxa de umidade do lodo (ANDREOLI, CHERUBINI e FERREIRA, 2002). A temperatura do lodo, entre 26° e 28°C, e a umidade em torno de 77%, no início do processo de secagem favoreceu a maturação e eclosão dos ovos de helmintos. Esta faixa de temperatura e umidade é segundo Neves (2005), favorável para embrionia e conseqüente formação de larvas

rabditóides de geohelmintos (helmintos que passa uma fase larval desenvolvendo-se no solo) e eclosão de ovos.

Entretanto é possível que o aumento da temperatura para 39°C no 28º dia, de retenção do lodo no leito de secagem, e a manutenção desta temperatura por quatro semanas consecutivas; além da redução do teor de umidade para 9%, no mesmo período, podem ter influenciado a queda do número de ovos até o último dia de análise.

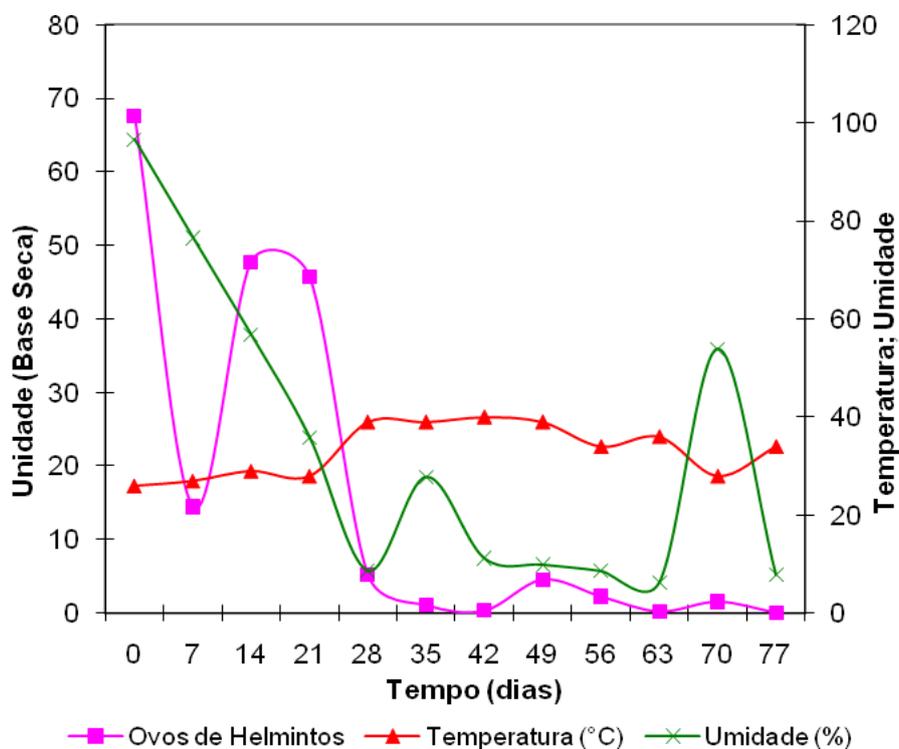


Figura 12: Sucessão temporal da concentração, em base seca (g/ST) de ovos de helmintos em relação da temperatura e umidade do lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA (Set-Nov/2008).

Apesar de sido encontrado um número equivalente a 9,7 ovos não viáveis de helmintos/g de ST, no início da pesquisa este não permaneceu nos tempos posteriores, voltando a aparecer apenas no final da pesquisa.

Tabela 12: Concentração em base seca de ovos de Helmintos no lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA, Set-Nov/2008.

Tempo (dias)	Ovos viáveis de Helmintos (g de ST)	Ovos não viáveis de Helmintos (g de ST)	Total de ovos (g de ST)	Percentual de ovos viáveis (%)
0	67,6	9,7	77,3	87,45
7	14,4	0	14,4	100
14	47,76	0	47,76	100
21	45,7	0	45,7	100
28	5,16	0	5,16	100
35	1,04	0	1,04	100
42	0,27	0	0,27	100
49	1,9	0	1,9	100
56	2,2	0	2,2	100
63	0,16	0,16	0,32	50,0
70	1,49	0,64	2,13	69,95
77	0	0	0	0
*Classe A	<0,25/g de ST	_____		
*Classe B	<10/g de ST	_____		

*Número Máximo permitido pela Resolução CONAMA 375/06 para classificação do lodo para uso agrícola

A Figura 13 apresenta a frequência dos ovos viáveis de helmintos no lodo de esgoto da ETE Contorno.

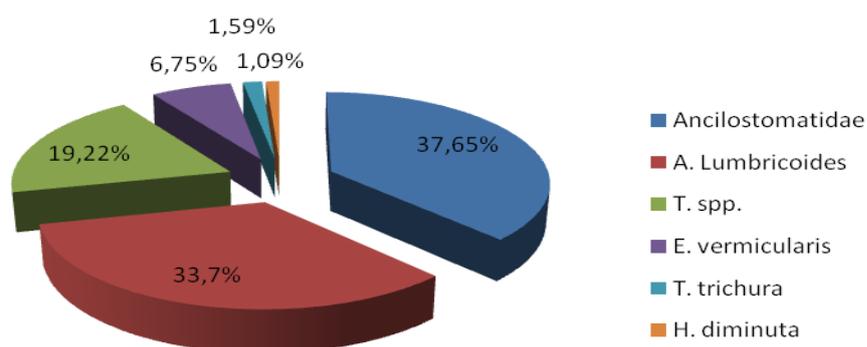


Figura 13: Frequência de ovos viáveis de helmintos por espécie e família encontrados no lodo da ETE Contorno. Feira de Santana, BA.

Os helmintos encontrados no lodo da ETE Contorno tiveram a seguinte frequência: *Ancilostomídeos* (37,65%); *Ascaris lumbricoides* (33,70%); *Taenia sp.* (19,22%); *Enterobius vermicularis* (6,75%); *Trichiura Trichuira* (1,59%) e *Hymenolepis diminuta* (1,09%). Nas condições da pesquisa, foram encontrados ovos não viáveis das espécies *A. lumbricóides* (13,7%) e *T. trichiura* (86,3%). Esta percentagem para ovos de *T. trichiura*, corresponde ao total de ovos não viáveis (9,7 ovos/g de ST) encontrados no tempo inicial, quando o lodo ainda estava líquido (apresentado 3,4% de ST), (Tabela 7).

Os ovos da família Ancilostomatidae prevalecem até mesmo sobre os da espécie *A. lumbricóides*. Diferenciado dos estudos de Silva *et al.* (2007) e Paulino, Castro e Thomaz-Soccol (2001).

A significativa redução do número de ovos de helmintos até o final do período de desaguamento do lodo da ETE Contorno classificaria, o lodo pesquisado, de acordo com a Resolução CONAMA, 375/06 como lodo classe A, pois até o final da pesquisa todos os ovos de helmintos foram destruídos pelo processo de secagem ao ar em leito de secagem.

Andreoli, Cherubini e Ferreira (2002) ressaltam que mesmo em uma contagem negativa, não se pode garantir que o lodo esteja totalmente estéril em relação ao número de ovos de helmintos, tendo em vista que, nenhuma metodologia de detecção garante recuperação total dos ovos presentes na amostra.

No caso específico do lodo gerado na ETE Contorno fatores como, baixa umidade associado a altas temperaturas, provavelmente alcançadas em horário de pico (dado não registrado) pode ter contribuído para redução do número de ovos, ao final do trigésimo dia de retenção do lodo no leito de secagem, dado que se assemelha a pesquisa de Cavinatto e Paganini (2007).

A contaminação do lodo por ovos de helmintos está diretamente associada à saúde da população (ANDREOLI, CHERUBINI e FERREIRA, 2002), que contribui com a eliminação destes nas fezes. Para EPA (2003), fatores como pH, Temperatura, competição, luz solar, contato com hospedeiro, nutrientes e umidade, podem influenciar a sobrevivência destes microrganismos. E a partir do conteúdo patogênico originário do esgoto sanitário, das características do efluente final e do lodo gerado no tratamento desse esgoto pode-se revelar o perfil sanitário da população.

O lodo da ETE Contorno encontra-se de acordo com parâmetros microbiológicos e parasitológicos estabelecidos pela Resolução CONAMA, 375/06, para classificação como classe B e poderá ser destinados a restritos cultivos, já que está livre de ovos viáveis de helmintos e possui um número mais provável de Coliformes fecais menor que 10^6 /g de ST, no entanto, não apresentou ausência de Salmonela, um patógeno que pode provocar danos à saúde humana.

De acordo com Brasil (2006) e a Agência Nacional Americana (U.E.EPA, 2003), a disposição do lodo gerado pelo tratamento do esgoto, no leito de secagem por um período não inferior a três meses à temperatura ambiente é considerado processo de significativa redução de patógenos, pois, durante a secagem ao ar o lodo passa por processos de trocas físicas, químicas e biológicas incluindo, a decomposição da matéria orgânica, a produção de amônia e a dessecação (perda d'água), que conduz a inativação de uma parcela dos microrganismos a níveis aceitáveis. Entretanto, esta pesquisa mostra que após este período o lodo perde parte das características recomendáveis para o seu uso na agricultura, como umidade, STV, pH, além de baixa relação C/N, podendo limitar seu uso como fertilizante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lodo da Estação de Tratamento Contorno, nas condições da pesquisa, é classificado, de acordo com a Resolução CONAMA, 375/06 em Biossólido classe B.

As análises químicas do lodo da ETE Contorno de Feira de Santana apontam seu uso como fertilizante agrícola, pois é rico em matéria orgânica, pode atuar como fonte de nutrientes como N, P e encontra-se com teor de metais pesados abaixo do permitido pela Resolução CONAMA, 375/06.

O lodo estudado, após desidratação em leito de secagem, por 3 meses, possui um NMP de Coliformes Fecais igual a $2,33 \times 10^5$ /g de ST, um NMP de *Enterococcus spp.* de $5,03 \times 10^8$ /g de ST, presença de *Salmonella spp.* e, ausência de ovos viáveis de helmintos. Os resultados das análises microbiológicas não descartam seu uso, porém exigem higienização antes da utilização como fertilizante agrícola, para determinadas culturas restritas ao uso do lodo classe A. Já que houve adaptação de alguns microrganismos às condições locais e ambientais.

Os dados apresentados pela análise microbiológica do lodo retratam o perfil epidemiológico da população de Feira de Santana, assistida pela coleta e tratamento de esgoto da ETE Contorno. O que exige unificação de recursos da saúde e do saneamento no combate e prevenção, principalmente, das doenças infecto-parasitárias relacionadas com a água. E por outro lado, induz a necessidade de avaliar a inclusão de novos parâmetros como o NMP de *Enterococcus spp.*, no monitoramento das características do lodo de esgoto. Estas bactérias estão presentes na microflora intestinal de homens e animais e tem mostrado resistência as condições ambientais adversas.

Por outro lado, durante o período da pesquisa, o leito de secagem apresentou-se, como tecnologia adequada à desidratação do lodo da ETE Contorno, pois:

Com 21 dias de retenção do lodo no leito de secagem, a taxa de umidade do lodo reduziu 63,7%, indicando possibilidade de remoção deste para tratamento e/ou destino final;

Com 28 dias o teor de ST atingiu 90,3% reduzindo a capacidade de atrair vetores transmissores de doenças;

Com 49 dias a relação SVT/ST atingiu 0,60, reduzindo a capacidade de gerar odores ofensivos.

Todavia, os critérios estabelecidos pela U.S.EPA (2003) e CONAMA 375/06 para desidratação do lodo à temperatura ambiente em leitos de secagem, por 3 meses, foram suficientes, no período pesquisado, para classificar o lodo da ETE Contorno de Feira de Santana, como classe B, para fins agrícola. Entretanto, as condições finais de umidade (8%), pH (5,5) e a baixa relação C/N deverão ser corrigidas para se manter as características de fertilizante agrícola. Desta forma, torna-se desnecessário a manutenção deste lodo durante todo este período de retenção no leito. Aos 21 dias o lodo apresentou redução da umidade para 36%, N igual a 293,2 g/kg, P igual a 7,9 g/kg, teor de metais pesados abaixo do limite aceitável que propõe a sua remoção para correção das demais características e higienização.

7 RECOMENDAÇÕES

Estudos de avaliação da tecnologia de pré tratamento do lodo, desaguamento em leito de secagem ao ar, na ETE contorno, em outras estações do ano, a fim de comparar e validar os dados apresentados;

Estudos da possibilidade do uso da compostagem como higienização do lodo estudado e sua consequente classificação como lodo classe A.

Estudos de avaliação da inclusão de novos parâmetros microbiológicos, na classificação do lodo a exemplo das bactérias do gênero *Enterococcus spp.*;

Estudos de avaliação da manutenção de Salmonelas em lodo de esgoto;

Estudos de avaliação de metodologias na identificação e quantificação de ovos de helmintos;

Estudos de avaliação da mobilidade de metais pesados no lodo de esgoto, por meios da extração sequencial de metais;

REFERÊNCIAS

ADANI, F.; TAMBONE, F. Long-term effect of sewage sludge application on soil humic acids. Elsevier: **Chemosphere**. n. 60 p. 1214-1221. 2005 Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/chemosphere>> Acesso em abr/2009.

AGUSTINI, D.; ONOFRE, S. B. Caracterização físico-química e microbiológica do lodo de esgoto produzido pela estação de tratamento de esgoto (ETE) de Pato Branco – PR. **Revista de Biologia e Saúde da UNISESP: Biology & Health Journal**. v.1, n.1, 2. 2007.

ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In.: **Biossólidos na agricultura**. 2ª ed. São Paulo: ABES/SP, p.7-40, 2002.

ALMEIDA, P. R. M. de. **Microfauna de protozoários como indicador de eficiências da Estação de Tratamento de Esgoto do tipo lodo ativado, em Feira de Santana-BA**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, BA. 2008.

ANDREOLI, C. V.; CHERUBINI, C.; FERREIRA, A. C. Inviabilização de ovos de helmintos em lodo de esgoto anaeróbico através da solarização. In.: Seminário Nacional de Resíduos Sólidos, 6., 2002, Gramado. **Anais**. Gramado: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2002.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E.S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Editores Wagner Bettiol e Otávio A. Camargo. – Jaguariúma, SP: EMPRAPA Meio Ambiente, 2000. 312p: il.

ANDREOLI, C. V.; PINTO M. A. T. Introdução. In: ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. 257 p: il.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. Introdução. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Companhia de Saneamento do Paraná v. 6, 13-16p. 2001.

ANDREOLI, I. C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. In: ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. 257 p: il

ARAÚJO, R. A. **Eficiência de Algumas Estações de Tratamento de Esgoto de Feira de Santana na remoção de Carga Orgânica, Coliformes, Helmintos e Protozoários e Situações de Risco de Usuários a Jusante do Lançamento**. 2003, 266f. Tese (Doutorado em Saúde Pública). Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2003.

ARAÚJO, R. A.; GUNTHER, W. M. R. Remoção de Helmintos e protozoários de estações de tratamento de esgoto sanitário. In.: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais eletrônico**. Belo Horizonte: ABES. 2007.

ARAÚJO, V. F. Plano de recuperação de áreas degradadas da Pedreira Rio Branco – Feira de Santana – Ba – Brasil. In: **Anais do III Encontro de Biologia da UEFS**. Feira de Santana: Stientibus, 2000.

AMERICAN WATER AND WASTEWATER ASSOCIATION (AWWA) **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. th. Editores Lenore S. Clesceri; Arnold E. Greenberg; Andrew D. Eaton: AWWA, 1998.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002, p. 622.

BARROS, I.T., COSTA, A. C. S. da; ANDREOLI, C. V. Avaliação da higienização de lodo de esgoto anaeróbio através do tratamento ácido e alcalino. In.: **Sanare**. Revista Técnica da Sanepar. Curitiba: SANEPAR, v. 24(24), jan/fev, 2006, p. 61-69.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000, 312p.

BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. (Editores técnicos). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna, São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2006, p. 25-35.

BLODGETT, R. Most probable number from serial dilutions. In.: **Bacteriological Analytical Manual on line. Analytical Chemistry Association**. (2002). Disponível em: <www.Cfsan.fda.gov/~toc.html> Acesso em: dez/2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 2006.

CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola: instrumental para o pensamento. BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. (Editores técnicos). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jagariúna, São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2006, p. 37-43.

CARRINGTON, E. G. Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction: final report. **Study contract nº B4-3040/2001/322179/MAR/A2**. European Commission. Set/2001. p.42.

CASSINI, S. T.; VAZOLLER, R.F.; PINTO, M.T. Resíduos sólidos orgânicos gerados no saneamento: problemas e tendências In: CASSINI, S. T. (Coord.) **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003, p. 1-9 il.

CAVINATTO, A de S.; PAGANINI, W. da S., Os microorganismos nas atividades de disposição no solo: estudo de caso. In.: **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro. 2007, v. 12. N.1. jan/mar, p. 42-51.

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no Estado do Rio de Janeiro**. (Dissertação). Rio de Janeiro: Fundação Osvaldo Cruz, 2000, p. 89.

CHERUBINI, C; FERREIRA, A. C.; TELES, C.R.; ANDREOLI, C.V. Avaliação de parâmetros de diagnóstico e secagem do lodo de esgoto através da temperatura. In.: **I Seminário Nacional de Microbiologia aplicada ao Saneamento**, Vitória, ES, 2000.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Princípios do tratamento de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997, v. 5 p.246 il.

COELHO, W. M; CARVALHO, E. H. de; ARAÚJO, J. L. de B. Avaliação de metodologias para detecção de ovos de helmintos no lodo e determinação do percentual de recuperação. In.: **Anais Eletrônico: XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Cancúm, México, 2002.

COSTA, A. G.; FERREIRA, A. F.; VAN HAANDEL, A. Monitoramento da atividade bacteriana de um sistema de lodos ativados bardenpho por meio da respirometria. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2007, Rio de Janeiro. n.20. v.12 jan/mar 2007, p.17-23. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n1/a03v12n1.pdf>. Acesso em Dez. 2007.

COSTA, P. M da.; VAZ-PIRES, P.; BERNARDO, F. Antimicrobial resistance in *Enterococcus spp.* isolated in inflow, effluent and sludge from municipal sewage water treatment plants. *Science Direct. Water Research*. v.40, p. 1735-1740. 2006. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/watres>. Acesso em: jan. 2009.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto na produtividade e desenvolvimento das culturas. In.: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. (Coor) **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. 2^a ed. Curitiba: Sanepar, Finep, p. 181-192, 2001.

DIAS, B. de O.; SILVA, C. A.; SOARES, E. M. B.; BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 31, n. 4, jul./ago.2007. Disponível em: <<http://www.sielo.br/scielo.php/>>. Acesso em 05 fev. 2009.

DIVISÃO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO REGIONAL DE FEIRA DE SANTANA DA EMPRESA BAIANA DE ÁGUAS E SANEAMENTO (UNFE/EMBASA). Feira de Santana. **Relatório**. Jan/2009.

FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, F.; MARSCH, R.; ESPINOSA-VICTOIA, D.; THALASSO, F.; LARA, H. M. E.; MUNIVE, A.; LUNA-GUIDO M. L.; DENDOOVEN, L. Remediation of PAHs in a saline-alkaline soil amended with wastewater sludge and the effect on dynamics of C and N. *Science Direct. Science of the Total Environment*. v. 402, p. 18-28. 2008. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/scitotenv>>. Acesso em: jan. 2009.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; PREVEDELLO, B. MS. Viabilidade de ovos de helmintos em leito de esgoto tratado termicamente. In.: Paraná-Curitiba: **Sanepar** 2002, Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v17/>> Acesso em: mar/2007.

FIALHO, L. L.; SILVA, W. T. L. da; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; MARTIN NETO, L. Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos. **Circular técnica** (29). São Carlos, SP: EMBRAPA, Nov 2005.

FONTES, C. M. A. **Potencialidades da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos como material suplementar para a produção de concreto com cimento portland.** Dissertação. 2003, 124f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2003.

FUENTES, A.; LORÉNS, M.; SÁEZ, J.; AGUILAR, M. I.; ORTUÑO, J. F.; MESEGUER, V. F. Comparative study of six different sludges by sequential speciation of heavy metals. Science Direct: **Bioresourse Technology**. n. 99, p. 517-525. 2008
Disponível em: <[http:// www.sciencedirect.com/](http://www.sciencedirect.com/)> Acesso em abr/2009.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de saneamento.** 3ª Ed. Brasília. 1999.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. Remoção da umidade de lodos de esgotos. ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Editores) **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Companhia de Saneamento do Paraná v. 6, 159-259. 2001.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A. de; POGGIANI, F.; MATTIAZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo.** 2006. Viçosa, v. 30, 2006.
Disponível em: <<http://www.sielo.br/scielo.php/>>. Acesso em 11 fev. 2009.

HANDA, R. M.; NOGUEIRA, A. Determinação de pH de amostras de lodo de esgoto. In.: ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. (Coord) **Manual de Métodos para análises Microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto.** 2 ed. rev. ampl. Curitiba: Sanepar, 2000. p. 81-82.

HIGASKINO, C. E. K.; TAKAMATSU, A. A.; BORGES, J. C.; BALDIN, S.M. Determinação de Estreptococos fecais em amostras de lodo de esgoto In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (Coord.). **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto.** 2 ed. rev. e ampl. Curitiba: Sanepar, 2000. p. 57-64.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias.** 26ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1998. p. 301.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo populacional de 2007.** Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: outubro de 2007.

KARVELAS, M.; KATOYIANNIS, A.; SAMARA, C. Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process. Pergamon: **Chemosphere**, 53 (2003) p. 1201-1210. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/chemosphere>> Acesso em abr/2009.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda. 1985. 492 p.: Il.

LADAKIS, M.; DASSENAKIS, M.; PANTAZIDOU, A. Nitrogen and Phosphorus in coastal sediments covered by Cyanobacteria Mats. In.: **J Soils & Sediments**. Paris: 2006, v. 6(1). P.46-54.

LANG, N. L.; SMITH, S. R. Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. *Science Direct. Water Research*. v.42, p. 2229-2241. 2008. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/watres>>. Acesso em: jan. 2009.

LEITE, B. Z.; INGUNZA, M. P.; ANDEOLI, C. V. **Lodo de decanto-digestores**. In ANDREOLI, C. V. (Org). Alternativas de uso de resíduos de saneamento. Rio de Janeiro-RJ: ABES, 2006, 361p.

LIRA, A. C. S. de.; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES. 2008, v. 13, n. 2, p. 207-216, abr./jun. 2008.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo: teoria e prática**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora. 182 p.: Il., 2002.

LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Companhia de Saneamento do Paraná v. 6, 339-423p. 2001.

MACHADO, I. A.; VEIGA, M. M.; ROQUE, O. C. da C.; SILVA, D. M. Análise da nitrificação biológica em processos de lodos ativados com aeração prolongada realizada visando o reuso de água para “make up” em torres de resfriamento. In.: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2006, Campo Grande. **Anais eletrônico**. Campo Grande: ABES. 2006. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-354.pdf>>. Acesso em: fev. 2009.

MAGALHÃES, J. M. M. **Caracterização inicial do lodo de esgoto de uma indústria de bebidas**. Monografia (Conclusão de curso de Gestão Ambiental na Agropecuária). 2008, 39 f. Escola Agrotécnica Federal. Inconfidentes, MG, 2008.

MALTA, T. S. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura**: estudo de caso do município de Rio das Ostras – RJ. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). 2001, 67f. Fundação Osvaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública. Rio de Janeiro, RJ. 2001.

MEDEIROS, D. R.; CYBIS, L. F.; SANTOS, A.V. dos. Remoção de matéria orgânica e nitrogênio em sistemas de lodos ativados de fluxo contínuo e em batelada: comparação entre eficiência, sedimentabilidade e composição da microfauna. In.: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2007, Campo Grande. **Anais eletrônico**. Campo Grande: ABES. 2006. Disponível em http://www.abes-dn.org.br/trabs_aprovados.htm Acesso em: jan. 2009.

MELO, W. J. de.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P de.; CINTRA, A. D.; Uso de resíduos em hortaliças e impacto ambiental. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Olericultura**, 41, São Pedro. São Pedro: SOB, 2000. Disponível em: <<http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS/OLERIC.pdf>>. Acesso em mar. 2009.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater engineer treatment disposal, reuse**. 4ªed. New York: McGRaw- Hill Book, 2003, 1729 p.

MIKI, K. M.; ALÉM SOBRINHO, P.; VAN HAANDEL, A. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos – condicionamento, desaguamento mecanizado e secagem térmica do lodo. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.) **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006, p. 48-107.

MIKI, K. M.; ANDRIGUETI, E. J.; ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In.: **Biossólidos na agricultura**. 2ª ed. São Paulo: ABES/SP, p.41-87, 2002.

NATAL, D., MENEZES, R. M. T. de, MUCCI, J. L. N. Fundamentos de Ecologia Humana. In.: PHILIPPI JR, ARLINDO (Editor). **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamento para um desenvolvimento sustentável**. Bauerí, SP: Manole, v. 2, p. 57-86. 2005.

NEVES, D. P. **Parasitologia humana**. 11ª ed. São Paulo-SP: Atheneu, 2005, 494p.

NUVOLARI, A. O lançamento in natura e seus impactos. In: NUVOLARI, A.(Coord.) **Esgotos sanitários: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003, p.171-207.

OLIVEIRA, A da S. **Tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados no município de Ribeirão Preto, SP: avaliação da remoção de metais pesados**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). 2006,149 f. Departamento de Enfermagem e Saúde Pública da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 2006.

OLIVEIRA, A. da S. NIKAIDO, M.; CELERE, M. S.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Importância do biossólido gerado no sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados, enfoque para a cidade de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. **O mundo da Saúde São Paulo**. São Paulo, v. 30, n. 4, p. 634-643, out./dez. 2006.

PALUSZAK, Z.; BAUZA-KASZEWSKA, J. LIGOCKA, A. Fate of enterococci in composted sewage sludge. **Bull. Vet. Inst. Pulawy**. V. 48, p. 29-32, 2004.

PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A.; THOMAZ-SOCCOL, V. Tratamento anaeróbico de esgoto e sua eficiência na redução da viabilidade de ovos de helmintos. In.: **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. Uberaba, set/out, 2001, v. 34(5). Disponível em <<http://www.scielo.br>> acesso em: mar/2007.

PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; ANJOS, L. H. C. dos; BENITES, V, de M.; ESPÍNDULA JR, A.; EBELING, A. G. Organic carbon determination in histosols and soil horizons with high organic matter content from Brazil. **Science Agricultural**. Piracicaba, v.63, n.2, p. 187-193, mar./apr. 2006.

PHILIPPI JR, A; MALHEIROS, T. F. Saneamento e Saúde Pública: integrando Homem e Ambiente. In: PHILIPPI JR, A. (Org). **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamento para um desenvolvimento sustentável**. Bauerí, SP: Manole, 2005, v, 2. p. 3-31.

PINTO; M. T. **Higienização dos lodos**. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Companhia de Saneamento do Paraná v. 6, 261-297. 2001.

POGGIANI, F.; SILVA, P. H. M. da; GUEDES, M. C. Uso do lodo de esgoto em plantações florestais. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.) **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006, p. 159-188.

ROSA, R. da S.; MESSIAS, R.A.; AMBROZINI, B. **Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável**. São Carlos: Instituto de química São Carlos/ USP. 2003, p. 53 il.

SAHLSTRÖM, L.; BAGGE, E. BERGGREN, I.; ALBIHN, A. Reduction of pathogenic microorganisms after conventional treatment of sewage sludge. **ISAH**: Warsaw. Poland. v, 2. p. 317-320, 2005.

SANTOS, A. D. dos. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestre em Engenharia). 2003, 206f. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, SP, 2003.

SILVA, A. G. da; LEITE, V. D.; SILVA, M. M. P da; PRASAD, S.; FEITOSA, W. B. da S. Compostagem aeróbia conjugada de lodo de tanque séptico e resíduos sólidos vegetais. **Engenharia Sanitária Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES. 2008, v. 13, n. 4, p. 371-379, out./dez. 2008.

SILVA, C. A.; RANGEL, O. J. P.; DYNIA, J. F.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C. V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. *Revista Brasileira do Solo*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 2006. Viçosa, v. 30, p. 353-364. 2006. Disponível em: <<http://www.sielo.br/scielo.php/>>. Acesso em 11 fev. 2009.

SILVA, F. C. da; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um argissolo vermelho-cultivado com cana-de-açúcar. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.36, n. 5, p. 831-840, mai/2001.

SILVA, M. M. P. **Tratamento de lodo de tanques sépticos por co-compostagem para os municípios do semi-árido paraibano: alternativa para mitigação de impactos ambientais**. Tese (doutorado em Recursos Naturais). 2008. 219f. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2008.

SILVA, M. M. P.; SILVA, A. G da.; SOUZA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; LEITE, V. D. Avaliação da remoção de ovos de helmintos em co-disposição de lodo anaeróbio e resíduos sólidos orgânicos. In.: **Anais Eletrônico** do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte - MG: ABES, set de 2007.

SILVA, S. B. A.; SILVA-NETO, I. D. Morfologia dos Protozoários ciliados presentes em um reator experimental de tratamento de esgoto por processos de lodo ativado. **Revista Brasileira de Zoociências**. Rio de Janeiro. v.3, n. 2, p. 203-229, 2001.

SKORUPA, L. A.; SOUZA, M. D. de.; PIRES, A. M. M.; FILIZOLA, H. F.; BETTIOL, W.; GUINI, R.; LIGO, M. A. V. Uso de lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.) **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006, p. 189-234.

SOUZA, J. T. de; VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P.F.F.; FIGUEIREDO, A.M.F. Tratamento de esgot para uso na agricultura do semi árido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental**. n.13, v. 10, p. 260-265, jul-set/2005.

WANG, C.; LI, X. C.; WANG, P-F.; ZOU, L-M. MA, H-T. Extractable frations of metals in sewage sludges fron five typical urban wastewater treatment plants of China. Elsevier: **Pedosphere**. v.16, n.6, p. 756-761. 2006. Disponível em < <http://www.elsevier.com/locate/pedosphere>>. Acesso em: abr. 2009.

WANG, P-F.; ZHANG, S.; WANG, C.; HOU, J.; GUO, P.; LIN, Z. Study of heavy metal in sewage sludge and in Chinese cabbage grown in soil amended with sewage sludge. Academic Journals: **African Journal of Biotechnology**. v.7, n. 9, p. 1329-1334. Mai/2008. Disponível em < <http://www.academicjournals.org/AJB>>. Acesso em: jan. 2009.

WONG, J. W. C.; LI, K.; FANG, M.; SU, D. C. Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong. Elsevier: **Environment international**. v. 27, p. 373-380. 2001. Disponível em < <http://www.elsevier.com/locate/envint>>. Acesso em: abr. 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Review of EPA sewage sludge technical regulation. In.: **Journal WPCF**. n.7, v.61, p. 1206-1213, july 1989.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **A guide for land appliers on the requirements of the Federal Standards for the use or disposal de sewage sludge**, 40 CFR Part 503. Washington, DC 20460. Dec. 1994. p. 62.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Environmental Regulations and Technology**: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. under 40 CFR Part 503. Washington, DC 20460. Jul. 2003. p. 178.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **EPA Method 7000B (SW-846)**: Flame atômico absorption spectrophotometry. Revision 2. Washington, DC. Fev. 2007. Disponível em:

<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/7000b.pdf>. Acesso em Ago. 2007.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **EPA Method 3050B (SW-846):** Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. Revision 2. Washington, DC. Dez. 1996. Disponível em: <http://www.epa.gov/sam/pdfs/EPA-3050b.pdf>. Acesso em Ago. 2007.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos:** um manual para regiões de clima quente. 1994.

VAN HAANDEL, A.; SOBRINHO. Produção, composição e constituição do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Rio de Janeiro: ABES, 2006, p. 07-28.

VAZ, L. M. S. **Crescimento inicial, fertilidade do solo e nutrição de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com bio sólido.** Dissertação. (Mestre em Ciências)2000. 41f. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2000.

VILANOVA, X. BLANCH, A. R. Distribution and persistence of fecal bacterial populations in liquid and dewatered sludge from a biological treatment plant. **Journal Gen. Appl. Microbioly.** v.51, p. 361-368. 2005.

VON-SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias:** lodos ativados. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. v. 4, 428p. 2002.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3.ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, v. 1, p.252. 2005.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, In.: ANDREOLI, Cleverson Vitório; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos:** tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 483 p. 2001.

APENDICE A - Condições Analíticas da Espectrometria de Absorção Atômica

Elementos	λ	Lâmpada	Chama	Concentração dos Padrões ug/ mL	Corretor de interferências
Cr	357,9nm	10mA	Ar acetileno	0,2;0,5;1,0 e 2,0	Cloreto de amônio a 20%
Ni	232nm	5mA	Ar acetileno	0,2;0,5;1,0 e 2,0	_____
Cu	324,7nm	10mA	Ar acetileno	0,2;0,5;1,0 e 2,0	_____
Pb	217 nm	4mA	Ar acetileno	0,2;0,5;1,0 e 2,0	_____
Cd	228,8nm	4mA	Ar acetileno	0,2;0,5;1,0 e 2,0	_____
Zn	213,9nm	5mA	Ar acetileno	0,05;0,1;0,2 e 0,5	_____
Ba	553,6nm	15mA	Oxido Nitroso	1,0;2,0;5,0 e 10	_____
Na*	589 nm	10 mA	Ar acetileno	0,5;1,0;4,0 e 10	Lítio 1%
K*	66,5 nm	10mA	Ar acetileno	0,5;1,0;4,0 e 10	Lítio 1%
Ca*	422,7nm	5mA	Ar acetileno	1,0;2,0;4,0 e 10	Lantânio 10%
Mg*	285,2nm	5mA	Ar acetileno	1,0;2,0;4,0 e 10	Lantânio 10%

* usou-se queimador invertido.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)