

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE DESAGUAMENTO DE
LODOS DE ETEs EM BAG´S: O CASO DA ETE-LIMOEIRO –
PRESIDENTE PRUDENTE-SP**

WELLITON LEANDRO DE OLIVEIRA BOINA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE DESAGUAMENTO DE
LODOS DE ETEs EM BAG´S: O CASO DA ETE-LIMOEIRO –
PRESIDENTE PRUDENTE-SP**

WELLITON LEANDRO DE OLIVEIRA BOINA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. João Sergio Cordeiro

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

B681ac

Boina, Welliton Leandro de Oliveira.

Análise das condições de desaguamento de lodos de ETEs em BAG's : O caso da ETE-Limoeiro – Presidente Prudente-SP / Welliton Leandro de Oliveira Boina. -- São Carlos : UFSCar, 2012.
98 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Saneamento. 2. Lodo. 3. Esgoto sanitário. 4. Estação de tratamento de esgoto. 5. BAG. 6. Desaguamento. I. Título.

CDD: 363.72 (20^a)



FOLHA DE APROVAÇÃO

WELLITON LEANDRO DE OLIVEIRA BOINA

Dissertação defendida e aprovada em 21/05 /2012
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. João Sergio Cordeiro
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Denis Miguel Roston
(FEAGRI/UNICAMP)

Prof. Dr. Erich Kellner
(DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Coordenador do CPGEU

Dedicatória

*Aos meus pais, **Agentil e Helena**, as
minhas irmãs **Adriana e Luciene** e a
minha namorada **Rosane**, pelo amor,
dedicação, incentivo e companheirismo.*

Agradecimentos

Agradeço a Deus por permitir mais esta etapa da minha vida. Toda minha gratidão pela constante presença em minha vida, por me fortalecer diante as dificuldades, pela sabedoria, saúde, paciência e as bênçãos recebidas.

Aos meus pais Agêtil e Helena pela minha formação acadêmica e profissional, pelo apoio infindável, compreensão, carinho e amor.

As minhas irmãs Luciene e Adriana que sempre me ajudaram quando precisei nos momentos difíceis, a elas todo meu respeito e reconhecimento.

A minha namorada Rosane, pelo amor, carinho, companheirismo, incentivo, compreensão, ajuda, paciência, apoio e críticas que muito me ajudaram em todos os momentos.

Ao meu orientador e amigo Prof. Cordeiro, pela oportunidade, confiança, orientação, apoio e ajuda em todos os momentos.

A SABESP - Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo, pela permissão da realização prática deste trabalho na ETE-Limoeiro, pelas informações cedidas e pelo espaço de trabalho oferecido. Aos funcionários pela prestimosa ajuda, em especial as meus amigo(a)s Eng. Gilmar José Peixoto pelas dicas, incentivo e ajuda nos trabalhos práticos desenvolvidos na ETE-Limoeiro, a Química Márcia Aparecida da Silva Vieira pelas análises laboratoriais e informações e ao Agente de Saneamento Célio Vasconcelos pelo entusiasmo, dedicação e ajuda na realização das coletas das amostras e no melhoramento do amostrador de lodos.

A FCT/UNESP – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista – Câmpus de Presidente Prudente, pela flexibilidade na mudança dos meus horários de trabalho. Aos Professores José Carlos Rodrigues e Suetonio de Almeida Meira, pelo incentivo e apoio na continuidade dos meus estudos.

Aos meus amigo(a)s do Programa do Pós-Graduação em Engenharia Urbana pelo momentos aos quais passamos juntos e a todos os demais amigos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para que este trabalho fosse realizado e concluído.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro.

*Na natureza nada se cria, nada se perde,
tudo se transforma.*

Antoine Lavoisier

RESUMO

As substâncias presentes nos esgotos sanitários exercem ação deletéria nos corpos de água, a matéria orgânica presente pode causar a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido provocando a morte de peixes e outros organismos aquáticos, eutrofização pela presença de nutrientes provocando o crescimento acelerado de algas que conferem odor, gosto e biotoxinas à água, escurecimento e assoreamento do curso d'água. Diante deste cenário, é de suma importância a necessidade do tratamento dos esgotos. Porém no processo de tratamento ocorre a produção de um lodo rico em matéria orgânica e nutriente, denominado lodo de esgoto. Este resíduo ao final do processo de tratamento deve receber uma atenção especial, necessitando de adequada disposição final. Contudo, constata-se que geralmente vários projetos de tratamento de esgotos não contemplam o destino final do lodo produzido, acarretando assim na anulação parcial dos benefícios da coleta e do tratamento dos efluentes coletados. Neste sentido, esta pesquisa apresenta resultados de análises realizadas em lodos de estação de tratamento de esgoto contidos em BAG's de Manta Geotêxtil da ETE-Limoeiro / SABESP, localizada no Município de Presidente Prudente-SP. O objetivo central desta pesquisa foi a caracterização dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em conformidade com a Resolução Nº 375/06 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, e a avaliação da eficiência do processo de remoção de água dos lodos. Ante o exposto, as análises para identificação e quantificação de metais pesados apresentaram valores abaixo das concentrações máximas permitidas em lodos. Em relação à avaliação de macro e micronutrientes, as análises demonstraram que o lodo possui quantidades significativas de nutrientes essenciais aos solos e plantas, podendo ser utilizado para esta finalidade após tratamento específico. Referente às análises biológicas para quantificação de coliformes termotolerantes, as concentrações obtidas apresentaram valores estabelecidos para lodos Classe B. Os lodos também foram avaliados quanto à estabilidade através da relação entre sólidos voláteis e sólidos totais. Esta relação apresentou resultados para SV/ST inferiores a 0,70 permitindo definir os lodos como estáveis de acordo com a Resolução 375/06. Entretanto, avaliação do processo de remoção de água, demonstrou comprometimento da eficiência do desaguamento em função das características do lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgotos.

Palavras-chave: Lodos, Esgoto Sanitário, Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto, BAG, Desaguamento.

ABSTRACT

Substances in Sewage Sanitary exert deleterious effects on bodies of water; the organic matter which is present may cause a decrease in concentration of dissolved oxygen, killing fish and other aquatic organisms, eutrophication by the presence of nutrients causing an accelerated growth of algae that give odor, taste and biotoxins to the water, darkening and siltation of the watercourse. In this scenario, it is of great importance the need for sewage treatment. However, in the treatment process, occurs the production of sludge rich in organic matter and nutrients, known as sewage sludge. This residue at the end of the treatment process should receive special attention, requiring proper disposal. Moreover, it is found that several sewage treatment projects do not include the final destination of the sludge that is produced, which results in the partial annulment of the benefits of collecting and treating collected wastewater. Therefore, this study presents results of analyzes performed on sludge from sewage treatment contained in BAG's of Geotextile Blanket of ETE-Limoeiro / SABESP, located in the city of Presidente Prudente, SP. The objective of this work was to characterize the physico-chemical and microbiological parameters in accordance with Resolution N° 375/06 of Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, and evaluate the efficiency of dewatering of sludge. Based on this, the analysis of identification and quantification of heavy metals showed values below the maximum allowed concentrations in sludge. Regarding the assessment of macro and micronutrients, analysis showed that the sludge has significant amounts of essential nutrients to the soil and plants and it can be used for this purpose after specific treatment. Regarding the biological tests for quantification of fecal coliforms, the obtained concentrations showed values that were established for the sludge Class B. The sludge was also evaluated for stability using the relation between volatile solids and total solids. This relation presented results for SV/ST below 0.70 which allowed defining the sludge as stable according to Resolution 375/06. However, the evaluation of the water removal process showed commitment of the dewatering efficiency according to the characteristics of the sludge generated in the Sewage Treatment Plant.

Keywords: Sludge, Sewage Sanitary, Sludge of Sewage Treatment Plant, BAG, Dewatering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Composição dos sólidos nos esgotos	6
Figura 02 – Sistema típico usado no tratamento preliminar.....	7
Figura 03 – Decantador primário circular	8
Figura 04 – Centrifuga	16
Figura 05 – Filtro prensa de placa	18
Figura 06 – Prensa desaguadora	20
Figura 07 – Filtro de tambor a vácuo - Bokela.....	21
Figura 08 – Lagoa de lodo – ETE Araraquara	22
Figura 09 – Leitões de secagem convencional (corte).....	24
Figura 10 – Leitões de secagem com manta geotêxtil (corte).....	24
Figura 11 – BAG de manta geotêxtil.....	26
Figura 12 – Secador térmico rotativo de lodos - Bruthus.....	27
Figura 13 – Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Limoeiro	55
Figura 14 – Esquema da ETE Limoeiro	56
Figura 15 – Localização da ETE Limoeiro	57
Figura 16 – BAG's de manta geotêxtil – ETE Limoeiro.....	59
Figura 17 – Vista aérea da ETE Limoeiro.....	59
Figura 18 – Fluxograma resumido dos métodos adotados para o desenvolvimento da pesquisa	60
Figura 19 – Seleção dos BAG's para amostragem.....	61
Figura 20 – Amostrador de lodos	62
Figura 21 – Vedação e passagem do cano PVC.....	63
Figura 22 – Amostrador de lodos: (a) Êmbolo, (b) Cano PVC.....	63

Figura 23 – Bocal do BAG.....	64
Figura 24 – Determinadores de umidade.....	64
Figura 25 – ICP-OES	66
Figura 26 – MEV/EDS	67
Figura 27 – Frascos estéreis	68
Figura 28 – Amostras dos BAG's	68
Figura 29 – Imagens obtidas da amostra do BAG 1A feita por MEV/EDS.....	72
Figura 30 – Espectros de microanálise – BAG 1A.....	73
Figura 31 – Imagens obtidas da amostra do BAG 24 feita por MEV/EDS.....	79
Figura 32 –Espectros de microanálise – BAG 24	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Níveis do Tratamento dos Esgotos Sanitários.....	4
Quadro 02 – Principais Mecanismos de Remoção de Sólidos no Tratamento de Água .	6
Quadro 03 – Principais Características dos Processos de Desaguamento de Lodos.....	15
Quadro 04 – Vantagens e Desvantagens dos Leitões de Secagem	25
Quadro 05 – Alternativas para o Aproveitamento e/ou Disposição Final do Lodo	37
Quadro 06 – Tempo de Sobrevivência de Diversos Tipos de Patógenos no Solo e nas Plantas.....	40
Quadro 07 – Substâncias Orgânicas Potencialmente Tóxicas a serem determinadas no Lodo de Esgoto ou no Produto Derivado	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Presença de Patógenos – Classe A.....	41
Tabela 02 – Presença de Patógenos – Classe B.....	42
Tabela 03 – Classes de Lodo ou Produto Derivado – Agentes Patogênicos	43
Tabela 04 – Concentrações Limites de Metais Pesados	44
Tabela 05 – Taxa de Aplicação Anual Máxima de Metais em Solos Agrícolas Tratados com Lodos	45
Tabela 06 – Cargas Cumulativas Máximas Permissíveis de Metais pela Aplicação de Lodo em Solos Agrícolas	45
Tabela 07 – Lodos de Esgoto ou Produto Derivado – Substâncias Inorgânicas	46
Tabela 08 – Cargas Acumuladas Teóricas Permitidas de Substâncias Inorgânicas pela Aplicação de Lodo de Esgoto ou Produto Derivado em Solos Agrícolas.....	46
Tabela 09 – Concentrações Permitidas de Substâncias em Solo Agrícolas	48
Tabela 10 – Parâmetros de Projeto da ETE Limoeiro	57
Tabela 11 – Determinação de Sólidos nas Amostras.....	69
Tabela 12 – Determinação dos Elementos Químicos nos Lodos dos BAG's	70
Tabela 13 – Resultados das Microanálises (% em massa) referente à Figura 30.....	77
Tabela 14 – Resultados das Microanálises (mg/kg) referente à Figura 30.....	77
Tabela 15 – Resultados das Microanálises (% em massa) referente à Figura 32.....	85
Tabela 16 – Resultados das mMicroanálises (mg/kg) referente à Figura 32.....	85
Tabela 17 – Resultados Biológicos e Parâmetros Químicos	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ATP	Adenosina Trifosfato
BAG	Manta de geotêxtil
BSD	Elétrons retro-espalhados
CCDM	Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFR	Code of Federal Regulation
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio de cinco dias
DDT	Dicloro-Difenil-Tricloroetano
DEMa	Departamento de Engenharia de Materiais
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EDS	Espectroscopia por energia dispersiva
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EMBASA	Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A.
EPA	Environmental Protection Agency
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP	Plasma acoplado indutivamente
NBR	Norma Brasileira
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
OD	Oxigênio dissolvido
OES	Espectrômetro de emissão óptica
PCB's	Bifenila Policlaradas
PNMA	Programa Nacional de Meio Ambiente
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PVC	Poli Cloreto de Vinila
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SE	Elétrons secundários
SEREC	Serviços e Engenharia Consultiva Ltda

SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UGL's	Unidades de Gerenciamento de Lodo
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USEPA	United State Environmental Protection Agency
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

μm	Micrometro
% (m/m)	Percentual de massa por massa
Al	Alumínio
AS	Arsênio
°C	Graus Celsius
B	Boro
Ba	Bário
C	Carbono
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Cl	Cloro
cm	Centímetro
Co	Cobalto
CO₂	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
g	Gramas
g/cm³	Gramas por centímetro cúbico
hab.	Habitante
Hg	Mercúrio
H₂O	Monóxido de diidrogênio (<i>água</i>)
K	Potássio
L/s	Litro por segundo
m	Metro
Mg	Magnésio
mg	Milígrama
mg N. Kg⁻¹	Milígrama nitrogênio por quilo
mg. Kg⁻¹	Milígrama por quilo
mm	Milímetro
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
m³	Metro cúbico

m³/dia	Metro cúbico por dia
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Na₂S₂O₃	Tiosulfato de sódio
Ni	Níquel
NMP	Número mais provável
NMP/g ST	Número mais provável por grama de sólidos totais
O₂	Oxigênio
P	Fósforo
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
S	Enxofre
Se	Selênio
Si	Silício
ST	Sólidos totais
SV	Sólidos voláteis
Ti	Titânio
ton/d	Tonelada por dia
UFC. 100 mL⁻¹	Unidades formadoras de colônias por cem mililitros
UFC/g ST	Unidades formadoras de colônias por grama de sólidos totais
UFF	Unidade formadora de foco
UFP	Unidade formadora de placa
V	Vanádio
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivo específico.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Tratamento de esgotos	4
3.1.1. Tratamento preliminar	7
3.1.2. Tratamento primário	7
3.1.3. Tratamento secundário	8
3.1.4. Tratamento terciário	10
3.1.5. Desinfecção	11
3.2. Características dos lodos de esgotos sanitários	11
3.3. Métodos de desaguamento de lodos gerados em ETEs.....	12
3.3.1. Sistemas mecânicos	16
3.3.1.1. Centrifugas	16
3.3.1.2. Filtros prensa de placa	17
3.3.1.3. Prensa desaguadora (Belt-press).....	19
3.3.1.4. Filtros a vácuo	21
3.3.2. Sistemas naturais	22
3.3.2.1. Lagoas de lodos	22
3.3.2.2. Leitões de secagem.....	23
3.3.2.3. BAG's - Manta geotêxtil	25
3.3.3. Sistema térmico	27
3.3.3.1. Secagem térmica.....	27
3.4. Aspectos legais sobre resíduos de ETEs.....	28
3.4.1. Definição de resíduos sólidos	29
3.4.2. Lei Nº 6.938/81 – Política Nacional do Meio Ambiente	29
3.4.3. Lei Nº 9.605/98 – Lei dos Crimes Ambientais	30
3.4.4. Lei Nº 12.305/10 – Política Nacional de Resíduos Sólidos	30
3.4.5. Lei Nº 12.300/06 – Política Estadual de Resíduos Sólidos.....	32
3.4.6. Norma P 4.230/99 – CETESB	33
3.4.7. Resolução CONAMA Nº 375/06.....	33
3.4.8. Norma NBR 10004:2004.....	34

3.5. Disposição final de lodos de estação de tratamento de esgotos.....	36
3.5.1. Alternativas para disposição final.....	37
3.5.1.1. Uso agrícola.....	37
5.5.1.1.1. Potencial agrônômico	39
3.5.1.1.2. Critérios sanitários	40
3.5.1.1.3. Níveis de metais pesados	43
3.5.1.1.4. Compostos orgânicos tóxicos	47
3.5.1.1.5. Parâmetros de estabilidade	48
3.5.1.2. Aplicação em plantações florestais.....	49
3.5.1.3. Disposição em aterro sanitário.....	50
3.5.1.4. Reuso industrial	51
3.5.1.5. Incineração	51
3.5.1.6. Recuperação de solos.....	52
3.5.1.7. Landfarming	53
3.5.1.8. Disposição oceânica	53
4. DESCRIÇÃO DA ETE LIMOEIRO	55
4.1. Principais unidades da ETE	55
4.2. Dados de projeto da ETE Limoeiro	57
4.3. Condição de operação da ETE Limoeiro.....	57
5. MATERIAIS E MÉTODOS	60
5.1. Considerações gerais	60
5.2. Determinação de sólidos.....	61
5.3. Análises químicas.....	65
5.4. Análises biológicas e parâmetros químicos.....	67
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
7. CONCLUSÕES.....	88
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	90
9. REFERÊNCIAS	91

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Casali (2008), em relação às águas superficiais, embora o Brasil abrigue 13,7% de toda água doce do mundo, 73% desta água encontra-se disponível na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população. Diante deste fato, mesmo o Brasil, dispondo de recursos hídricos abundantes, devido à sua má distribuição, não está livre de ameaça de uma crise de abastecimento e problemas com a qualidade da água.

Hoje, a água potável já é considerada recurso escasso e finito. Estima-se que, a cada vinte anos, dobra o volume de água necessária à satisfação das necessidades humanas.

Em média 80% de toda água utilizada no meio urbano resulta em esgoto, seja ela de origem sanitária, industrial, entre outros.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (2008), embora 55,2% dos municípios brasileiros possuam redes coletoras de esgotos, apenas 28,5% contam com sistemas de tratamento, os quais tratam 68,8% de todo o esgoto coletado. Esses dados são um tanto preocupantes uma vez que impacta negativamente na qualidade de nossos recursos hídricos.

Assim sendo, os problemas de saneamento continuam sendo de grande preocupação no Brasil em decorrência da crescente urbanização e aglomeração da população nas cidades e núcleos urbanos. Esses fatos têm levado ao agravamento das condições ambientais, tornando cada vez mais inadequadas as condições de vida devido à poluição dos mananciais e corpos receptores das proximidades.

A falta de tratamento dos esgotos e condições adequadas de saneamento pode contribuir para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas. Aproximadamente, cinquenta tipos de infecções podem ser transmitidos de uma pessoa doente para uma sadia por diferentes caminhos, envolvendo os esgotos.

Epidemias de doenças como a febre tifóide, cólera, disenterias, hepatite infecciosa e inúmeros casos de verminoses, todas elas doenças de veiculação hídrica podem ser transmitidas pela disposição inadequada dos esgotos. Estas doenças são responsáveis por elevados índices de mortalidade em países do terceiro mundo, sendo as crianças suas vítimas mais freqüentes, uma vez que a associação dessas doenças à subnutrição é, geralmente, fatal. Como um exemplo da problemática pode-se citar o ocorrido na Inglaterra em 1848, quando ocorreu uma epidemia de cólera, que vitimou 25.000 pessoas (Metcalf & Eddy, 1977 *apud* Nuvolari, 2003).

Estudos têm mostrado que para cada real investido em saneamento básico, o país economiza cerca de quatro reais em saúde pública e que grande parte das internações hospitalares é decorrente de doenças causadas pela deficiência de higiene.

Deste modo, os esgotos se tornam grande problema, pois podem contaminar a água, os alimentos, os utensílios domésticos, as mãos, o solo ou serem transportados por moscas, baratas, roedores, provocando novas infecções.

Além da saúde pública, outra importante razão para tratar os esgotos é a proteção do meio ambiente. As substâncias presentes nos esgotos exercem ação deletéria nos corpos de água, a matéria orgânica presente pode causar a diminuição da concentração de (OD) oxigênio dissolvido provocando a morte de peixes e outros organismos aquáticos, eutrofização pela presença de nutrientes provocando o crescimento acelerado de algas que conferem odor, gosto e biotoxinas a água, escurecimento da água e assoreamento.

Porem no processo de tratamento de esgotos ocorre à produção de resíduos, denominado lodo de esgoto. Este resíduo ao final do processo de tratamento deve receber atenção especial, necessitando de adequada disposição final.

Contudo, constata-se que geralmente vários projetos de tratamento de esgotos não contemplam o destino final do lodo produzido, acarretando assim na perda parcial dos benefícios da coleta e do tratamento dos efluentes coletados.

Halley e Miller (1991) complementam que o tratamento e disposição de lodo devem ser gerenciados para minimizar problemas ambientais advindos da disposição inadequada como odor e lançamento no ambiente de contaminantes e patógenos.

Entretanto, para que se possa dar o destino correto ao lodo é necessário antes conhecer a sua composição real; por isso é fundamental que haja uma caracterização do resíduo a fim de conhecer seus componentes e proporcionar tratamento e disposição final correta.

Diante deste cenário, uma das preocupações dos administradores públicos e da população deve ser com o destino final do lodo gerado no processo de tratamento de esgotos, para que esse resíduo não se transforme em novo problema ambiental, mas sim tirar vantagens ambientais de sua disposição, o que consiste na motivação desta dissertação.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo o estudo que propõe caracterizar os parâmetros físico-químicos e indicadores microbiológicos de lodos desaguados em BAG's de manta geotêxtil da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Limoeiro, localizada no Município de Presidente Prudente-SP, sob gerencia da Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo – SABESP, bem como avaliar a eficiência do desaguamento ocorrida nos BAG's.

Para atingir este propósito, será necessária a realização dos objetivos específicos.

2.2. Objetivo específico

Os objetivos específicos desta proposta são:

- Analisar química e biologicamente o lodo desaguado gerado nos BAG's de manta geotêxtil da ETE Limoeiro;
- Analisar o lodo e classificá-lo de acordo com a Resolução Nº. 375/06, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA;
- Verificar as condições e eficiência de desaguamento dos lodos pelos BAG's de manta geotêxtil;
- Propor após resultados das análises, alternativas de disposição para o lodo em questão;
- Construção de um amostrador de lodos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Tratamento de esgotos

Segundo Von Sperling (1996), a remoção dos poluentes no tratamento de esgotos sanitários, de forma a adequar o lançamento e qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente está associada aos conceitos de nível de tratamento e eficiência do tratamento.

Assim sendo, o Quadro 01 mostra os níveis do tratamento dos esgotos sanitários e seus objetivos de remoção respectivamente.

Quadro 01. Níveis do Tratamento dos Esgotos Sanitários.

Nível	Remoção
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia).
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis, DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis).
Secundário	DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário), DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos).
Terciário	Nutrientes, Patogênicos, Compostos não biodegradáveis, Metais pesados, Sólidos inorgânicos dissolvidos, Sólidos em suspensão remanescente.

Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1996.

O esgoto sanitário é gerado a partir da água de abastecimento e, portanto, sua medida resulta da quantidade de água consumida (NUVOLARI *et al.*, 2003).

De acordo com Braga *et al.* (2005) esgoto é o termo usado para caracterizar despejos provenientes dos diversos usos da água, como o sanitário, comercial, industrial, agrícola e outros. Dependendo do tipo de uso da água, ele possui características muito específicas, daí a necessidade de se estudar, com o objetivo de tratamento e disposição, cada tipo de despejo isoladamente.

La Rovere *et al.* (2008) relata que o esgoto sanitário tem características conhecidas, variando em concentração de carga orgânica e na presença ou não de substâncias químicas, apresentando-se mais ou menos concentrado em função dos usos e costumes.

Resultantes do uso da água pelo homem em função dos seus hábitos higiênicos e de necessidades fisiológicas, os esgotos sanitários compõem-se,

basicamente, das águas de banho, urina, fezes, restos de comida, sabões, detergentes e águas de lavagem (BRAGA *et al.*, 2005).

Em geral as águas residuárias são compostas de 99,92% de líquido e 0,08% de sólidos. Estes sólidos são 70% orgânicos; proteínas, carboidratos, gorduras e óleos; e 30% inorgânicos; areia, minerais dissolvidos e metais (JORDÃO;PESSOA, 1995). Porém pode ser encontrado quantidades apreciáveis de contaminantes, refletindo as características do esgoto bruto do qual ele foi derivado.

Von Sperling (2005) relata que devido a essa fração de aproximadamente 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos.

De acordo com Takeuti (2003), o tratamento de esgoto sanitário consiste, basicamente, na modificação das características físico-químicas e biológicas dos mesmos.

Como a água é apenas o meio de transporte, os sólidos presentes são responsáveis pela deterioração da qualidade do corpo de água e, portanto, seu conhecimento revela-se muito importante para o conhecimento de qualquer sistema de tratamento de esgotos (BRAGA *et al.*, 2005).

Os sólidos podem ser classificados de acordo com o seu tamanho de partícula (suspensão e dissolvido), suas características químicas (voláteis e fixos) e quanto a sua decantabilidade (sedimentáveis e não sedimentáveis) (VON SPERLING, 1996; DACACH, 1991; JORDÃO & PESSOA, 1975).

Convencionalmente, os sólidos em suspensão são aqueles retidos por um filtro com tamanho de poro de 0,001 mm, logo os sólidos dissolvidos ou filtráveis são partículas com tamanho inferior a esse limite (VON SPERLING, 1996; DACACH, 1991). Segundo Dacach (1991), os sólidos em suspensão incluem os sólidos sedimentáveis, ou seja, a porção precipitada no cone de Imhoff em até 2 horas.

A matéria sólida total do esgoto pode ser definida como aquela que permanece como resíduo após evaporação a 103 °C. Quando este resíduo é calcinado a 600 °C, as substâncias orgânicas se volatilizam (sólidos voláteis) e as minerais permanecem sob forma de cinza (sólidos fixos) (JORDÃO; PESSOA, 1975).

Assim, existe uma parcela biodegradável e outra imune à degradação nos sólidos presentes do esgoto sanitário. O conhecimento do teor de cada parcela é

importante para os estudos relacionados às estações tratamento de esgoto e a poluição dos recursos hídricos (DACACH, 1991).

A Figura 01 apresenta distribuição típica entre os diversos tipos de sólidos presentes num esgoto bruto.

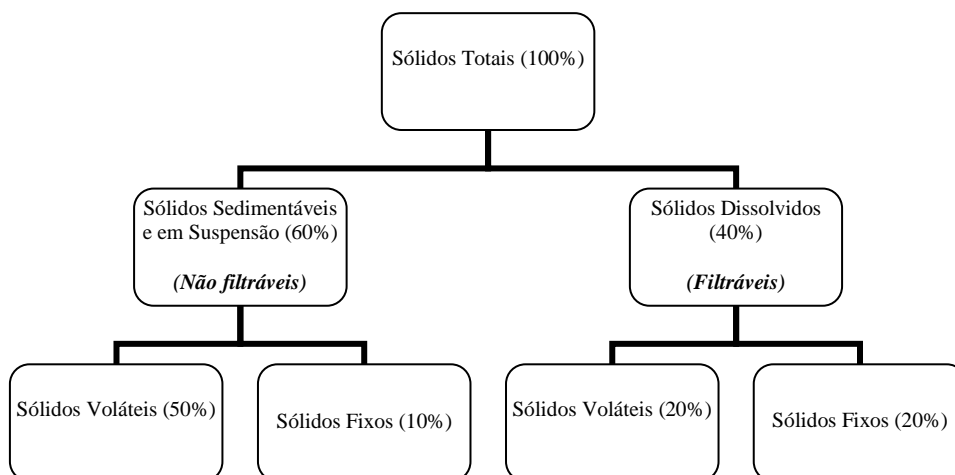


Figura 01 – Composição dos sólidos nos esgotos
Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (1975).

O esquema mostra que 60% dos sólidos presentes nos esgotos são sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão e os outros 40% são sólidos dissolvidos. Logo, faz-se necessário a remoção da parcela mais grosseira (60%) de modo que o processo de tratamento de efluentes seja realizado com a maior eficiência possível. Para isso, empregam-se mecanismos predominantemente físicos, como observado no Quadro 02, contemplados no tratamento preliminar e no tratamento primário.

Quadro 02. Principais Mecanismos de Remoção de Sólidos no Tratamento de Água.

Poluente	Dimensões	Principais mecanismos de remoção	
Sólidos	Sólidos grosseiros (>1cm)	Gradeamento	Retenção de sólidos com dimensões superiores ao espaçamento entre as barras
	Sólidos em suspensão (>1µm)	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior s do esgoto

Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1996.

3.1.1. Tratamento preliminar

Conforme Dacach (1991), o tratamento preliminar destina-se a remover por ação física o material grosseiro e uma parcela das partículas maiores em suspensão no esgoto. Von Sperling (1996) complementa que o tratamento preliminar destina-se à remoção de sólidos grosseiros e areia.

A remoção do material grosseiro processa-se através da grade, enquanto a remoção das partículas suspensas, através do desarenador e do tanque de gordura.

De acordo com Dacach (1991), na caixa-de-areia ficam retidas, por sedimentação, as partículas minerais pesadas com predominância de areia e no tanque de gordura, por flutuação, as partículas leves como as de óleo e graxa.

As principais finalidades são a proteção dos dispositivos de transporte de esgotos (bombas e tubulações), proteção das unidades de tratamento subseqüentes, proteção dos corpos receptores e aumento da eficiência de operação e desinfecção (JORDÃO;PESSOA, 1975). A Figura 02 ilustra o exemplo típico de tratamento preliminar.

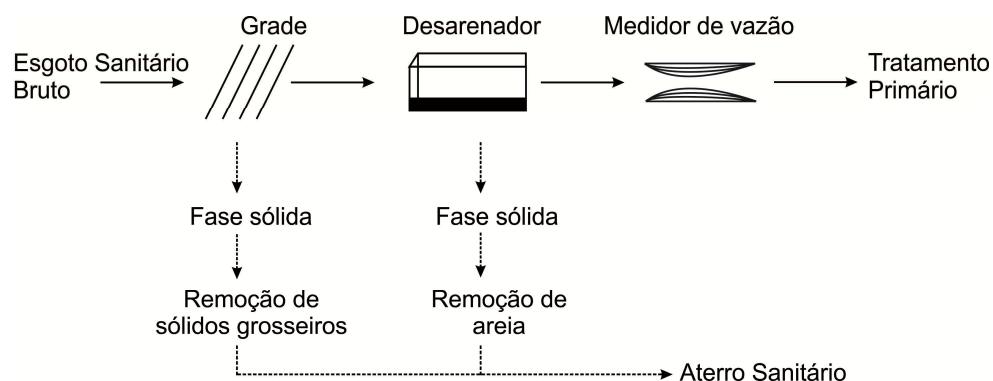


Figura 02 - Sistema típico usado no tratamento preliminar
Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

3.1.2. Tratamento primário

O tratamento primário destina-se essencialmente à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes. Após passarem pelas unidades de tratamento preliminar, os efluentes ainda contém sólidos em suspensão não grosseiros, os quais podem ser parcialmente removidos pela sedimentação (VON SPERLING, 1996). A remoção destes sólidos implica na redução da carga de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) dirigida ao tratamento secundário, onde sua remoção de certa forma é mais onerosa.

Os tanques de decantação, por sua vez, podem ser circulares, como ilustrado na Figura 03 ou retangulares. Os esgotos fluem vagarosamente permitindo que os sólidos em suspensão floculados, possuindo densidade maior do que o do líquido circundante sedimente-se gradualmente no fundo. Essa massa de sólidos é denominada lodo primário bruto (VON SPERLING, 1996), e o líquido é denominado decantado.

Em estações de tratamento de esgotos, o lodo é retirado por meio de uma tubulação única em tanques de pequenas dimensões ou através de raspadores mecânicos. Os materiais flutuantes, como graxas e óleos, não removidos nas caixas de gordura, são coletados superficialmente e removidos dos tanques.

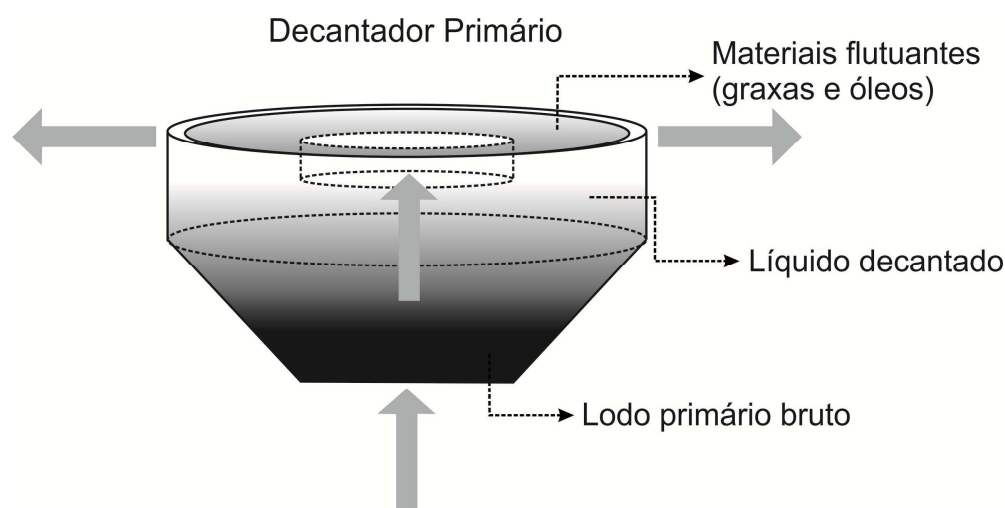


Figura 03 - Decantador primário circular
Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

3.1.3. Tratamento secundário

Conforme Von Sperling (1996), o principal objetivo do tratamento secundário é a remoção de matéria orgânica a qual se apresenta nas seguintes formas:

- matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel), a qual não é removida por processos meramente físicos, como o de sedimentação, que ocorre no tratamento primário;
- matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa ou particulada), a qual é em grande parte removida no tratamento primário, mas cujos sólidos de decantabilidade mais lenta persistem na massa líquida.

Segundo Fonseca *et. al.* (2006) os processos biológicos de remoção de matéria orgânica biodegradável constituem a alternativa mais interessante sob os pontos de vista técnicos e econômicos para a efetiva redução de concentração dos compostos predominantes no esgoto.

São considerados como processos biológicos de tratamento de esgotos os processos que dependem da ação de microorganismos presentes nos mesmos; os fenômenos inerentes à alimentação são predominantes na transformação dos componentes complexos em compostos simples, tais como: sais minerais, gás carbônico e outros (JORDÃO; PÊSSOA, 1995). Von Sperling (1996) reforça relatando que enquanto nos tratamentos preliminar e primário predominam mecanismos de ordem física, no tratamento secundário a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por microorganismos.

Os processos biológicos podem ser classificados como: aeróbios, ocorrem na presença de O₂; anaeróbios, ocorrem na ausência de O₂; e facultativos, onde os dois processos ocorrem ao mesmo tempo.

O tratamento secundário procura reproduzir, em dispositivos racionalmente projetados, os fenômenos biológicos observados na natureza, condicionando-os em área e tempo economicamente justificáveis. De acordo com Jordão e Pêsoa (1995) os principais exemplos de processos biológicos de tratamento são:

- Oxidação biológica (aeróbia, com lodos ativados, filtros biológicos, oxidação e lagoas de estabilização; e anaeróbia como reatores anaeróbios de fluxo ascendente);
- Digestão de lodo (aeróbia e anaeróbia, tanques sépticos).

Von Sperling (1996) salienta que existe uma grande variedade de métodos de tratamento a nível secundário, sendo os mais comuns: lagoas de estabilização e variantes, lodos ativados e variantes, filtros biológicos e variantes e tratamento anaeróbio.

3.1.4. Tratamento terciário

O tratamento terciário consiste num conjunto de tratamentos químicos, físicos e biológicos especializados na remoção de determinados poluentes que permanecem no efluente após terem passado pelos tratamentos anteriores (tratamento primário e secundário). O tipo de técnica utilizada depende principalmente da poluição ou contaminante que se pretende remover. Assim, é capaz de remover nutrientes (nitrogênio e fósforo), patogênicos, metais além de outros poluentes não retidos na etapa de tratamento primário e secundário (OLIVEIRA, 2008).

O tipo de tratamento mais utilizado para esgotos sanitários é a lagoa de maturação que retém parte dos sólidos sedimentáveis ainda contidos nos efluentes tratados. Possui três funções: decantador, tanque de homogeneização e tanque biológico, possibilitando uma maior redução de organismos patogênicos (OLIVEIRA, 2008). Após esta fase, o efluente resultante pode ser sujeito a desinfecção através de adsorção (com a utilização de carvão ativado) e, se necessário, tratamentos com membranas, cloro e processos oxidativos avançados (OLIVEIRA, 2008).

No caso dos efluentes industriais, a especificidade de remoção é maior, pois o processo de tratamento para remoção de poluentes é influenciado pelo processo produtivo. Observa-se o emprego do carvão ativado, da dessalinização, eletrodíálise, osmose reversa, remoção de nutrientes e outras remoções mais específicas que visam a alcançar os parâmetros de lançamentos ou reaproveitamento permitidos pela legislação ambiental como, por exemplo, a Resolução CONAMA N° 357/05.

Contudo, o tratamento terciário ainda é considerado dispendioso tanto na etapa de implantação como na operação do sistema e raramente é utilizado na prática. Entretanto, a concepção das novas instalações de tratamento de efluentes deve incluir os processos terciários por uma necessidade imposta pelas legislações em vigor e também por questões de ética ambiental.

3.1.5. Desinfecção

O esgoto, antes ou após sofrer qualquer modalidade de tratamento, pode ser submetido à desinfecção com o emprego de produtos químicos, como por exemplo, o cloro, que por certo tempo permanece em contato com a massa líquida no tanque de cloração.

3.2. Características dos lodos de esgotos sanitários

O processo de tratamento de esgotos sanitários gera basicamente três subprodutos, sendo eles, o efluente tratado, o lodo e o biogás, porém cabe ressaltar que o biogás somente é produzido quando em processo anaeróbico.

Contudo o lodo de esgoto sanitário é o resultado da remoção e concentração da matéria orgânica contida no esgoto bruto.

O termo empregado “*esgoto sanitário bruto*” ou “*esgoto bruto*”, refere-se às águas residuais não tratadas, oriundas de imóveis residenciais (casas e apartamentos), edifícios comerciais e indústrias. Essencialmente, é o resíduo líquido do processo de esgotamento sanitário de casas e empresas, geralmente composto de urina e fezes, bem como outros tipos de despejos humanos.

Porém, descarga de banheiro não é a única responsável pela criação do esgoto bruto, também pode ser o resultado da drenagem de zonas industriais, águas de lavagem e escoamento das águas pluviais.

Deste modo, a quantidade e a natureza do lodo dependem das características do esgoto bruto e do processo de tratamento empregado.

De acordo com Mocelin (2007), os lodos de esgotos, geralmente são classificados conforme os estágios de tratamento em que foram originados, sendo referenciados como lodo primário, lodo secundário ou lodo digerido.

Na fase primária do tratamento, o lodo é constituído pelos sólidos em suspensão removidos do esgoto bruto, e na fase secundária o lodo é composto, principalmente, pelos microorganismos (biomassa).

Segundo Leme (2010), os lodos primários são formados nos decantadores primários. Mocelin *apud* Miki (1998) complementa que este tipo de lodo é altamente putrescível, gera odores desagradáveis e contém elevadas concentrações de patógenos.

Conforme Leme (2010), os decantadores secundários originam um lodo secundário, diferente do primário por ser composto pela biomassa de

microorganismos, formada e sintetizada à custa de matéria orgânica existente, ou seja, é resultante da conversão biológica dos produtos solúveis.

Os lodos primários e secundários podem ainda ser designados como não digeridos “*lodo bruto*”. Pois, o lodo digerido, é o lodo bruto que sofre estabilização biológica, normalmente pela via anaeróbia (MOCELIN, 2007).

Esse lodo necessita ser removido e tratado para posterior disposição final em aterros e área agrícolas (LEME, 2007).

Ainda, de acordo com Leme (2007), o tratamento do lodo é feito por meio de redução de volume ou adensamento (via redução de umidade), redução de teor de matéria orgânica (via estabilização do lodo) e desidratação final (via redução adicional de umidade), pelo processo de desaguamento de lodo, originando o lodo desaguado.

O termo “*lodo desaguado*” é usado para o lodo bruto ou estabilizado que passa pelo processo de desidratação final, onde o mesmo pode ser disposto entre outras opções em BAG’s de manta geotêxtil, o qual funciona como um filtro permitindo a passagem somente dos líquidos, retendo somente o particulado no interior do BAG. Deste modo a água percolada, de baixa turbidez, pode ser reaproveitada e o lodo desaguado poderá ser reaproveitado quando permitido por agencias ambientais ou destinado para disposição final.

3.3. Métodos de desaguamento de lodos gerados em ETEs

O desaguamento ou remoção de parcela de água do lodo tem por objeto a redução de volume do lodo gerado. De acordo com Von Sperling (2001), a remoção de umidade é uma operação unitária fundamental para a redução de massa e volume do lodo em excesso a ser tratado ou descartado da estação de tratamento de esgotos.

A remoção da umidade exerce ainda influencia decisiva no manuseio do lodo, sendo que as principais razões para se realizar o desaguamento são:

- redução do custo de transporte para o local de disposição final;
- melhoria nas condições de manejo do lodo, pois o lodo desidratado é mais facilmente transportado;

- aumento do poder calorífico do lodo, pois através da remoção da umidade pode ser preparado para a incineração;
- redução de volume para disposição em aterro sanitário ou reuso na agricultura como biossólido;
- diminuição da produção de lixiviados quando da sua disposição em aterros sanitários.

De acordo com Von Sperling (2001), dependendo do tipo de lodo gerado, a capacidade de desaguamento do mesmo varia. Por exemplo, os lodos ativados são mais difíceis de serem desaguados do que os lodos primários digeridos anaerobicamente. Esta variação na capacidade de desaguamento está diretamente relacionada com o tipo de sólido e com a forma (água livre, água adsorvida, água capilar, água celular) com que a água está ligada às partículas do lodo. O desaguamento de lodos pode ser realizado através de meios naturais ou mecânicos.

Como verificado por Von Sperling (2001), os processos naturais utilizam a evaporação e a percolação como principais mecanismos de remoção de água, o que demanda tempo de exposição do lodo às condições que resultam no desaguamento. Operacionalmente os processos naturais de desaguamento são mais simples e baratos, mas demandam de maiores áreas e volumes para sua instalação. Já os processos mecanizados baseiam-se em mecanismos de filtração, compactação ou centrifugação para acelerar o desaguamento, resultando em unidades compactas e bem mais sofisticadas, sob o ponto de vista de operação e manutenção.

Cordeiro (1999) relata que em caso real de definição e implantação de tipo de sistema de desaguamento de resíduos, vários são os fatores que devem ser considerados, entre estes fatores podem ser citados: área necessária para implantação e seu custo, distância da estação até o destino final, condições climáticas, custo dos equipamentos, operação, preparo de recursos humanos para operação, necessidade de condicionamento, entre outros fatores. Von Sperling (2001) reforça explicando que diversas variáveis influenciam a seleção de um processo de desaguamento, mas o tipo de lodo e a área disponível são as mais importantes.

Em vista dos fatores que devem ser levados em consideração a implantação de um sistema desaguador de resíduos, estações de tratamento de esgotos ETEs de pequeno porte localizadas em regiões onde não existem restrições quanto à área, os processos naturais como leitos de secagem são considerados como a melhor

alternativa, do mesmo modo para ETEs de médio e grande porte situadas em regiões metropolitanas, os processos mecânicos são considerados como melhor alternativa.

Assim sendo, pode-se citar os principais processos utilizados para o desaguamento de lodos, como segue:

➤ ***Sistemas mecânicos:***

- Centrífugas;
- Filtro prensa de placa;
- Filtros a vácuo;
- Prensa desaguadora (Belt-Press)
- Prensa contipress.

➤ ***Sistemas naturais:***

- Lagoas de lodos;
- Leitos de secagem;
- BAG's (*malha geotêxtil*).

➤ ***Sistema de secagem térmica e incineração.***

- Processo que envolve o emprego de calor para desaguamento do lodo.

Para cada tipo de sistema de retirada de água de lodo, têm-se suas principais características, vantagens e desvantagem, no Quadro 03, são apresentados os principais processos utilizados para desaguamento de lodos e suas principais, características, vantagens e desvantagens.

Quadro 03. Principais Características dos Processos de Desaguamento de Lodos.

Característica	Processos naturais		Processos mecânicos			
	Leitos de secagem*	Lagoas de lodos	Centrifugas	Filtros a vácuo	Prensas desaguadoras	Filtros prensa
Demanda de água	+++	+++	+	++	+	+
Demanda de energia	-	-	++	+++	++	+++
Custo de implantação	+	+	+++	++	++	++
Complexidade operacional	+	+	++	++	++	+++
Demanda de manutenção	+	+	++	++	+++	+++
Complexidade de instalação	+	+	++	++	++	++
Influência do clima	+++	+++	+	+	+	+
Sensibilidade à qualidade do lodo	+	+	+++	++	++	++
Produtos químicos	+	-	+++	+++	+++	+++
Complexidade de remoção do lodo	++	+++	+	+	+	+
Teor de ST na torta	+++	++	++	+	++	+++
Odores e vetores	++	+++	+	+	+	+
Ruídos e vibrações	-	-	+++	++	++	++
Contaminação do lençol freático	++	+++	+	+	+	+

+ pouco, reduzido; +++ grande, elevado, muito / * ciclo de desaguamento de 30 dias

Fonte: Von Sperling (2001)

3.3.1. Sistemas mecânicos

3.3.1.1. Centrifugas

De acordo com Nunes (2001), as centrifugas como ilustrado na Figura 04, são utilizadas na desidratação de lodo através de forças centrífugas criadas por um tambor em rotação, cuja separação dos sólidos do líquido se dá através da deposição dos sólidos, onde as forças os empurram para a superfície do tambor. Von Sperling (2001) complementa que a centrifugação é um processo de separação sólido/líquido e que em uma primeira etapa de clarificação, as partículas sólidas que compõem o lodo sedimentam a uma velocidade muito superior ao o que ocorreria sob ação da gravidade, sendo que num segundo momento, ocorre a compactação, quando o lodo perde parte da água capilar sob ação prolongada da centrifugação.



Figura 04 - Centrifuga
(Centrifuga Pieralise Jumbo 2 Tipo Decantador, ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP)

Conforme Nunes (2001), o lodo que será desidratado pode ser proveniente do decantador ou adensador. Como nos outros sistemas de desidratação, a eficiência na remoção com concentrações mais elevadas de sólidos é conseguida com o emprego de condicionantes como cloreto férrico, cal ou polieletrólitos.

As concentrações de sólidos no lodo desidratado comumente chamado de torta situam-se entre 15 a 40%, conforme o tipo de lodo e uso de condicionantes químicos (NUNES, 2001).

Durante a escolha do melhor sistema mecânico de desidratação de lodos, a escolha da centrífuga em relação aos outros sistemas, deve ser feita analisando o grau de desidratação, área disponível, custos de instalação e operacionais, funcionamento contínuo ou descontínuo.

No que diz respeito ao desempenho do emprego da centrífuga para desidratação de lodo, as características que influenciam no desempenho são as mesmas que influenciam na decantação, sendo as principais variáveis a concentração de sólidos no lodo, o tipo de condicionamento, a vazão de alimentação e a temperatura e as propriedades do lodo a ser desaguado. Nunes (2001) relata que as partículas maiores são facilmente capturadas pelas centrífugas, ao passo que as partículas mais finas necessitam de condicionamento para adquirirem tamanho suficiente para serem capturadas.

3.3.1.2. Filtros prensa de placa

Segundo Von Sperling (2001), os filtros prensa, foram desenvolvidos para uso industrial e em seguida sofreram adaptações para serem utilizados no desaguamento de lodo.

De acordo com Nunes (2001), dois tipos de filtro prensa são mais usados, o filtro-prensa de esteira (Belt-Press) de funcionamento contínuo e o filtro prensa de placa de funcionamento em batelada, como ilustrado na Figura 05.



(a)



(b)

Figura 05 – Filtro prensa de placa

(a) Visada lateral, (b) Visada frontal

Fonte: Tecitec – Filtração e Tratamento de Efluentes

Os filtros prensas de funcionamento em batelada exigem a intervenção de operadores treinados, e têm como característica principal seu alto grau de confiabilidade.

As concentrações de sólidos na torta resultante dos filtros prensa situam-se entre 25 a 35%, conforme o tipo de lodo e uso de condicionantes químicos (NUNES, 2001).

Von Sperling (2001) relata que os filtros prensa são largamente utilizados na Europa, principalmente na Inglaterra, e estão se tornando populares nos Estados Unidos. Atualmente os filtros prensa são automatizados, reduzindo assim a necessidade de operadores treinados. O peso deste tipo de equipamento, seu custo de instalação e aquisição e a necessidade de substituição regular das telas ocasionam um fator limitante para as ETEs de médio e grande porte.

3.3.1.3. Prensa desaguadora (Belt-press)

Como verificado em Von Sperling (2001), as prensas desaguadoras, Figura 06, também denominadas filtros de prensa de correias, filtro de esteiras ou “belt-press”, apresentam processo de operação dividido em três etapas distintas.

- Zona de separação por peneiramento: localizada na entrada da prensa, o lodo é aplicado sobre a tela superior e a água livre percola sob ação da gravidade através dos furos existentes na tela.
- Zona de baixa pressão: a água livre ainda presente no resíduo após a zona de separação por peneiramento é totalmente retirada nessa fase e o lodo sofre suavemente uma compressão entre as telas superior e inferior.
- Zona de alta pressão: formada por vários roletes de diferentes diâmetros em série, o lodo é comprimido progressivamente entre as duas telas com o objetivo de liberar a água intersticial.



Figura 06 - Prensa desaguadora
Fonte: VLC – Indústria e Comércio Ltda.

Esse sistema de desaguamento por ser um equipamento aberto, apresenta como desvantagens a emissão de aerossol, elevado nível de ruído e emissão de odores desagradáveis. Segundo Von Sperling (2001), outra grande desvantagem deste tipo de prensa desaguadora é o elevado número de rolamentos, geralmente entre 40 e 50, o que exige acompanhamento e substituições regulares.

Apesar das desvantagens, o seu baixo custo de aquisição e o consumo reduzido de energia elétrica, apresentam-se como pontos positivos ao uso deste tipo de equipamento. Este tipo de prensa se popularizou durante a década de 80 e a tecnologia empregada é relativamente nova, mas vem sendo substituída pela centrifugas tipo decantadora apesar de seu maior custo.

3.3.1.4. Filtros a vácuo

Os filtros a vácuo, como o representado na Figura 07, foram muito utilizados nos países industrializados para desaguamento de lodos até a década de 70 (VON SPERLING, 2001). Apesar de apresentar concentração de sólidos entre 20 a 40% presente na torta gerada por esse sistema de desaguamento, sua utilização entrou em declínio na área de saneamento, devido a seu elevado consumo de energia e a menor eficiência quando comparado com processos mais modernos.



Figura 07 - Filtro de tambor a vácuo - Bokela

Fonte: Bokela Ingenieurgesellschaft für Mechanische Verfahrenstechnik mbH - Germany

Nunes (2001), explica que os meios filtrantes usados são tecidos de nylon, tela metálica ou molas metálicas entrelaçadas. O funcionamento consiste na aplicação de vácuo, ocorrendo à sucção do líquido, ficando os sólidos retidos na superfície do tambor e posteriormente raspados, caindo numa correia transportadora. Assim como nos outros sistemas de filtros, é preciso condicionar o lodo com cloreto férrico, cal ou polieletrólitos.

3.3.2. Sistemas naturais

3.3.2.1. Lagoas de lodos

Nunes (2001) cita que lagoas de lodos, como a ilustrada na Figura 08, são tanques destinados a receber lodo para posterior desidratação.



Figura 08 - Lagoa de lodo – ETE Araraquara
Fonte: DAAE - Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Araraquara

As lagoas de lodos servem para receber continuamente o lodo descartado da fase líquida da estação de tratamento de esgotos, permitindo que o adensamento e o desaguamento aconteçam de maneira mais eficiente possível.

Contudo, Nunes (2001), explica que quando a lagoa de lodo é projetada para receber lodo cru ou parcialmente digerido (lodo primário ou secundário) de lodos ativados convencionais (parcialmente digeridos) funciona como digestores de lodo e desidratação ao mesmo tempo.

A principal diferença entre este processo e os leitos de secagem reside no fato de que a evaporação é o principal mecanismo que influencia no desaguamento (VON SPERLING, 2001).

A retirada de água do lodo pode ser acelerada com a utilização de dispositivos que permitam a retirada da água sobrenadante em vários níveis após a carga de lodo. A lagoa depois de cheia também poderá ser desativada sem a remoção do lodo, a qual poderá servir como solução definitiva para a disposição final do resíduo.

Outra alternativa é a remoção do lodo da lagoa cheia, permitindo o reaproveitamento do reservatório e transformando a lagoa em processo contínuo de desaguamento.

A precipitação pluviométrica, a temperatura e as taxas de evaporação na região, juntamente com a carga de lodo que chega à lagoa, são as principais variáveis que influenciam no tamanho de sua área necessária a sua implantação.

Segundo Von Sperling (2001), os principais fatores que contribuem para os longos períodos de secagem do lodo neste tipo de processo são:

- grandes profundidades;
- alimentação contínua ou semi-contínua em pequenos intervalos;
- mistura de lodo úmido com lodo seco por ocasião da alimentação da lagoa;
- estratificação entre as camadas sólidas e líquidas indefinida;
- sistema de drenagem pouco eficiente, o que minimiza a percolação;
- períodos chuvosos e de pouca insolação;
- períodos prolongados de remoção do lodo das lagoas;
- possibilidade de influência das variações de nível do lençol freático.

3.3.2.2. Leitos de secagem

Segundo Crespo (2005), os leitos de secagem convencionais tem por objetivo desaguar por meios naturais os lodos de esgotos sanitários previamente digeridos. De acordo com o mesmo autor, este processo exige que o lodo esteja bem estabilizado.

Conforme Dacach (1991), os leitos de secagem são definidos como sendo uma ampla superfície plana e horizontal, ao nível do terreno, onde o lodo digerido fica exposto aos raios solares para perder umidade.

Crespo (2005) salienta que a digestão confere ao lodo uma densidade menor que a unitária, formando uma massa densa com maior porosidade. O material após sofrer a digestão tende a flutuar durante o processo de secagem, acumulando-se na superfície e permitindo o desprendimento do líquido intersticial pela parte inferior.

A Figura 09 mostra o esquema de um leito de secagem convencional em corte.

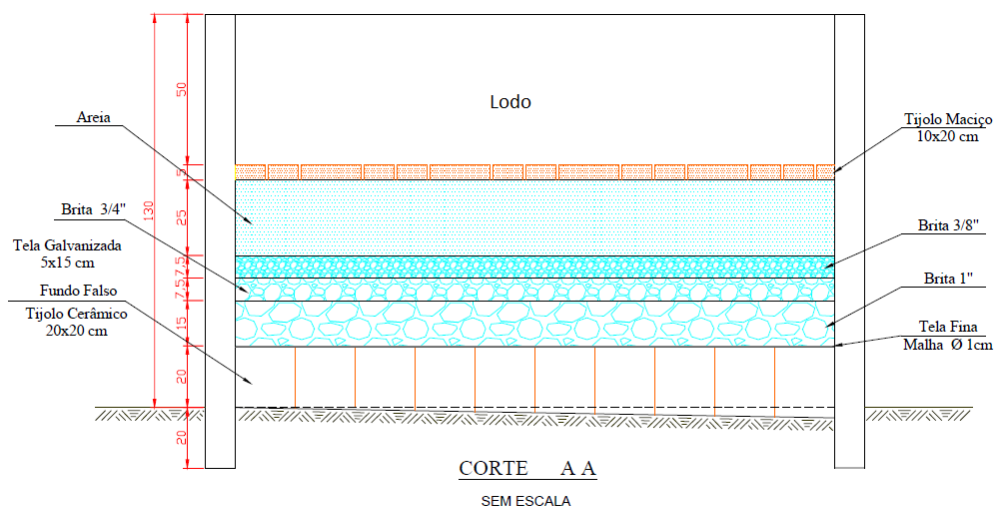


Figura 09 - Leito de secagem convencional (corte)
Fonte: Adaptado de SABINO (2007)

Como verificado em Reis (2010), algumas evoluções ocorreram neste tipo de sistema de desidratação de lodo através da aplicação de algumas técnicas com a finalidade de melhorar o processo de desaguamento.

Em pesquisas desenvolvidas por Cordeiro (2001), estudou-se a possibilidade de modificação da estrutura dos leitos de secagem tradicionais, onde foi observado que a colocação de manta geotêxtil sobre a camada filtrante do leito possibilita a remoção mais efetiva da água livre dos lodos, mesmo utilizando como meio filtrante areia de construção (grossa ou fina), ou seja, leito secagem modificado I e II. A este leito de secagem modificado com manta geotêxtil, foi denominando leito de drenagem.

A remoção de água por leito de drenagem consiste em duas etapas interdependentes, sendo uma delas a evaporação e a outra, a drenagem. A primeira depende mais de fatores climáticos enquanto que a segunda utiliza matas geotêxteis, que é um elemento filtrante para remoção de água.

A Figura 10 mostra o esquema de um leito de drenagem usando manta geotêxtil em corte.

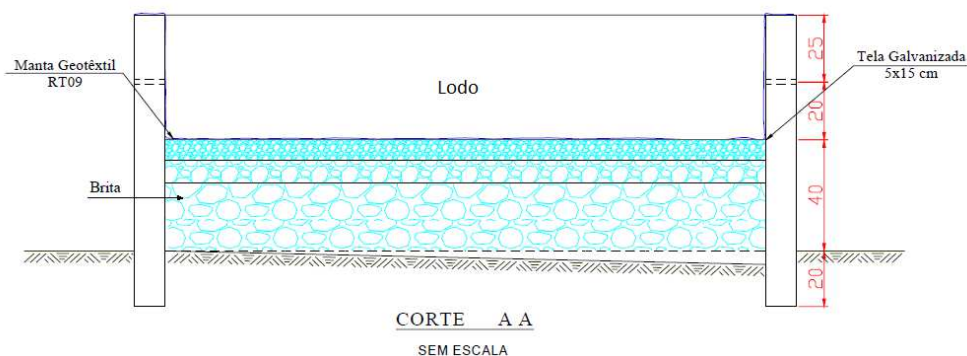


Figura 10 - Leitos de drenagem com manta geotêxtil (corte)
Fonte: Adaptado de SABINO (2007)

Crespo (2005) complementa que a malha de drenagem, prevista no fundo da unidade, permite a retirada e afastamento do líquido presente no esgoto.

O Quadro 04 mostra as vantagens e desvantagens da utilização de leitos de secagem.

Quadro 04. Vantagens e Desvantagens dos Leitos de Secagem.

Vantagens	Desvantagens
Baixo valor de investimento	Elevada área requerida
Simplicidade operacional	Necessidade de estabilização prévia do lodo
Baixo nível de atenção exigido	Influência significativa do clima no desempenho operacional do processo
Necessidade de operador com baixo nível de qualificação	Lenta remoção de torta seca
Baixo ou inexistente consumo de energia elétrica	Necessidade de elevada mão de obra para retirada da torta seca
Baixo ou inexistente consumo de produto químico	Elevado risco de liberação de odores desagradáveis e de proliferação de moscas
Baixa sensibilidade a variações nas características do lodo	Risco de contaminação de lençol freático, caso o fundo dos leitos e o sistema de drenagem não sejam bem executados
Torta com alto teor de sólidos	-----

Fonte: Von Sperling (2001)

Para efeito de eficiência, Nunes (2001) diz que em regiões de climas desfavoráveis, a secagem do lodo a uma concentração de sólidos de 30 a 40%, poderá ser realizada num período de 20 a 40 dias.

3.3.2.3. BAG's - Manta geotêxtil

De acordo com Barroso (2007), os filtros sintéticos, conhecidos como BAG's, são mantas permeáveis, flexíveis e finas produzidas a partir de fibras sintéticas. São produtos manufaturados a partir de diferentes polímeros e de variadas formas de fabricação.

Os BAG's de geotêxtil conforme Figura 11, são usados principalmente para o desaguamento de sedimentos contaminados, tendo inúmeras aplicabilidades, dentre elas, a contenção e desaguamento de lodo proveniente de processo de tratamento de esgotos. O funcionamento se dá através dos poros, consolidando o material sólido, reduzindo seu volume e conseqüentemente os custos de transporte e disposição final.

Os BAG's de manta geotêxtil proporcionam armazenamento que permite a desidratação contínua com o aumento em sólidos não sendo adversamente afetada pelo clima, esse sistema de deságue tem demonstrado ser capaz de capturar os contaminantes e sólidos para permitir que níveis seguros de filtrados sejam devolvidos ao meio ambiente.

Durante a fabricação da manta geotêxtil, a técnica utilizada na fabricação é que determina a estrutura da manta, ou seja, a estrutura de um geotêxtil é resultado do processo de combinações das fibras. Este processo pode dar origem aos geotêxteis conhecidos como tecidos, não-tecidos e tricotados.



Figura 11 - BAG de manta geotêxtil
(Allonda Geotube - ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP)

Os geotêxteis tecidos possuem arranjo de fios ordenados, com entrelaçamento dos mesmos em duas direções, sendo fabricados pelo processo de tecelagem. Os geotêxteis não-tecido possuem distribuição aleatória de fibras (monofilamentos constituídos ou cortados) sem direções preferenciais, sendo interligados por processos que envolvem ação mecânica/agulhagem, térmica ou química. Este tipo de geotêxtil, devido a sua estrutura mais complexa em relação aos tecidos, quando utilizados como filtros, não atuam com uma simples face, e sim como um meio tridimensional, já que a espessura torna a ser um parâmetro adicional. Conforme Freitas (2003), os geotêxteis tricotados são obtidos pela associação de técnicas de tricotagem e tecelagem na urdina.

A condição fundamental da utilização do geotêxtil como meio filtrante de esgotos de estação de tratamento de esgotos consiste na avaliação das propriedades essenciais para que o tipo escolhido de suporte a fase de instalação, bem como demonstre desempenho satisfatório no que se refere à sua vida útil. Porém, uma vez em uso, os geotêxteis encontram-se sujeitos a diversos processos de deterioração, com destaque para os de origem mecânica e química.

Cabe ressaltar que assim como nos outros sistemas de desidratação, a eficiência na remoção com concentrações mais elevadas de sólidos é conseguida com o emprego de polieletrólitos.

3.3.3. Sistema térmico

3.3.3.1. Secagem térmica

Não é de hoje que diversos países já utilizam a aplicação de calor para secagem e higienização de lodos.

O processo de secagem é feito através de equipamentos denominados secadores térmicos de lodos. Segundo Andreoli *et. al.* (1999), os principais tipos de secadores utilizados são: os secadores rotativos, secadores de dispersão de ar, secadores de leito fluidizado e os secadores de túnel. De acordo com o mesmo autor, a diferença entre estes sistemas diz respeito a como o lodo se movimenta durante a secagem e a forma e granulometria do produto final.

A Figura 12 ilustra um secador térmico do tipo rotativo.



Figura 12 – Secador Térmico Rotativo de Lodos - Bruthus
Fonte: Albrecht Equipamentos Industriais Ltda.

Os secadores térmicos são utilizados para a redução de peso, volume e umidade de lodos.

Segundo Von Sperling (2001), o tratamento térmico consiste na passagem do lodo por uma fonte de calor, de modo que provoque a evaporação da umidade existente no lodo e conseqüentemente à inativação térmica dos microorganismos.

O processo de secagem térmica é uma das mais eficientes e flexíveis formas de redução do teor de umidade de “tortas” oriundas do desaguamento de lodos orgânicos domésticos e industriais disponíveis atualmente em uso (VON SPERLING, 2001).

Este sistema de secagem pode ser utilizado em diferentes tipos de lodo, primário ou digerido, sendo recomendável um teor de sólidos na alimentação entre 15 e 30%, obtido através do processo de desaguamento.

De acordo com Farinha (2000), a secagem térmica é aplicada sempre que os meios mecânicos não podem ir mais longe. David (2002) relata que nesse processo, a vaporização ocorre em uma temperatura inferior àquela de ebulição do líquido na pressão do sistema.

De acordo com Von Sperling (2001), a redução da umidade a ser atingida pode ser controlada e o teor de sólidos do produto final depende da rota de disposição escolhida, pode ser citado como exemplos:

- Lodos destinados à incineração: necessitam de teores de sólidos entre 30-35%, para garantir a operação autotérmica do incinerador;
- Lodos para disposição em aterros sanitários: aconselhável um teor de sólidos em torno de 65%;
- Biossólidos destinados ao mercado agrícola através de venda no varejo (utilização restrita): necessitam de teores de sólidos acima de 90%.

3.4. Aspectos legais sobre resíduos de ETEs

Segundo Von Sperling (1996), a remoção dos poluentes no tratamento de esgotos sanitários, de forma a adequar o lançamento ou disposição final em uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente está associada aos conceitos de nível de tratamento e eficiência do tratamento. Sendo assim, com a necessidade de proteção do meio ambiente, leis e regulamentos contribuem para a restrição e controle de poluição estabelecendo padrões para lançamento ou disposição final, bem como conduta dos agentes responsáveis pelos sistemas de produção.

3.4.1. Definição de resíduos sólidos

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 10004:2004, a definição para resíduos sólidos compreende: resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Segundo a Lei Nº 12.305/10 que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a definição para resíduos sólidos compreende: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Para fins de definição cabe ressaltar que tanto o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA quanto a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, adotam a definição de resíduos sólidos de acordo com NBR 10004:2004.

3.4.2. Lei Nº 6.938/81 – Política Nacional do Meio Ambiente

A matéria do meio ambiente só foi introduzida em nosso ordenamento jurídico através da Lei 6.938/81, que estabeleceu a PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente, a qual constituiu o Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA e criou o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Esta mesma lei define como poluidor a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta e indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

As regulamentações sobre a proteção do meio ambiente são de responsabilidade do SISNAMA, que tem o papel de estabelecer o compromisso de garantir o equilíbrio entre os impactos gerados pela industrialização e a capacidade de suporte da natureza.

Os Estados brasileiros observando e levando em consideração suas características regionais, tem elaborado regulamentos específicos com padrões para controle de poluição do meio ambiente baseados nos padrões estabelecidos pelo SISNAMA.

3.4.3. Lei Nº 9.605/98 – Lei dos Crimes Ambientais

De acordo com a Lei 9.605/98 que dispõe sobre a Lei dos Crimes Ambientais, em seu Capítulo V – “Dos Crimes Contra o Meio Ambiente”, na Seção III – “Da Poluição e outros Crimes Ambientais”, no artigo 54, rege que se constitui crime: “*Causar poluição de qualquer natureza que resultem ou possam resultar danos à saúde humana, ou que provoque a morte de animais ou a destruição significativa da flora.*” No parágrafo 2º, inciso V, traz uma das condicionais com a sua respectiva sanção: “*Se o crime: (...) ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos (...) em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos. A pena prevista é de reclusão de um a cinco anos.*” (REIS, 2010). Como pode ser visto, esta lei impõe sanções penais a quem causar atividades lesivas ao meio ambiente e incrimina civil e penalmente, quem provocar, pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais, o perecimento de espécimes da fauna aquática existentes em rios, lagos, açudes, lagoas, baías ou águas jurisdicionais brasileiras.

Um ponto que deve ser ressaltado nesta legislação é o que rege em seu Capítulo I – “Disposições Gerais” no Art. 3º, o fato de responsabilizar o gerente que, sabendo da conduta criminosa de outrem, deixar de impedir a sua prática, quando podia agir para evitá-la. Sendo ainda que a responsabilidade das pessoas jurídicas não exclui a das pessoas físicas, autoras, co-autoras ou partícipes do mesmo fato.

De acordo com Fontana (2004), os gestores de sistemas produtores de resíduos, caso não respeitem essa lei, serão enquadrados no crime citado e terão que responder criminalmente pelo lançamento ou disposição inadequada dos resíduos gerados.

3.4.4. Lei Nº 12.305/10 – Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei Nº 12.305 sancionada em outubro de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Esta legislação impõe a sua observância por parte das pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos. Cabe

ressaltar que a nova legislação não se aplica aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica.

Deve-se observar que a referida lei, em seu Capítulo II, Art. 3º, Inciso XV, define rejeito como: “*resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada*”.

Referente à gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos no Capítulo I, Art. 9º, fixa uma ordem de prioridade na gestão e gerenciamento. Sendo a prioridade iniciada pela não geração dos mesmos, caso seja possível, seguida da redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Conforme a Seção V, Art. 20, parágrafo I, fica sujeito à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos entre outros, os geradores de resíduos sólidos urbanos e resíduos industriais.

Para a elaboração do plano de gerenciamento de resíduos sólidos ainda conforme a seção V, no Art. 21, o conteúdo mínimo a ser atendido compreende:

- “I - descrição do empreendimento ou atividade;*
 - II - diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados;*
 - III - observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa e, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:*
 - a) explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;*
 - b) definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador;*
 - IV - identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores;*
 - V - ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes;*
 - VI - metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, à reutilização e reciclagem;*
 - VII - se couber, ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, na forma do art. 31;*
 - VIII - medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos;*
 - IX - periodicidade de sua revisão, observado, se couber, o prazo de vigência da respectiva licença de operação a cargo dos órgãos do Sisnama.*
- § 1º O plano de gerenciamento de resíduos sólidos atenderá ao disposto no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos do respectivo Município, sem prejuízo das normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa.*

§ 2º A inexistência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não obsta a elaboração, a implementação ou a operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 3º Serão estabelecidos em regulamento:

I - normas sobre a exigibilidade e o conteúdo do plano de gerenciamento de resíduos sólidos relativo à atuação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

II - critérios e procedimentos simplificados para apresentação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos para microempresas e empresas de pequeno porte, assim consideradas as definidas nos incisos I e II do art. 3º da Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006, desde que as atividades por elas desenvolvidas não gerem resíduos perigosos.”

No que diz respeito às responsabilidades dos geradores, no Capítulo III - “Das Responsabilidades dos Geradores e do Poder Público”, Seção I, Art. 27, § 1º, rege que:

“A contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta as pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos”.

Ou seja, subtende-se neste § 1º, os resíduos gerados no sistema de tratamento de esgotos sanitários, propriamente o efluente e o lodo, pois o inciso remete aos resíduos gerados nas atividades dos serviços públicos de saneamento básico, excetuados o lixo domiciliar e o de varrição de acordo com a alínea “e”, do Art. 13º apresentado no Capítulo I.

3.4.5. Lei Nº 12.300/06 – Política Estadual de Resíduos Sólidos

A Política Estadual de Resíduos Sólidos no Estado de São Paulo foi instituída pela Lei Estadual Nº 12.300/06 para assegurar o uso adequado dos recursos ambientais. De acordo com o Art. 1º, inciso IX, desta lei, um dos princípios que esta lei adota é o princípio do poluidor-pagador o qual é uma norma de direito ambiental que consiste em obrigar o poluidor a arcar com os custos da reparação do dano por ele causado ao meio ambiente.

Esta lei enquadra como resíduos industriais os resíduos de ETEs, como disposto no Art. 6º, inciso II, a saber:

“resíduos industriais: os provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas em novos produtos, por processos específicos, (...), inclusive resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Água - ETAs e Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs”.

Contudo, vale salientar, que a referida Lei Nº 12.300/06, trata o lodo de esgoto como resíduo de origem industrial, impondo em seu Art. 32º, aos geradores de resíduos industriais a responsabilidade pelo seu gerenciamento, desde a sua geração até a sua disposição final.

3.4.6. Norma P 4.230/99 – CETESB

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, fundamentando-se na legislação da USEPA (United State Environmental Protection Agency) e recomendações Alemãs, desenvolveu a Norma P 4.230/99, a qual estabelece os procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas, visando atendimento de exigências ambientais, aplicada a todos os sistemas operados no Estado de São Paulo.

Esta norma refere-se exclusivamente a lodos oriundos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários e industriais. Porém a P 4.230/99 estabelece que os lodos de sistemas de tratamento biológico e os de despejos líquidos sanitários tratados de forma adequada para sua aplicação na agricultura, também denominados biossólidos, serão denominados simplesmente lodos e determinou que a utilização do lodo em áreas agrícolas só será aceita se proporcionar um benefício para a cultura pretendida para o local e se forem obedecidos os critérios ambientais estabelecidos nesta norma.

3.4.7. Resolução CONAMA Nº 375/06

A Resolução CONAMA Nº 375/06 define critérios e procedimentos, para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente. Esta mesma resolução leva em consideração que os lodos de esgoto correspondem a uma fonte potencial de riscos à saúde pública e ao meio ambiente e potencializam a proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos. Considera ainda que devido a fatores naturais e acidentais que os lodos de esgotos são resíduos que podem conter metais tóxicos, compostos orgânicos persistentes e patógenos em concentrações nocivas à saúde e ao meio ambiente e dispõe da necessidade de dispor os lodos provenientes de estações de tratamento de esgotos sanitários de forma adequada à proteção do meio ambiente e da saúde da população.

Fica claro que a Resolução CONAMA Nº 375/06, mesmo dispondo da possibilidade de uso do lodo de esgotos na agricultura, que o mesmo para sua produção, compra, venda, cessão, empréstimo ou permuta do lodo de esgoto e seus produtos derivados, além do previsto na referida resolução, deverá ser observado o disposto no Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Outros dois pontos importantes e que devem ser observados nesta resolução é o disposto em seu Art. 3º nos § 1º § 2º, da não aplicabilidade desta resolução para lodo proveniente de estação de tratamento de efluentes de processos industriais, juntamente a vetação para utilização agrícola de lodo proveniente de estação de tratamento de efluentes de instalações hospitalares, portos e aeroportos, bem como resíduos de gradeamento e de desarenador, materiais lipídico sobrenadantes de decantadores primários, das caixas de gordura e dos reatores anaeróbicos, lodos provenientes de sistema de tratamento individual, coletados por veículos, antes de seu tratamento por uma estação de tratamento de esgotos, lodo de esgoto não estabilizado e lodos classificados como perigosos de acordo com as normas vigentes.

Ainda de acordo com o Art. 7º da mesma lei, a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado deve incluir os aspectos:

- I – potencial agrônômico;
- II – substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas;
- III- indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos;
- IV – estabilidade.

3.4.8. Norma NBR 10004:2004

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a norma NBR 10004:2004 que trata sobre os resíduos sólidos e proporciona a sua classificação foi elaborada em 1987 e revisada em 2004. Esta norma foi baseada no Regulamento Técnico Federal Norte-Americano denominado “*Code of Federal Regulation (CFR) – title 40 – Protection of environmental – Part 260-265 – Hazardous waste management*”.

O objetivo desta norma é a classificação dos resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, considerando seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Contudo esta norma não objetiva-se a permitir ou não a utilização de resíduos sólidos, cabendo a mesma

somente classificá-lo como perigosos ou não perigosos, e assim servir como uma ferramenta aos diversos setores envolvidos com o gerenciamento de resíduos sólidos.

Portanto, segundo a NBR 10004:2004, os lodos desaguados são considerados como resíduos sólidos, e devem estar sujeitos a todas as regulamentações especificadas nesta norma.

Quando o lodo passa por algum sistema de desaguamento (leitões de secagem, filtros, centrifugas, etc.) o produto resultante é uma pasta semi-sólida denominada torta ou lodo seco. O lodo neste estado passa a ser considerado como um resíduo sólido.

Para gestão dos resíduos sólidos a ABNT possui normas que tratam sobre o assunto, como segue:

- NBR 10004:2004: é a norma que trata sobre os resíduos e proporciona a sua classificação;
- NBR 10005:2004: é a norma que trata sobre a lixiviação dos resíduos e proporciona o método de ensaio;
- NBR 10006:2004: é a norma que trata sobre a solubilização de resíduos e proporciona o método de ensaio;
- NBR 10007:2004: é a norma que trata sobre a amostragem de resíduos e proporciona os procedimentos.

Conforme a norma NBR 10004:2004, os resíduos sólidos classificam-se em:

- resíduos classe I: Perigosos;
- resíduos classe II: Não perigosos;
 - resíduos classe II A – Não inertes.
 - resíduos classe II B – Inertes.

Deste modo, os lodos desaguados provenientes de estação de tratamento de esgotos são considerados como resíduos sólidos não perigosos enquadrados na Classe II A – Não inertes da NBR 10004:2004. Assim, podem ter como destinação final a incineração, a compostagem com lixo urbano, lançamento no mar desde que tenham autorização das autoridades competentes, landfarming, disposição nos aterros sanitários de resíduos urbanos. Porém cabe ressaltar, que o lodo de ETE que tem suas

características modificadas por contaminação de efluentes industriais passa a ser enquadrado na Classe I – Perigosos e exigir aterros.

No caso para disposição no solo de lodo seco provenientes de indústrias que realizam tratamento combinado com esgotos sanitários, devem-se tomar os cuidados de verificar a presença de ovos de áscaris e não utilizá-lo sem tratamento (cru / ativo) e como bio sólido para hortas.

3.5. Disposição final de lodos de estação de tratamento de esgotos

Nas estações de tratamento de esgotos, o lodo gerado apresenta-se no sistema operacional de uma ETE como um dos principais problemas quanto a sua disposição final.

Segundo Andreoli *et. al.* (1999), os seguintes aspectos deverão ser bem conhecidos antes de se decidir sobre a forma e o local de destino final.

- produção e caracterização do lodo gerado na estação de tratamento;
- presença de esgotos industriais no sistema, capaz de atribuir características especiais ao lodo, especialmente no que se refere ao conteúdo de metais tóxicos;
- quantidade de lodo gerado na estação de tratamento;
- características que possam interferir com o sistema de disposição final.

Entretanto para a disposição final ambientalmente correta desse tipo de resíduo, normas e leis foram regidas para servir como ferramentas de gestão para esse tipo de resíduo. Deste modo, no tópico “4.5.1. Alternativas para disposição final” serão apresentados os parâmetros a serem alcançados regidos na Norma P 4.230/99 da CETESB e na Resolução CONAMA 375/06.

Apesar de alguns parâmetros serem mais restritivos quando confrontados entre a Norma P 4.230/99 e a Resolução CONAMA 375/06, os mesmos serão apresentados com a finalidade de comparação, porem este trabalho seguirá o que rege a Resolução CONAMA 375/06, mas cabe ressaltar, que se deve sempre seguir a lei mais restritiva.

3.5.1. Alternativas para disposição final

Conforme Andreoli *et. al.* (1999) e Tsutiya (2002) existem várias alternativas tecnicamente aceitáveis para a disposição final do lodo. O Quadro 05 mostra as alternativas mais usuais para o aproveitamento deste resíduo.

Quadro 05. Alternativas para o Aproveitamento e/ou Disposição Final do Lodo.

Alternativa	Aproveitamento e/ou disposição final
Uso agrícola	Aplicação direta no solo, fertilizante e solo sintético (N-Viro Soil)
Aplicação em plantações florestais	Adubo
Disposição em aterro sanitário	Aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos
Reuso industrial	Produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmicas e produção de cimento
Incineração	Incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos
Recuperação de solos	Recuperação de áreas degradadas e recuperação de área de mineração
Disposição oceânica	Disposição final

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2002).

3.5.1.1. Uso agrícola

De acordo com Melo *et. al.* (2002), o biossólido é o produto obtido do processo de tratamento e deságüe do lodo bruto de ETE. Quando devidamente seco, higienizado e estabilizado, o lodo de esgoto recebe o nome de biossólido.

Entretanto, Costa (2004) verifica que há divergências entre pesquisadores quanto ao termo a ser utilizado. Os que utilizam o termo lodo de esgoto pretendem que ele continue sendo tratado como um resíduo, já os que utilizam o termo biossólido, pretendem passar uma melhor imagem favorecendo sua maior demanda.

De acordo com Deschamps e Favaretto (2001), a utilização do lodo de esgoto como adubo orgânico tem sido mencionada como uma alternativa para o destino final deste resíduo principalmente pelo seu alto teor de nutrientes e pela sua atuação como condicionante das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Em Maldonado (2005), a matéria orgânica, pela sua capacidade de melhorar as características físicas e biológicas do solo, é uma das razões importantes para seu uso na agricultura.

Conforme Andreoli *et. al.* (1999), a utilização do biossólido na agricultura é ambientalmente a solução mais correta, pois promove o retorno dos nutrientes ao solo, exercendo a manutenção da fertilidade. Há que se considerar que as propriedades do biossólido são semelhantes a outros produtos orgânicos usados normalmente na agricultura, portanto, em termos de resultados agronômicos, o biossólido poderia ser aplicado à maioria das culturas (ZEITOUNI, 2005).

Alem de melhorar a fertilidade do solo, Zeitouni (2005), em pesquisa a várias bibliografias, explica que a matéria orgânica contida nos biossólidos pode aumentar o

conteúdo de húmus que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência dos agregados.

Porém, segundo o mesmo autor, para a aplicação dos biossólidos na agricultura é necessário que essa atividade seja regulamentada, de modo que se fixem as condições e restrições para que estes possam ser aplicados de forma segura para a população e ao ambiente.

Portanto, segundo Costa (2004), a avaliação da qualidade do lodo é necessária para determinar a viabilidade do biossólido para aplicação na agricultura e para controlar a adição de nutrientes e metais tóxicos no solo. Ainda conforme o autor, a composição do lodo de esgoto pode variar em função das características do esgoto sanitário, do sistema de tratamento (aeróbio ou anaeróbio) e do processo de higienização e secagem adotado. Porém, estas variações nas características do esgoto devem ser mensuradas com frequência e conforme a Resolução CONAMA N° 375/2006, a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir os aspectos de potencial agrônomico, substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas, indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos, estabilidade.

Porém algumas exigências são feitas pela Resolução CONAMA N° 375/2006 quanto as culturas aptas a receberem lodo de esgoto ou produto derivado, de acordo com o que rege na Seção IV, Art. 12°, incisos 1° e 2°, a saber:

“Art. 12. É proibida a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo.

§ 1o Em solos onde for aplicado lodo de esgoto ou produto derivado, as pastagens poderão ser implantadas após um período mínimo de 24 meses da última aplicação.

§ 2o Em solos onde for aplicado lodo de esgoto ou produto derivado, somente poderão ser cultivadas olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo bem como cultivos inundáveis, após um período mínimo de 48 meses da última aplicação.”

5.5.1.1.1. Potencial agronômico

Como mencionado por Melo *et. al.* (2002), há vários processos para se conseguir a descontaminação das águas servidas, assim como para o tratamento do lodo de esgoto obtido, o que aliado à origem do esgoto, faz com que a composição química e biológica do biossólido seja muito variável, sendo um material ainda rico em matéria orgânica (40-60%), em nitrogênio e em alguns micronutrientes, como o zinco, ferro, manganês e cobre.

Andreoli *et. al.* (1999), complementa que o interesse agrícola pelo lodo de esgoto esta associado principalmente ao seu teor de nutrientes (macro e micronutrientes) e ao conteúdo de matéria orgânica. São considerados macronutrientes: (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, B, Cl) (MELO *et. al.*, 2002).

O biossólido conforme Melo *et. al.* (2002), contém todos os nutrientes essenciais e benéficos para o desenvolvimento dos vegetais e que são ainda, considerados elementos benéficos para as plantas (Co, Ni, Si, V).

Porem, a Norma P 4.230/99, rege que a utilização do lodo em áreas agrícolas só será aceita se proporcionar um beneficio para a cultura pretendida para o local e forem obedecidos os critérios ambientais estabelecidos na referida norma.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 375/2006, para a caracterização do potencial agronômico do lodo de esgoto ou produto derivado deverão ser determinados os seguintes parâmetros.

- carbono orgânico;
- fósforo total;
- nitrogênio Kjeldahl;
- nitrogênio nitrato/nitrito;
- pH em água (1:10);
- potássio total;
- sódio total;
- enxofre total;
- magnésio total;
- umidade;
- sólidos voláteis e totais.

3.5.1.1.2. Critérios sanitários

Andreoli *et. al.*(1999) cita que a presença de patógenos, principalmente de parasitas (helmintos e protozoários) é indesejada no lodo quer pelos riscos às pessoas que efetuam a sua manipulação, quer pela sobrevivência dos microrganismos patogênicos após sua aplicação e contaminação das partes das culturas que mantêm contato direto com o bioestabilizado. Melo *et. al.* (2002), complementa que em relação à presença de organismos que possam causar doenças nos animais e, principalmente, no homem, há que se considerarem dois aspectos:

- a presença dos organismos no bioestabilizado;
- o comportamento dos agentes patogênicos no ambiente, seja no solo ou na superfície dos vegetais.

Conforme Andreoli *et. al.* (1999), entre os microrganismos patógenos, são particularmente importantes os estreptococos, *Salmonella* SP., *Shigella* SP., larvas e ovos de helmintos, protozoários (cistos) e vírus (enterovírus e rotavírus). De acordo ainda com autor, enquanto alguns destes patógenos não suportam o ambiente edáfico por mais de algumas horas, outros, como ovos de helmintos, podem permanecer viáveis por vários anos. Em Berton (2000) *apud* Page *et. al.* (1983), reforça mostrando no Quadro 06, o tempo de sobrevivência de diversos tipos de patógenos no solo e nas plantas.

Quadro 06. Tempo de Sobrevivência de Diversos Tipos de Patógenos no Solo e nas Plantas.

Patógenos	Tempo máximo no solo	Tempo médio no solo	Tempo máximo na planta	Tempo médio na planta
Bactéria	1 ano	2 meses	6 meses	1 mês
Vírus	6 meses	3 meses	2 meses	1 mês
Protozoário	10 dias	2 dias	5 dias	2 dias
Helmintos	7 anos	2 anos	5 meses	1 mês

Fonte: Berton (2000) *apud* Page *et. al.* (1983)

De acordo com Melo *et. al.* (2002), um bioestabilizado de boa qualidade deve passar por um processo de desinfecção, dentre eles o tratamento com cal, o uso de radiações ionizantes, a compostagem e a vermicompostagem.

Segundo Andraus *et. al.* (2001), em conformidade com os modelos de análise de risco utilizados pela EPA, em 1991, o risco de infecção de bactérias patogênicas no

lodo tratado é pequeno, porém há vários fatores que podem determinar o crescimento destas bactérias no solo, no lodo compostado ou lodo desidratado. Ainda de acordo com autor, os modelos indicam ainda que existam riscos de contaminação somente onde a concentração de bactérias no lodo de esgoto é significativamente alta ou porque altas taxas de aplicação são usadas.

A Norma P 4.230/99 classifica o lodo quanto à presença de patógenos e tratamento de redução de patógenos, enquadrando os lodos em classes A e B, dependendo das características do tratamento a que forem submetidos.

Como verificado na Norma P. 4.230 da CETESB, em 1999, o lodo é considerado classe A se o processo adotado para o seu tratamento, quanto à redução adicional de patógenos, for aprovado pelo Órgão de Controle Ambiental como capaz de produzir este efeito. Deve ainda ser analisado quanto à presença de coliformes fecais e *Salmonella SP*, no momento de seu uso ou disposição no solo agrícola ou no momento da entrega a terceiros responsáveis pela aplicação. Em relação aos processos de redução de patógenos aceitos pela CETESB como capazes de promover redução adicional de patógenos, os mesmo encontram-se no Anexo B, da referida norma em seu item B.1. Os limites indicados para a classificação dos lodos para a classe A, quanto à presença de patógenos e para o tratamento de redução de patógenos aceitos pela CETESB estão indicados na Tabela 01.

Tabela 01. Presença de Patógenos – Classe A.

Critérios de classificação - Limites para a densidade dos organismos especificados	Processos de redução adicional de patógenos
	Compostagem
	Secagem térmica
Coliformes fecais, densidade inferior a 10^3 NMP/g ST ¹	Tratamento térmico
<i>Salmonella sp</i> , densidade inferior a 3 NMP/4g ST ¹	Digestão aeróbia termofílica
	Irradiação
	Pasteurização

1- NMP/g ST (número mais provável por grama de sólidos totais)

Fonte: Norma P 4.230 – CETESB (1999)

Ainda segundo a mesma norma, para o lodo ser considerado classe B, é necessário, que tenha sido aceito pelo Órgão de Controle Ambiental o processo adotado para seu tratamento visando à redução de patógenos e a obtenção do resultado

do monitoramento de coliformes fecais no lodo preparado para aplicação no solo, no momento do uso, disposição ou da entrega a terceiros responsáveis pela aplicação.

Os limites indicados para a classificação dos lodos para a classe B, quanto à presença de patógenos e para o tratamento de redução de patógenos aceitos pela CETESB estão indicados na Tabela 02.

Tabela 02. Presença de Patógenos – Classe B.

Critérios de classificação - Limites para a densidade dos organismos especificados	Processos de redução adicional de patógenos
	Digestão aeróbia
Coliformes fecais, densidade inferior a 2×10^6 NMP/g ST ¹	Secagem em leitos de areia
Coliformes fecais: média geométrica da densidade de coliformes fecais de sete amostras inferior a 2×10^6 NMP/g ST ¹ ou 2×10^6 UFC/g ST ² .	Digestão anaeróbia
	Compostagem
	Estabilização com cal

1- NMP/g ST (número mais provável por grama de sólidos totais)

2- UFC/g ST (unidades formadoras de colônias por grama de sólidos totais)

Fonte: Norma P 4.230 – CETESB (1999)

Melo *et. al.* (2002), salienta que apenas lodos classe A e B podem ser usados para fins agrícolas.

Assim como a Norma P 4.230/99 da CETESB, a Resolução CONAMA N° 375/2006, também define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.

A Resolução CONAMA N° 375/2006, rege que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto, para terem sua aplicação na agricultura, deverão ser submetidos a processo de redução de patógenos, e também os classifica de acordo com o quantitativo de patogênicos em lodos classes A e B.

Na Seção I, inciso 5°, a Resolução CONAMA N° 375/2006, estabelece que:

“§ 5° Para a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos, deverão ser determinadas, de acordo com os Anexos II e IV desta Resolução, e as concentrações de:

I - coliformes termotolerantes;

II - ovos viáveis de helmintos;

III - Salmonella; e

IV - vírus entéricos.”

A Tabela 03 mostra a classificação dos lodos ou dos produtos derivados em relação aos agentes patogênicos, de acordo com a Resolução CONAMA Nº 375/2006.

Tabela 03. Classes de Lodo de Esgoto ou Produto Derivado – Agentes Patogênicos.

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes termotolerantes < 10 ³ NMP/g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo/g de ST
	<i>Salmonella</i> ausência em 10g de ST
	Vírus < 0,25 UTF ou UFF/g de ST
B	Coliformes termotolerantes < 10 ⁶ NMP/g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos/g de ST

ST: Sólidos Totais / NMP: Número mais provável / UFF: Unidade formadora de foco / UFP: Unidade formadora de placa

Fonte: Resolução CONAMA Nº 375/2006

3.5.1.1.3. Níveis de metais pesados

Andreoli *et. al.* (1999), elucida que a principal limitação a ser observada durante a avaliação da possibilidade da utilização de bio-sólidos em áreas agrícolas se refere à presença de poluentes, entre eles os metais tóxicos comumente conhecidos como metais pesados. De acordo com Marques *et. al.* (2002), como simplificação, o termo “metal pesado” é atribuído a elementos químicos que apresentam massa específica maior que 5 g/cm⁻³, entretanto, pode-se definir metal pesado como sendo qualquer elemento (metal, semimetal ou não metal) que esteja associado a problemas de poluição.

Segundo Marques *et. al.* (2002), a composição dos bio-sólidos, em termos de metais pesados, varia com o nível sócio-econômico e cultural da população, grau de industrialização da região e do porcentual que os esgotos industriais representam no total de esgotos gerados e tratado. Conforme o mesmo autor, a utilização de bio-sólido em solos cultivados, como fertilizantes condicionadores do solo, existe a possibilidade desses elementos, em suas formas mais perigosas, serem absorvidos pelas plantas e acumulados em tecidos que poderiam servir de alimentos para animais e humanos.

De acordo com Marques *et. al.* (2002), existem duas teorias sobre os eventos que podem ocorrer quando se procede à adição de metais pesados em solos, através da

disposição de bioossólidos. A primeira é conhecida como teoria do platô e a segunda conhecida como teoria da bomba relógio. Conforme Quintana (2006), a teoria do platô defende que a capacidade de adsorção de um metal é constante durante sua permanência no solo, quando prevalecem formas do elemento parcialmente disponível às plantas. Característica atribuída ao lodo de esgoto, fonte e regulador dessa disponibilidade ao mesmo tempo. Segundo Marques *et. al.* (2002), a teoria da bomba relógio também considera que a capacidade de adsorção de um determinado metal no solo tende a aumentar com a adição de bioossólidos, como resultado dos acréscimos proporcionados nos teores de matéria orgânica. O autor retrata que esses incrementos na capacidade de adsorção, tenderiam a regredir aos níveis iniciais, em consequência da decomposição da matéria orgânica adicionada e da interrupção das aplicações de bioossólido. De acordo com Quintana (2006), assim, os metais disponíveis no solo aumentariam, colocando em risco o ambiente e a possibilidade de penetrar na cadeia alimentar.

Conforme Tsutiya (2002), bioossólidos contendo metais pesados poluentes em concentrações superiores aos limites estabelecidos pela CETESB, em 1999, não são aceitáveis para a aplicação em solo agrícola.

A CETESB, em 1999, em sua Norma P 4.230, estabelece que os bioossólidos contendo metais pesados em concentrações superiores aos limites estabelecidos na Tabela 04, não serão aceitáveis para a aplicação em solo agrícola.

Tabela 04. Concentrações Limites de Metais Pesados.

Metal	Concentração máxima permitida no lodo (base seca) mg/kg
Arsênio	75
Cádmio	85
Cobre	4300
Chumbo	840
Mercúrio	57
Molibdênio	75
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	7500

Fonte: Norma P 4.230 – CETESB (1999)

Referente à taxa de aplicação em função do teor de metais, a norma rege que deverão ser respeitados os limites quanto à aplicação de metais no solo, de acordo com a Tabela 05.

Tabela 05. Taxa de Aplicação Anual Máxima de Metais em Solos Agrícolas Tratados com Lodos.

Metal	Taxa de aplicação anual máxima (kg/ha/período de 365 dias)
Arsênio	2,0
Cádmio	1,9
Cobre	75
Chumbo	15
Mercúrio	0,85
Níquel	21
Selênio	5,0
Zinco	140

Fonte: Norma P 4.230 – CETESB (1999)

No que se refere aos limites de acumulação de metais no solo, Tabela 06, a Norma P 4.230 rege que a carga acumulada deve ser calculada com base na soma das cargas, considerando o teor de metal no lodo e as taxas de cada aplicação. Também deverão ser respeitados os limites de concentração de metais no solo, a serem definidos pelo Órgão de Controle Ambiental, observando-se os resultados analíticos do solo superficial (camada 0-20 cm) antes da programação de novas aplicações.

Tabela 06. Cargas Cumulativas Máximas Permissíveis de Metais pela Aplicação de Lodo em Solos Agrícolas.

Metal	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo (kg/ha)
Arsênio	41
Cádmio	39
Cobre	1500
Chumbo	300
Mercúrio	17
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: Norma P 4.230 – CETESB (1999)

A Resolução CONAMA N° 375/2006, assim como a Norma P 4.230/99 rege sobre os limites máximos de substâncias inorgânicas no lodo de esgoto ou produto derivado para disposição na agricultura, como pode ser visto na Tabela 07. Porém cabe ressaltar que a Resolução CONAMA N° 375/2006 é mais restritiva que a Norma P 4.230/99 em relação à concentração máxima permitida de substâncias inorgânicas no lodo de esgoto ou produto derivado. Ainda de acordo com a referida resolução, à carga máxima acumulada de metais pela aplicação de lodo ou produto derivado no solo, também apresenta caráter mais restritivo quando comparada a Norma P 4.230/99 conforme pode ser verificado na Tabela 08. Deste modo, deve-se seguir a norma de maior restrição.

Tabela 07. Lodos de Esgoto ou Produto Derivado – Substâncias Inorgânicas.

Substâncias inorgânicas	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: Resolução CONAMA N° 375/2006

Tabela 08. Cargas Acumuladas Teóricas Permitidas de Substâncias Inorgânicas pela Aplicação de Lodo de Esgoto ou Produto Derivado em Solos Agrícolas.

Substâncias inorgânicas	Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado (kg/ha)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromo	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Fonte: Resolução CONAMA N° 375/2006

3.5.1.1.4. Compostos orgânicos tóxicos

Apesar de todos os anteriores serem atendidos, o lodo de esgoto pode apresentar em sua composição elementos orgânicos tóxicos. De acordo com Miranda (2010) *apud* Fernandes e Silva (1999), estes compostos orgânicos podem estar presentes no lodo de esgoto devido a fatores de contaminação como: doméstica, através de restos de solventes, pinturas, detergentes; efluentes industriais, principalmente as indústrias químicas; e águas pluviais, que se infiltram na rede coletora de esgoto carreando resíduos de produtos utilizados em veículos automotores, pesticidas etc.

Para a disposição do lodo na agricultura, visando à segurança humana e ao meio ambiente, a Resolução CONAMA N° 375/2006, em seu Anexo V, lista as substâncias orgânicas a serem determinadas no lodo de esgoto ou produto derivado e no solo. O Quadro 07 lista as substâncias orgânicas potencialmente tóxicas e a Tabela 09 a concentrações permitidas em solos agrícolas.

Quadro 07. Substâncias Orgânicas Potencialmente Tóxicas a serem determinadas no Lodo de Esgoto ou no Produto Derivado.

Substância	
Benzenos clorados	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
1,2 – Diclorobenzeno	Benzo(a)antraceno
1,3 – Diclorobenzeno	Benzo(a)pireno
1,4 – Diclorobenzeno	Benzo(k)fluoranteno
1,2,3 – Triclorobenzeno	Indeno(1,2,3-c,d)pireno
1,2,4 – Triclorobenzeno	Naftaleno
1,3,5 – Triclorobenzeno	Fenantreno
1,2,3,4 - Tetraclorobenzeno	Lindano
1,2,4,5 - Tetraclorobenzeno	Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's) Constantes da Convenção de Estocolmo
1,2,3,5 - Tetraclorobenzeno	Aldrin
Ésteres de ftalatos	Dieldrin
Di-n-butil ftalato	Endrin
Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	Clordano
Dimetil ftalato	Heptaclo
Fenóis não clorados	DDT
Cresóis	Toxafeno
Fenóis clorados	Mirex
2,4 – Diclorofenol	Hexaclorobenzeno
2,4,6 – Triclorofenol	PCB's
Pentaclorofenol	Dioxinas e furanos

Fonte: Resolução CONAMA N° 375/2006

Tabela 09. Concentrações Permitidas de Substâncias em Solos Agrícolas.

Substância	Concentração permitida no solo (mg/kg)
Bezenos clorados	
1,2 – Diclorobenzeno	0,73
1,3 – Diclorobenzeno	0,39
1,4 – Diclorobenzeno	0,39
1,2,3 – Triclorobenzeno	0,01
1,2,4 – Triclorobenzeno	0,011
1,3,5 – Triclorobenzeno	0,5
1,2,3,4 - Tetraclorobenzeno	0,16
1,2,4,5 - Tetraclorobenzeno	0,01
1,2,3,5 - Tetraclorobenzeno	0,0065
Ésteres de ftalatos	
Di-n-butil ftalato	0,7
Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	1
Dimetil ftalato	0,25
Fenóis não clorados	
Cresóis	0,16
Fenóis clorados	
2,4 – Diclorofenol	0,031
2,4,6 – Triclorofenol	2,4
Pentaclorofenol	0,16
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	
Benzo(a)antraceno	0,025
Benzo(a)pireno	0,052
Benzo(k)fluoranteno	0,38
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,031
Naftaleno	0,12
Fenantreno	3,3
Lindano	0,001

Fonte: Resolução CONAMA N° 375/2006

3.5.1.1.5. Parâmetros de estabilidade

Segundo Andreoli *et. al.* (1999), problemas como atração de insetos vetores e liberação de odores podem ser vivenciados nos locais de armazenamento do lodo, e podem causar a recontaminação do lodo por agentes patogênicos transmitidos por insetos. Estas ocorrências estão associadas à má condição de estabilização da matéria orgânica do lodo, que ainda apresenta grande conteúdo de sólidos voláteis que deveriam ter sido eliminados durante o processo de tratamento de esgoto.

Conforme a Resolução CONAMA N° 375/2006, a descrição de redução significativa de patógenos, redução adicional de patógenos e atratividade de vetores, foram baseadas no estabelecido pela U.S.EPA, conforme 40 CFR Part 503 – Appendix B, Federal Register, de 19 de fevereiro de 1993. A referida resolução em seu Anexo I lista os processos aceitos para redução significativa de patógenos (necessários para a

obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo B), redução adicional de patógenos (necessário para a obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo A) e redução de atratividade de vetores.

Andreoli *et. al.* (1999), relata que a Norma Norte Americana 40 CFR Part 503 aponta como parâmetros de estabilização: odor, redução de patógenos, toxicidade, taxa de absorção de O₂, atividade enzimática, DBO, DQO, nitratos, pH e alcalinidade, viscosidade, ATP e DNA, valor calorífico, redução de sólidos voláteis e teor de cinzas. Todos esses parâmetros apresentam vantagens e restrições como indicadores de estabilidade.

3.5.1.2. Aplicação em plantações florestais

No Brasil e, particularmente no Estado de São Paulo, as áreas florestais com espécies de eucaliptos e pinheiros, utilizadas para a produção de celulose e madeira para serraria, ocupam uma superfície de aproximadamente 300.000 hectares e poderiam ser beneficiadas com o uso do biossólido (TSUTIYA, 2002).

Neto *et. al.* (2007), relata que devido à crescente demanda por produtos de origens florestais, necessidade e perspectiva de ampliação das áreas destinadas ao plantio de florestas homogêneas e baixa fertilidade dos solos destinados a esta atividade, forçam o aumento no consumo de fertilizantes no setor florestal.

Segundo Zeitouni (2005), devido às florestas ocuparem extensas áreas, eventuais diminuições no uso de fertilizantes minerais podem constituir substanciais reduções nos custos da produção florestal.

Conforme Guedes (2005), a aplicação em plantações florestais apresenta uma série de vantagens em comparação com sistemas agrícolas. Este autor cita como vantagens que os produtos das culturas florestais, normalmente não são comestíveis, diminuindo o risco quanto à entrada de possíveis contaminantes na cadeia alimentar. Tsutiya (2002), cita que este risco de contaminação da cadeia alimentar pode ser gerenciado desde que cuidados prévios sejam tomados em relação à localização dos talhões e a forma e dosagem de aplicação do lodo, que em principio, poderia ser efetuada com intervalos variando de 5 a 7 anos.

Conforme consta na Seção V, Art. 15, VII da Resolução CONAMA N. 375/2006, não será permitida a aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado em área agrícola cuja declividade das parcelas ultrapasse 18% no caso de aplicação

subsuperficial em sulcos, e no caso de aplicação sem incorporação em áreas para produção florestal.

3.5.1.3. Disposição em aterro sanitário

De acordo com Araújo (2008), a disposição do lodo em aterros sanitários como rejeito constitui uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, que visa evitar danos à saúde pública e a minimização dos impactos ambientais. O mesmo autor relata que nesta modalidade de disposição, não há o interesse em aproveitar os nutrientes do lodo.

Zeitouni (2005) *apud* Tsutiya (2001), cita que de acordo com os critérios de engenharia e normas operacionais específicas, é possível proporcionar o confinamento seguro do lodo (normalmente, recobrimento com argila selecionada e compactada em níveis satisfatórios), evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais. Assim, o aterro serve para atender a diversos objetivos, como a absorção dos lodos ETE que contiverem características inadequadas para os usos pretendidos, absorção de volume lodos ETE excedentes à demanda, disposição de cinzas de incineração e garantia de disposição final adequada independentemente de quaisquer fatores (ZEITOUNI, 2005).

Conforme Araújo (2008) existem duas modalidades de disposição:

- Aterro exclusivo: que recebe apenas lodo. O teor de sólidos deve ser superior a 30% ou mesmo seco termicamente;
- Có-disposição com resíduos sólidos urbanos: nesta modalidade o lodo é misturado com os resíduos urbanos.

A mistura do lodo com os resíduos urbanos acelera o processo de biodegradação, porém reduz a vida útil do aterro caso a quantidade de lodo disposta seja significativa (ARAÚJO, 2008).

Segundo a Lei Nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o lodo de ETE é definido como rejeito quando depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente correta.

3.5.1.4. Reuso industrial

O reuso industrial tem como base a utilização do lodo em substituição total ou parcial de alguma matéria prima ou a sua incorporação na fabricação de algum material. Dentre as alternativas para o aproveitamento do lodo no reuso industrial, podemos citar a produção de agregado leve para construção civil, produção de cimento, fabricação de tijolos e cerâmica.

Araújo (2008) em seus estudos demonstra a possibilidade da incorporação de lodos de ETE como matéria prima na fabricação de cerâmica vermelha. Em ensaios realizados pelo mesmo autor, os resultados apontaram que seria possível utilizar uma composição de até 25% de lodo de ETE na composição das massas, contando que a temperatura de queima fosse suficientemente alta para sinterizar os corpos-de-prova e atribuir propriedades que se adequassem as normas brasileiras.

3.5.1.5. Incineração

A incineração é um processo de combustão controlada (em instalação própria), que permite a redução em volume e em peso, dos resíduos sólidos, em cerca de 90 e 60%, respectivamente. Os resíduos são transformados em gases, calor e materiais inertes (CASTRO, 2010).

Araújo (2008) complementa que o volume de cinzas é da ordem de 4% do volume de lodo desidratado que entra no incinerador, e durante a incineração, as substâncias orgânicas presentes são destruídas pela combustão, na presença de excesso de oxigênio. Normalmente a incineração se processa em fornos de múltiplos estágios ou em fornalhas de leito fluidizado.

Para que o lodo atinja condições autógenas de combustão, é necessário que o teor de sólidos seja superior a 35%. Segundo Araújo (2008), os elementos combustíveis do lodo são carbono, enxofre e hidrogênio, existentes no resíduo na forma de gordura, carboidratos e proteínas. O mesmo autor relata que na combustão completa do lodo, os produtos finais são o vapor d'água, dióxido de carbono, dióxido de enxofre e cinza inerte.

Andreoli *et. al.* (1999), afirma que a incineração apresenta elevado custo por tonelada tratada e problemas secundários de poluição atmosférica, restando ainda nesse processo à destinação final das cinzas, mostrando-se adequada a aplicação desta técnica em grandes centros ou em situações onde a qualidade do lodo impede sua reciclagem na agricultura, geralmente relacionado ao seu conteúdo de metais tóxicos.

Araújo (2008) *apud* Santos (2003) relata que os riscos de disposição das cinzas estão vinculados a possível lixiviação dos metais, o que torna desaconselhável a sua utilização no solo, sendo o mais recomendado a sua disposição em aterros sanitários.

3.5.1.6. Recuperação de solos

De acordo com Zeitouni (2005) *apud* Tsutiya (2001), o lodo de esgoto pode ser utilizado para recuperar áreas degradadas, cujos solos sofreram profundas alterações físico-químicas e morfológicas, e conseqüentemente, apresentam condições impróprias ao desenvolvimento de vegetação.

A matéria orgânica deste tipo de resíduo é o principal modificador do complexo coloidal do solo, alterando significativamente suas propriedades físicas e químicas. (CAMPOS, 2006 *apud* BETTIOL; CAMARGO, 2000). Conforme Zeitouni (2005) *apud* Jorge *et. al.* (1991), o lodo atua como um condicionador, melhorando a formação de agregados, a infiltração, a retenção de água e a aeração do solo. Assim, dentre as técnicas de recuperação de solos, Correia (2009) cita que a recuperação de solos associando-se o uso de lodo de esgoto com espécies florestais nativas traz vantagens como: redução do custo de fertilizantes; absorção de nutrientes durante boa parte do ano por plantas perenes, capacidade de imobilizar grandes quantidades de nutrientes e metais tóxicos pela grande produção e distribuição de carbono orgânico.

Como exemplo típico de aplicação desta técnica, estudos realizados por Colodro *et. al.* (2007), demonstraram a viabilidade da recuperação de solo degradado tratado com lodo de esgoto em um experimento instalado em um Latossolo Vermelho decaptado, localizado em uma área de ensino e pesquisa da Universidade Estadual Paulista (UNESP), no município de Selvíria-MS, na margem direita do Rio Paraná.

A área utilizada no experimento foi o local utilizado há 35 anos, onde uma camada de 6 m de espessura de solo foi retirada e destinada às obras de construção da Usina Hidroelétrica de Ilha Solteira-SP, totalizando 700 ha de solo decaptado.

Os resultados obtidos no estudo desenvolvido por Colodro *et. al.* (2007), mostraram que o lodo de esgoto promoveu o aumento na atividade microbiana, avaliada pelo carbono do CO₂ liberado, o qual constituiu um indicativo de qualidade adequado ao monitoramento da melhoria da área em recuperação para um curto período de observação.

3.5.1.7. Landfarming

O processo de landfarming tem como base as propriedades físico-químicas do solo e de sua intensa atividade microbiana, que promovem além da biodegradação, a transformação e fixação dos constituintes presentes nos resíduos tratados, minimizando os riscos de contaminação ambiental.

Conforme Santos (2003), o objetivo é a biodegradação de resíduos orgânicos e retenção de metais na camada superficial do solo.

De acordo com Guaracho (2005), quando se trata de resíduos passíveis de biodegradação, a disposição final pode ser realizada, de maneira segura e econômica, utilizando o landfarming. Porém, Duarte (2008), cita que apesar da técnica de landfarming ser uma alternativa de menor custo, também exige grande disponibilidade de área, à semelhança dos aterros.

Andreoli *et. al.* (1999), complementa citando que nesta técnica não há preocupação em reciclar os nutrientes do lodo, apenas decompor a matéria orgânica no solo e que a mesma é uma boa alternativa para um plano de emergência.

3.5.1.8. Disposição oceânica

A disposição oceânica dos lodos é mais barata, principalmente se este estiver contaminado por produtos químicos. As diretrizes das Nações Unidas determinam que se o lodo não tiver contaminantes suficientes para causar eutrofização ou por em risco à saúde humana, ele é passível de disposição oceânica (ARAÚJO, 2008).

Segundo Andreoli *et. al.* (1999), este tipo de disposição final de lodo não é mais utilizada por grande parte dos países.

Em Oliveira (2006) *apud* Vincent e Cristchley (1984), está prática começa a entrar em desuso na década de 70, devido às diversas práticas de destino final de lodo sem estudos adequados e por falta controles ambientais.

De acordo com Malta (2001) *apud* Vincent e Cristchley (1984), na década de 70, ocorreram três convenções internacionais com a finalidade de fixarem acordos para controlar a disposição de resíduos no mar. Em 1972 ocorreu a Convenção de Oslo, que teve por finalidade a preservação da poluição marinha, onde foi emitida uma declaração que foi assinada e ratificada por 13 países banhados pelo Mar do Norte e Atlântico Nordeste.

Em 1972 foi realizada a Convenção de Londres, similar à Convenção de Oslo, porém aplicável a todos os mares e oceanos, tendo sido assinada por 60 países.

Logo após, em 1974 ocorreu a Convenção de Paris, similar às Convenções de Oslo e Londres, mas aplicável à poluição proveniente de fontes terrestres, particularmente via tubulações, sendo assinado pela Comunidade Européia e mais de 14 países europeus margeados pelo Atlântico Nordeste.

Apesar de vários países não adotarem mais esta prática, no Brasil ainda é uma alternativa em uso. De acordo com a Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A. – Embasa, em maio de 2011 foi inaugurado o Sistema de Disposição Oceânica do Jaguaribe, com a finalidade de ampliação do índice de cobertura do serviço de esgotamento sanitário na capital baiana de 85% para 90% até 2012.

Conforme a empresa baiana, o sistema irá beneficiar 400 mil pessoas, e, segundo projeções do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em 2030 serão 1,9 milhões de pessoas atendidas.

O sistema vai permitir a ampliação da rede de esgotamento sanitário de Salvador, atendendo a região da Orla da Boca do Rio até a Praia do Flamengo, as bacias do Alto Pituaçu, Águas Claras, Trobogy, Médio Jaguaribe e Mangabeira, além de, futuramente, integrar o sistema de esgotamento do Município de Lauro de Freitas.

4. DESCRIÇÃO DA ETE LIMOEIRO

4.1. Principais unidades da ETE

A Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Limoeiro, ilustrada na Figura 13, sob gerencia da SABESP, está localizada a 800 metros aproximadamente do Km 8 da Rodovia Júlio Budiski, situada em área rural na zona sudoeste do Município de Presidente Prudente, na bacia do Córrego do Limoeiro.

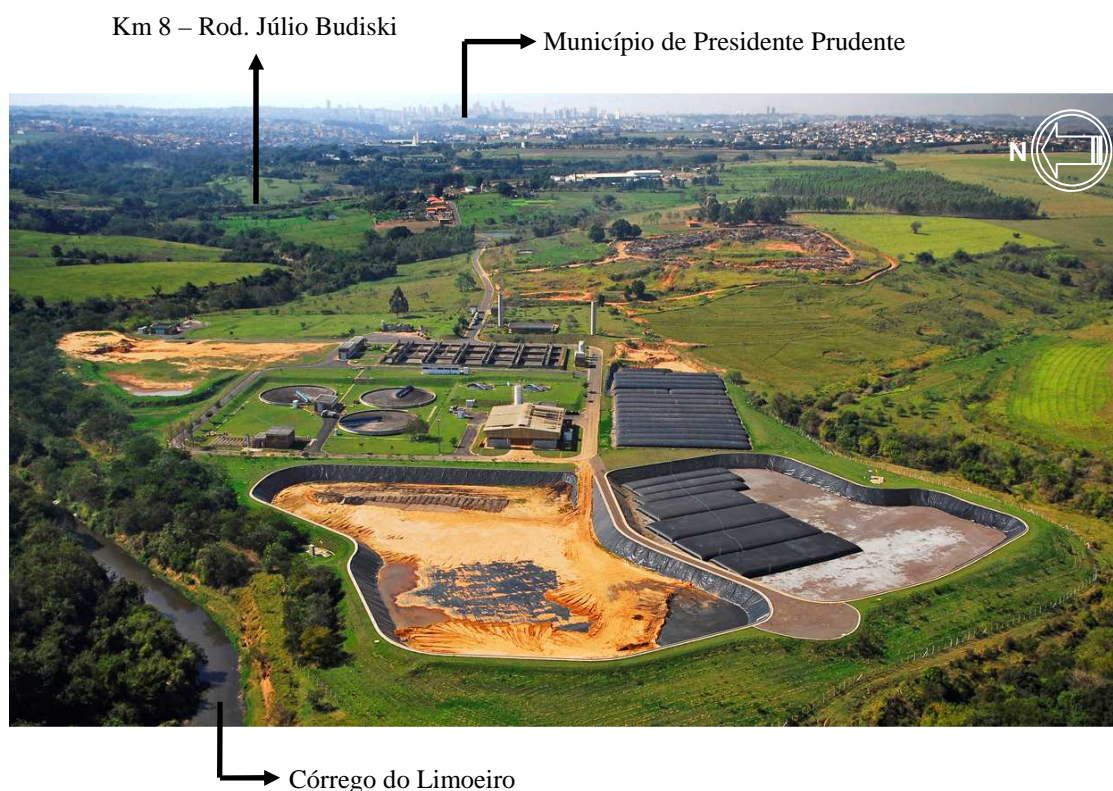


Figura 13 – Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Limoeiro
Fonte: (SABESP, 2011)

De acordo com Peixoto (2008), a ETE foi projetada para tratar os esgotos do Município de Presidente Prudente e os esgotos provenientes do Município vizinho Álvares Machado. O Projeto da Estação de Tratamento de Esgotos é formado pelas unidades de tratamento, conforme pode ser visto no esquema da Figura 14.

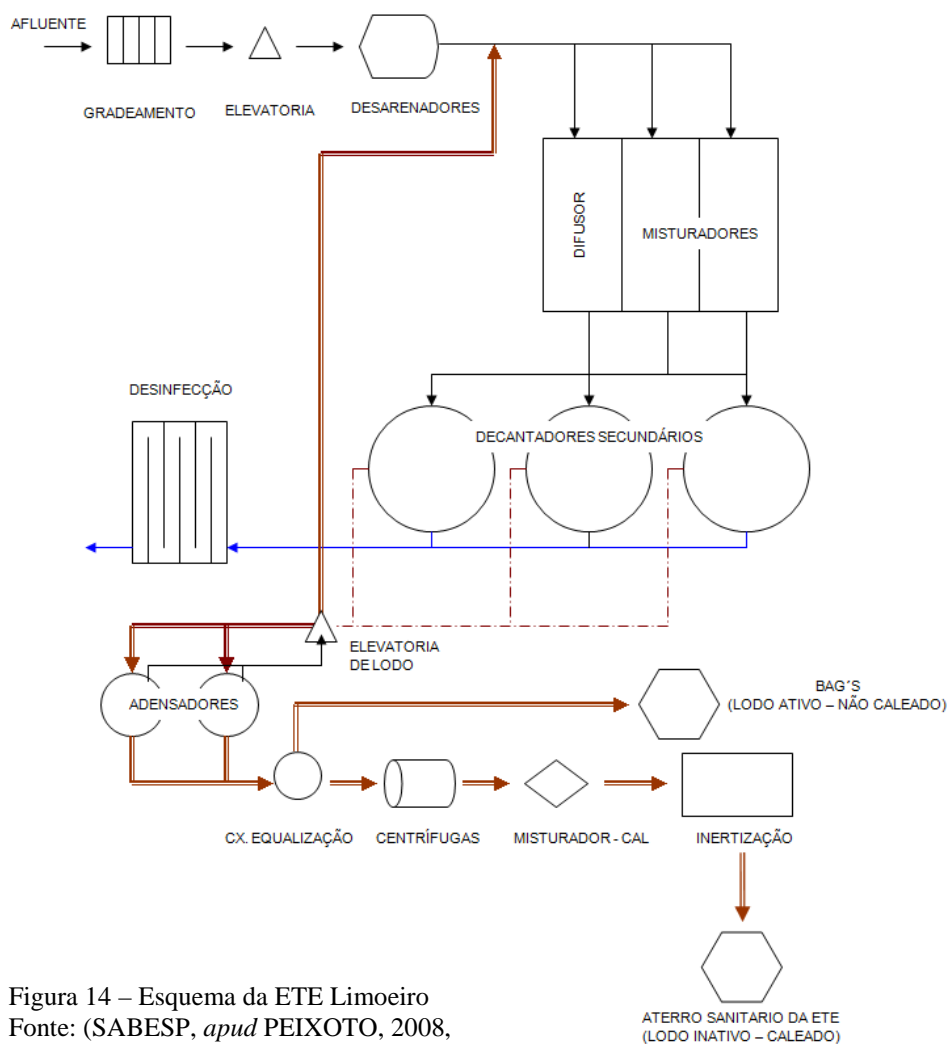


Figura 14 – Esquema da ETE Limoeiro
 Fonte: (SABESP, *apud* PEIXOTO, 2008,

De acordo com a Figura 14, a estação não possui a característica de uma ETE do tipo convencional para o tratamento de esgotos por lodos ativados por não possuir a unidade de decantação primária. Para uma ETE ser do tipo convencional é necessário que haja as unidades de decantação primária, aeração e decantação secundária.

Segundo Peixoto (2008), pela ausência da unidade de decantação primária, a ETE Limoeiro pode ser considerada como sendo uma ETE por lodos ativados de aeração prolongada.

4.2. Dados de projeto da ETE Limoeiro

Como citado por Peixoto (2008), a empresa SEREC - Serviços e Engenharia Consultiva Ltda, foi à empresa projetista da ETE Limoeiro a qual usou os parâmetros básicos para o desenvolvimento do projeto demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10. Parâmetros de Projeto da ETE Limoeiro.

Parâmetros	1ª Etapa (2007)	2ª Etapa (2017)
População (hab)	203.413	218.211
Vazão média anual (l/s)	493	529
Vazão média do dia de maior consumo (l/s)	514	551
Vazão máxima horária (l/s)	720	772
Concentração da DBO ₅ dos esgotos brutos (mg DBO ₅ /dia)	411	408
Carga orgânica afluyente (Kg DBO ₅ /dia)	17.507	18.648

Fonte: (SEREC, *apud* PEIXOTO, 2008, p.42)

4.3. Condição de operação da ETE Limoeiro

A ETE Limoeiro teve o seu início operacional em maio de 2004 com a semeadura do processo biológico do sistema. Transcorridos 4 meses a partir da semeadura, com o processo biológico em plena atividade, ocorreu o início operacional oficial da Estação de Tratamento de Esgoto (PEIXOTO, 2008).

De acordo com dados obtidos na SABESP, em 2010, a ETE está recebendo uma média mensal afluyente correspondente a 35.424 m³/dia, sendo esta vazão representada pela coleta de 100% dos esgotos do Município de Presidente Prudente e 60% dos esgotos do Município de Álvares Machado. Na Figura 15 é mostrada a posição da ETE Limoeiro em relação aos dois municípios vizinhos.



Figura 15 – Localização da ETE Limoeiro

Fonte: Google Maps

A eficiência de tratamento da ETE tem se mostrado adequada, com índice médio de remoção de carga orgânica variando de 86 a 92%. A média mensal efluente corresponde a 35.409 m³/dia, e conforme Peixoto (2008), o lodo tem saído do adensador com 1,5% de sólidos, sendo encaminhado até a centrifuga, na qual a desidratação tem alcançado em média 95%, sendo gerado um equivalente de 10 ton/d de massa seca, sendo disposto no aterro sanitário da própria estação após o processo de caleação para inertização do mesmo. Porém quando a centrifuga entra em manutenção, o lodo sai do adensador e segue diretamente para os BAG's, não passando pelo processo de caleação para inertização, sendo disposto como lodo ativo nos BAG's.

Conforme a SABESP, em 2010, os BAG's tem sua capacidade de armazenamento completada a cada 20 dias de operação fazendo-se o uso de polieletrólitos, conforme ilustrado na Figura 16. Atualmente a ETE Limoeiro possui 25 BAG's completamente cheios dispostos em seu aterro sanitário, conforme pode ser visto na Figura 17. Destes 25 BAG's, 4 deles possuem 58 m de comprimento e capacidade de armazenamento de 1.500 m³; 16 possuem 60 m de comprimento e capacidade de armazenamento de 750 m³ e 5 de 30 m de comprimento e capacidade de armazenamento de 350 m³.



Figura 16 – BAG's de manta geotêxtil – ETE Limoeiro
(SABESP, ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP)



Figura 17 – Vista aérea da ETE Limoeiro

Fonte: Google Earth – SABESP - ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Considerações gerais

Neste item será apresentado o fluxograma resumido, Figura 18, dos métodos adotados para o desenvolvimento da pesquisa, bem como os materiais e métodos que foram utilizados para determinação de sólidos, análises químicas, análises biológicas e parâmetros químicos do lodo de esgotos gerado na ETE-Limoeiro contido nos BAG's de manta geotêxtil.

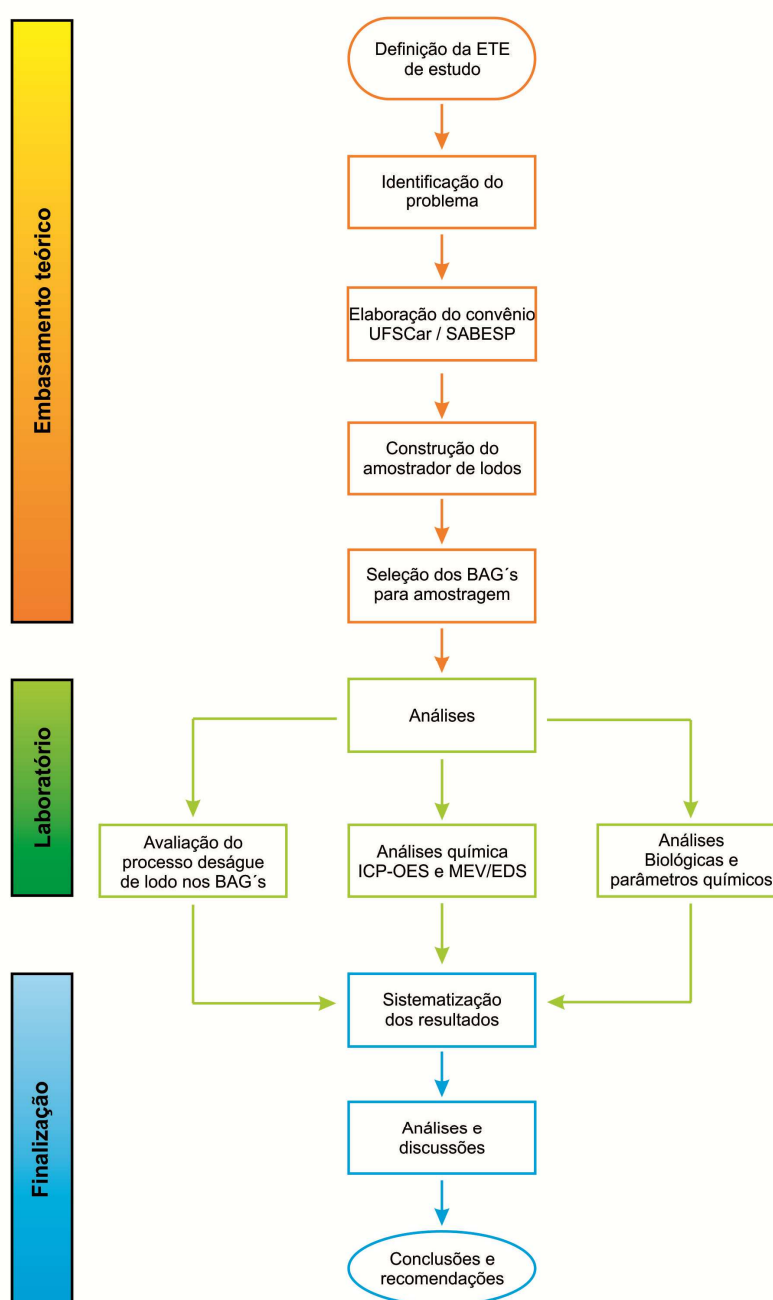


Figura 18 – Fluxograma resumido dos métodos adotados para o desenvolvimento da pesquisa

5.2. Determinação de sólidos

As coletas das amostras foram realizadas de acordo com Norma NBR 10007/2004, a qual fixa os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos. Estabelecendo-se assim as linhas básicas que devem ser observadas, antes de se retirar qualquer amostra, com o objetivo de definir o plano de amostragem (objetivo da amostragem, número e tipo de amostras, amostradores, local da amostragem, frascos e preservação da amostra).

O objetivo desta amostragem foi o de verificar a quantidade de sólidos presentes nos BAG's de manta geotêxtil com diferentes idades de deságüe.

Para o procedimento, foram selecionados 7 BAG's (1A, 1B, 10, 11, 18, 21, 25), observando-se o tempo operacional de cada um, iniciando-se do mais antigo em operação até o mais recente, conforme pode ser visto na Figura 19.



Figura 19 – Seleção dos BAG's para amostragem

Fonte: Google Earth – SABESP - ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP

Como visto, a escolha dos BAG's levou em consideração a idade operacional dos mesmos, apresentando uma escala de tempo entre o BAG mais recente em operação e o mais antigo de 36 meses, e os demais BAG's selecionados com idades intermediárias e progressivas (com variação média de 1,5 mês entre os BAG's) até o mais recente.

O tipo de coleta escolhida foi o de amostragem simples, obtida através de um processo de amostragem em um único ponto e profundidade. Para a coleta das amostras, foi utilizado um amostrador de lodos, conforme é mostrado na Figura 20, confeccionado em tubo de acrílico cristal de 2 m de comprimento com parede interna "bocal" de 75 mm.



Figura 20 – Amostrador de lodos
(SABESP, ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP)

Como pode ser visto na Figura 21 e Figura 22 respectivamente, na parte superior do amostrador, foi feita uma vedação com um furo no centro para o deslizamento do cano de PVC, o qual possui um êmbolo na extremidade inferior para sucção do lodo dos BAG's,



Figura 21 – Vedação e passagem do cano de PVC
(SABESP, ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP)



Figura 22 – Amostrador de lodos: (a) Êmbolo, (b) Cano PVC
Fonte(SABESP, ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP)

A coleta das amostras foram realizadas nos bocais de entrada de lodos nos BAG's com a introdução do amostrador e posterior sucção das amostras, não sendo necessário realizar cortes nos BAG's.

A Figura 23 mostra a coleta sendo realizada com o uso do amostrador de lodos.



Figura 23 – Bocal do BAG

(SABESP, ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP)

Posteriormente a coleta, as amostras foram colocadas em frascos estéreis e levadas ao Laboratório de Química da ETE-Limoeiro para realização da análise da determinação de sólidos.

Para a realização da determinação de sólidos, utilizou-se 50 g de cada amostra coletada nos BAG's selecionados, sendo feita duas amostras por vez. Neste procedimento fez-se uso de Determinadores de Umidade, Modelo ID-50 da Marca Marte, como pode ser visto na Figura 24.



(a)

(b)

Figura 24 – Determinadores de Umidades

a) Em modo de operação

b) Sistema aberto, filamento de aquecimento na parte superior e balança na parte inferior

(SABESP, ETE-Limoeiro / Presidente Prudente-SP)

5.3. Análises químicas

Para a realização das análises químicas, dois procedimentos distintos foram realizados, um por Espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) com a finalidade de identificação e quantificação de metais tóxicos e outro por Microscopia eletrônica de varredura/espectroscopia por energia dispersiva (MEV/EDS) com a finalidade de identificação e quantificação de macronutrientes e micronutrientes.

A coleta das amostras seguiu o mesmo procedimento de amostragem da Norma NBR 10007/2004, sendo o tipo de coleta também o de amostragem simples.

Para as análises, foram retiradas duas amostras de 100g de cada BAG (1A e 24) selecionados anteriormente. Assim sendo, como as amostras foram às mesmas, o período de tempo foi o mesmo, correspondendo há 36 meses.

As análises químicas por ICP-OES, Figura 25, tiveram por finalidade a determinação dos elementos químicos (As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se, Zn) nas amostras e posterior comparação.

As amostras foram secas em estufa, no Laboratório de Química da ETE-Limoeiro e posteriormente encaminhadas ao Laboratório do Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais – CCDM do Departamento de Engenharia de Materiais – DEMa da UFSCar, onde foram preparadas conforme o procedimento interno AQ-371 ver002.

Para esta análise, o equipamento utilizado foi o espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente, ICP-OES, modelo VISTA da marca Varian, a partir da digestão ácida das amostras em forno de microondas com frascos fechados conforme procedimento interno IT AQ-157 rev011 do CCDM/DEMa.

Conforme as informações fornecidas pelo laboratório do CCDM/DEMa, a digestão ácida das amostras ocorreu da seguinte maneira. Primeiramente as amostras passaram pelo processo de moagem em moinho criogênico com posterior solubilização. Para a solubilização das amostras, foi utilizado em sistema fechado, forno de micro-ondas com as amostras misturadas em solução ácida de água régia, ácido fluorídrico e peróxido de hidrogênio. Após a diluição das amostras, as mesmas foram introduzidas no espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente para a realização das leituras de interesse.



Figura 25 – ICP-OES

(ICP-OES VISTA Varian, CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

As análises químicas por MEV/EDS tiveram por finalidade a identificação e quantificação de macronutrientes e micronutrientes presentes nas amostras e posterior comparação.

Na microscopia eletrônica de varredura (MEV), os elétrons secundários (SE) são os responsáveis pela formação e obtenção de imagens de topografia da superfície, enquanto os elétrons retro-espalhados (BSD) fornecem imagens características de variação e composição de um material.

Para esta análise o equipamento utilizado foi EDS (espectroscopia por energia dispersiva – Inca 250 – Oxford) acoplado ao MEV (Quanta 400 – FEI), Figura 26, para a determinação de composições químicas semi-quantitativas de acordo com o procedimento interno MEV-02 do CCDM/DEMa.

Conforme as informações fornecidas pelo laboratório do CCDM/DEMa, as amostras não receberam recobrimento com ouro ou outro tipo de preparação especial, sendo afixadas diretamente em fita dupla face no porta amostras do microscópio para posterior imageamento e determinação do elementos químicos de interesse.

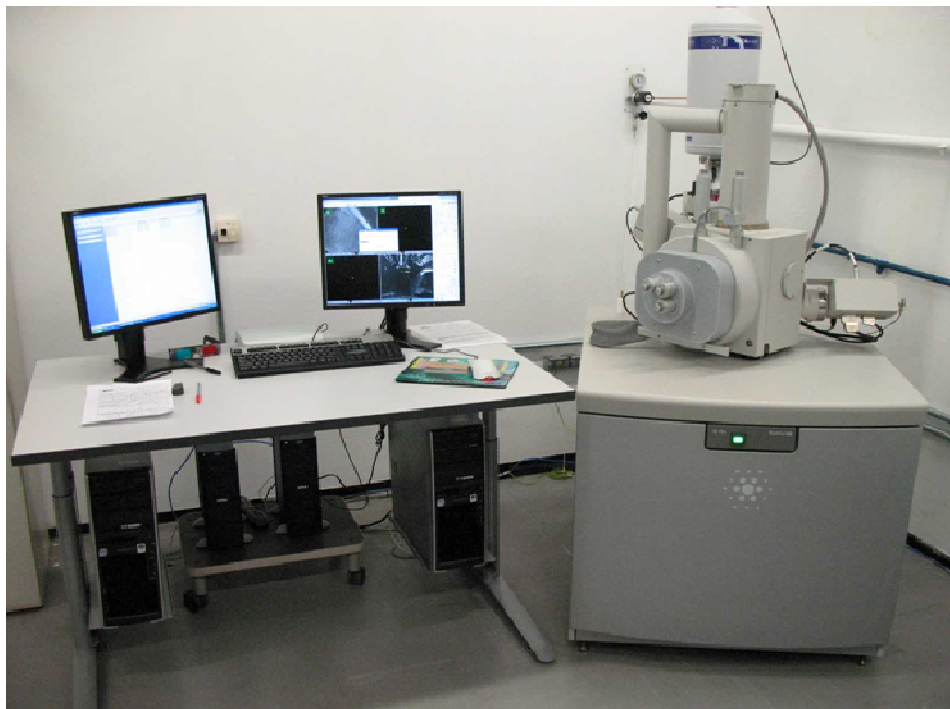


Figura 26 – MEV-EDS

(MEV – Quanta 400 – FEI acoplado ao EDS – Inca 250 – Oxford, CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

5.4. Análises biológicas e parâmetros químicos

Para a realização das análises biológicas e dos parâmetros químicos, o tipo de coleta adotado também foi da amostragem simples seguindo o procedimento de amostragem da Norma NBR 10007/2004.

Porem, para essas amostragens, nos frascos estéreis, Figura 27, acrescentou-se uma pastilha de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ – Tiosulfato de Sódio, que atua como agente redutor neutralizando o cloro residual nas amostras.

Este procedimento é utilizado com a intenção de impedir caso haja presença de cloro residual nas amostras, que o mesmo inerte o material coletado destruindo os microorganismos presentes.

As amostragens, Figura 28, foram feitas em três BAG's distintos (1A, 14 e 24), tendo como fator de escolha o tempo operacional dos mesmos. Como o tempo operacional entre os BAG's 1A e 24 são de 36 meses, com o intuito de verificar significativas variações nos resultados das análises biológicas, foi realizado a amostragem de um BAG com tempo operacional intermediário por volta de 18 meses, sendo selecionado o BAG 14.

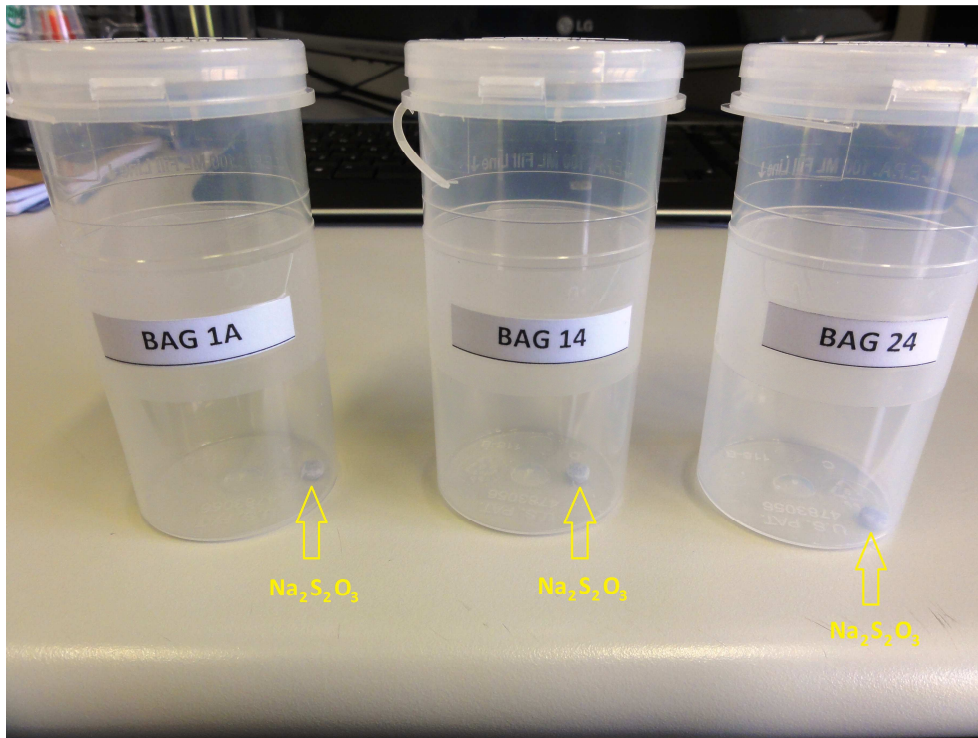


Figura 27 – Frascos estéreis

(Frascos estéreis com Na₂S₂O₃, Laboratório de Saneamento / EESC-USP – São Carlos-SP)

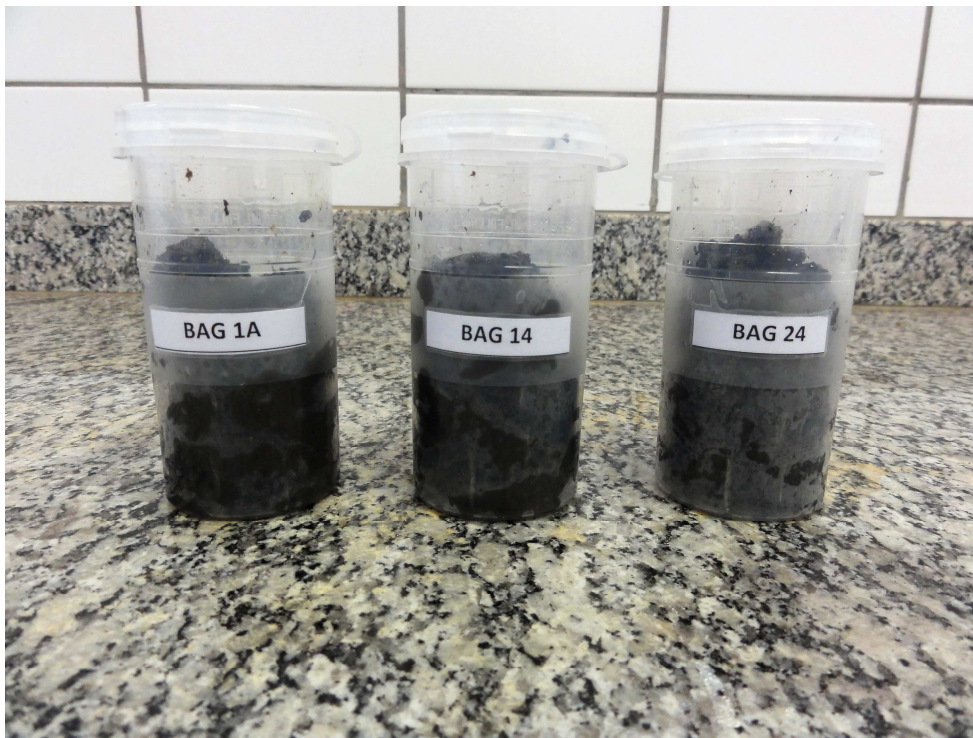


Figura 28 – Amostras dos BAG's

(Amostragem dos BAG's 1A, 14 e 24 – SABESP / ETE-Limoeiro - Presidente Prudente-SP)

Após a coleta e acondicionamento das amostras nos frascos estéreis contendo $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, as mesmas foram encaminhadas ao Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC-USP, onde foram preparadas e os ensaios efetuados de acordo com a 21^a Edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Referente às análises de determinação de sólidos nas amostras de lodo da ETE-Limoeiro para os BAG's (1A, 1B, 10, 11, 18, 21 e 24), os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Determinação de Sólidos nas Amostras.

Amostras		
BAG	Idade de operação	Quant. sólidos na amostra (%)
1A	36 meses	15,08
1B	35 meses	13,35
10	21 meses	10,74
11	19 meses	12,14
18	10 meses	11,89
21	6 meses	12,89
24	1 mês	11,21

Fonte: (ETE-Limoeiro – SABESP / Presidente Prudente-SP)

Estas análises tiveram a finalidade de avaliar o processo de desaguamento natural de lodos ocorrido nos BAG's.

Conforme pode ser visto nos resultados acima, para a escala de tempo em questão, a concentração de sólidos nos BAG's não variou expressivamente como esperado.

Pelo fato do desaguamento ocorrer de forma contínua e ininterrupta, esperava-se que os BAG's em operação a mais tempo, apresentassem quantidades de sólidos em maior proporção quando comparados ao mais recentes.

Diante do ocorrido, constatou-se que o tempo operacional dos BAG's não foi significativo no processo de deságüe dos lodos.

Contudo, esta ocorrência pode estar diretamente ligada ao tipo de lodo gerado pela estação de tratamento de esgotos e com a dosagem de polieletrólitos.

No caso da ETE-Limoeiro, o lodo gerado é do tipo ativado de aeração prolongada, por este motivo é plausível que o processo de deságue não esteja ocorrendo de forma adequada, uma vez que lodos ativados são mais difíceis de serem desaguados do que os lodos primários digeridos anaerobicamente. Estando a variação na capacidade de desaguamento diretamente relacionada com o tipo de sólido e com a forma com que a água está ligada às partículas do lodo.

Sobre as análises realizadas em espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), para determinação dos elementos químicos (As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se, Zn), os resultados obtidos da amostragem do BAG 1A e BAG 24, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Determinação dos elementos químicos nos lodos dos BAG's.

Elemento	Resultados obtidos			
	BAG 1A % (m/m)	BAG 1A (mg/kg)	BAG 24 % (m/m)	BAG 24 (mg/kg)
As	< 0,005	< 50	< 0,005	< 50
Ba	0,049	49	0,047	47
Cd	< 0,001	< 10	< 0,001	< 10
Pb	< 0,001	< 10	< 0,001	< 10
Cu	0,038	380	0,032	320
Cr	0,023	230	0,025	250
Hg	< 0,005	< 50	< 0,005	< 50
Mo	< 0,001	< 10	< 0,001	< 10
Ni	< 0,001	< 10	< 0,001	< 10
Se	< 0,005	< 50	< 0,005	< 50
Zn	0,081	810	0,090	900
P	1,42	14200	1,08	10800
Na	0,42	4200	0,37	3700
K	0,74	7400	0,52	5200
Ca	1,07	10700	1,07	10700
Mg	0,33	3300	0,19	1900

Fonte: (ICP-OES VISTA Varian, CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

Este procedimento permitiu a identificação e quantificação dos metais tóxicos nas amostras de lodos e a verificação do atendimento dos requisitos mínimos de qualidade do lodo de acordo com a Resolução CONAMA Nº 375/06.

Conforme ilustrado no Tabela 12, em relação aos metais tóxicos, constatou-se certa homogeneidade nas concentrações dos elementos químicos presente nas amostras dos dois BAG's. Deste modo, é bem provável que este cenário seja o mesmo para o restante dos BAG's ETE-Limoeiro.

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 375/06, os elementos químicos analisados (Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Mo, Ni, Se, Zn), ficaram abaixo das concentrações máximas permitidas no lodo estabelecidas pela referida resolução.

Entretanto, cabe ressaltar que o ICP-OES utilizado não realiza leituras de concentrações abaixo de 50 mg/kg, o que impossibilitou a determinação da concentração real do elementos (As e Hg) que de acordo com o estabelecido na Resolução CONAMA Nº 375/06, possuem concentração máxima permitidas de 41 mg/kg e 17 mg/kg respectivamente.

Em relação às análises realizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), na amostra do BAG 1A, foram identificadas pelo processo de elétrons retro-espalhados (BSD), seis regiões para microanálise, conforme destacado nas tomadas de imagem (a) e (e) da Figura 29.

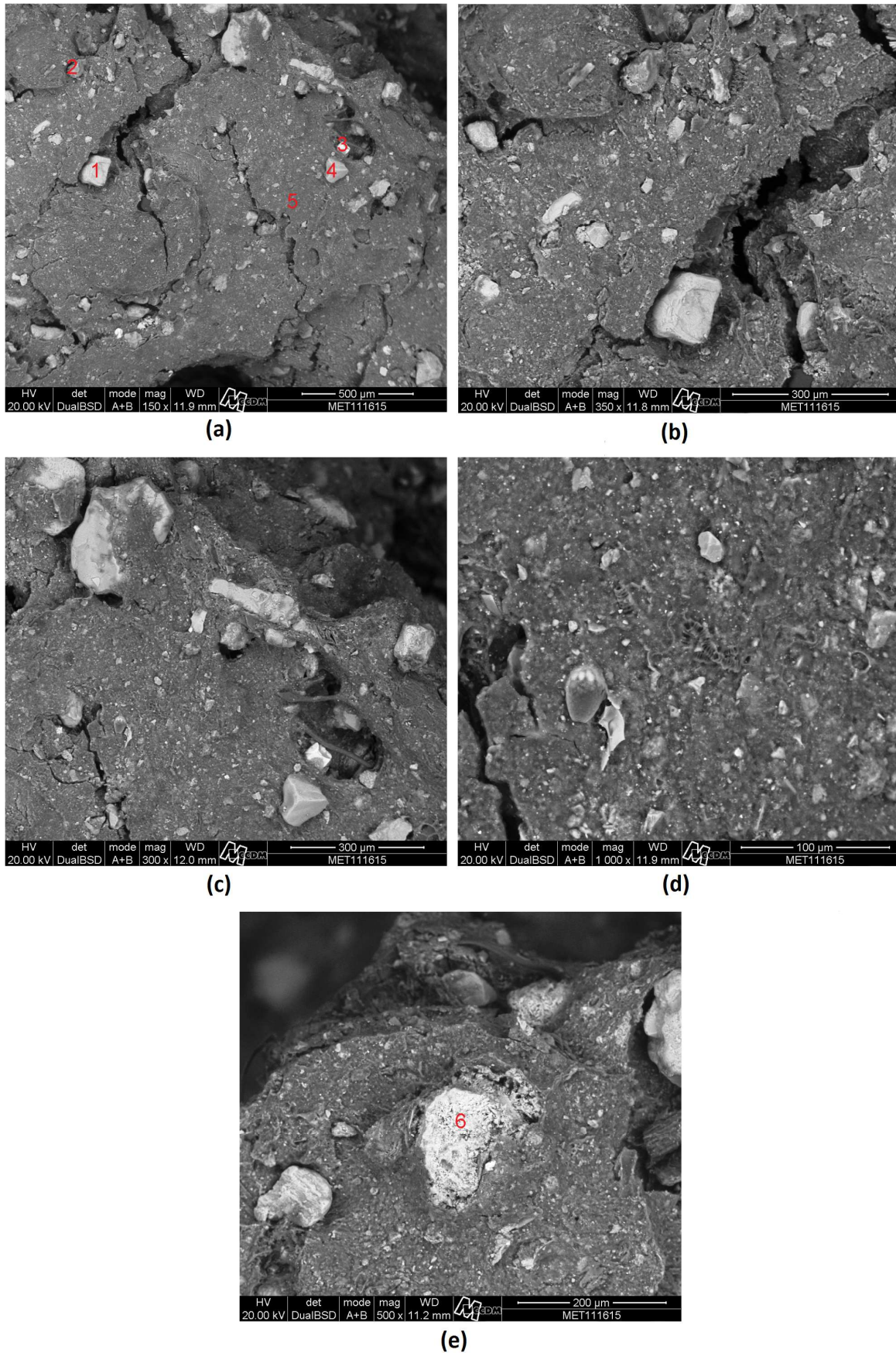
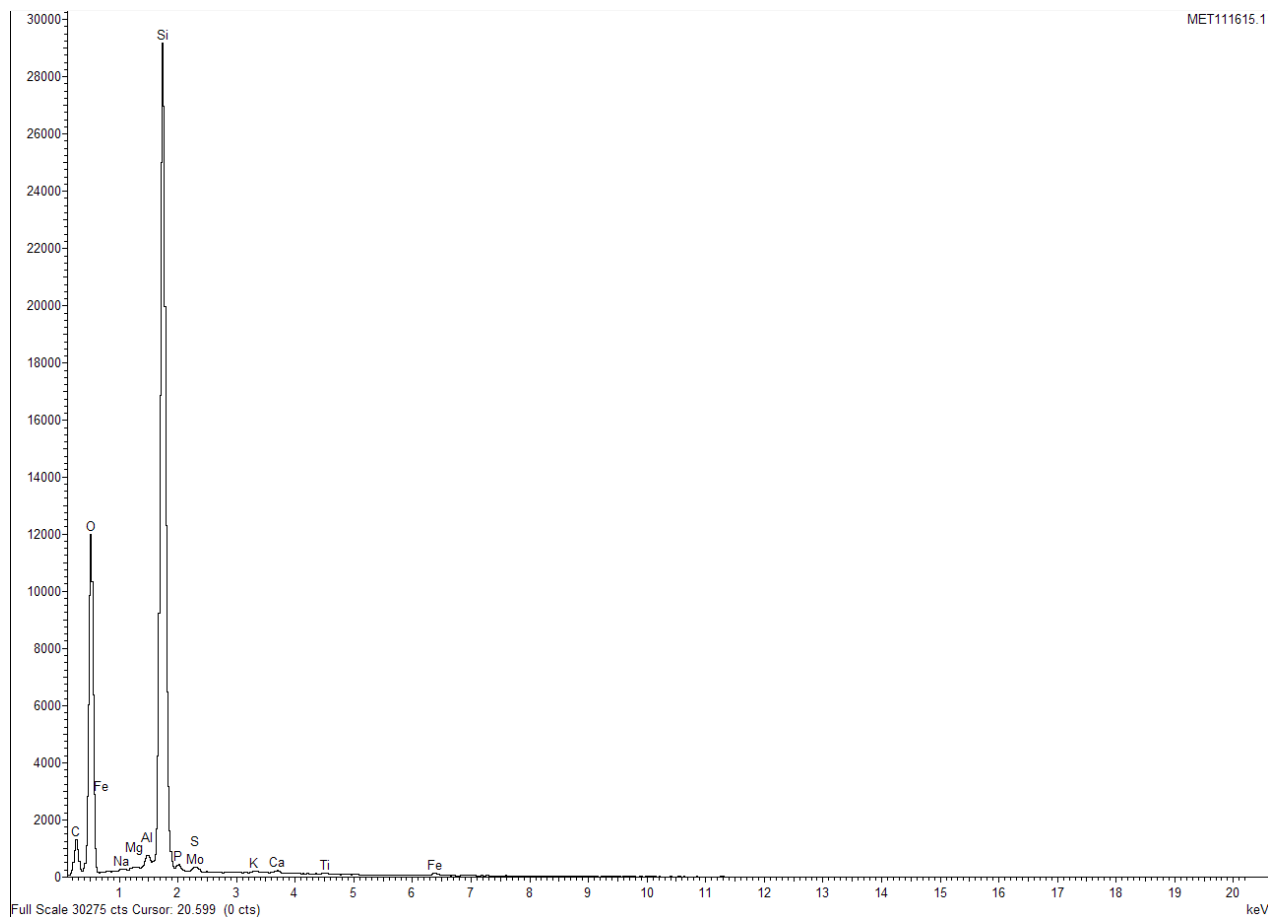
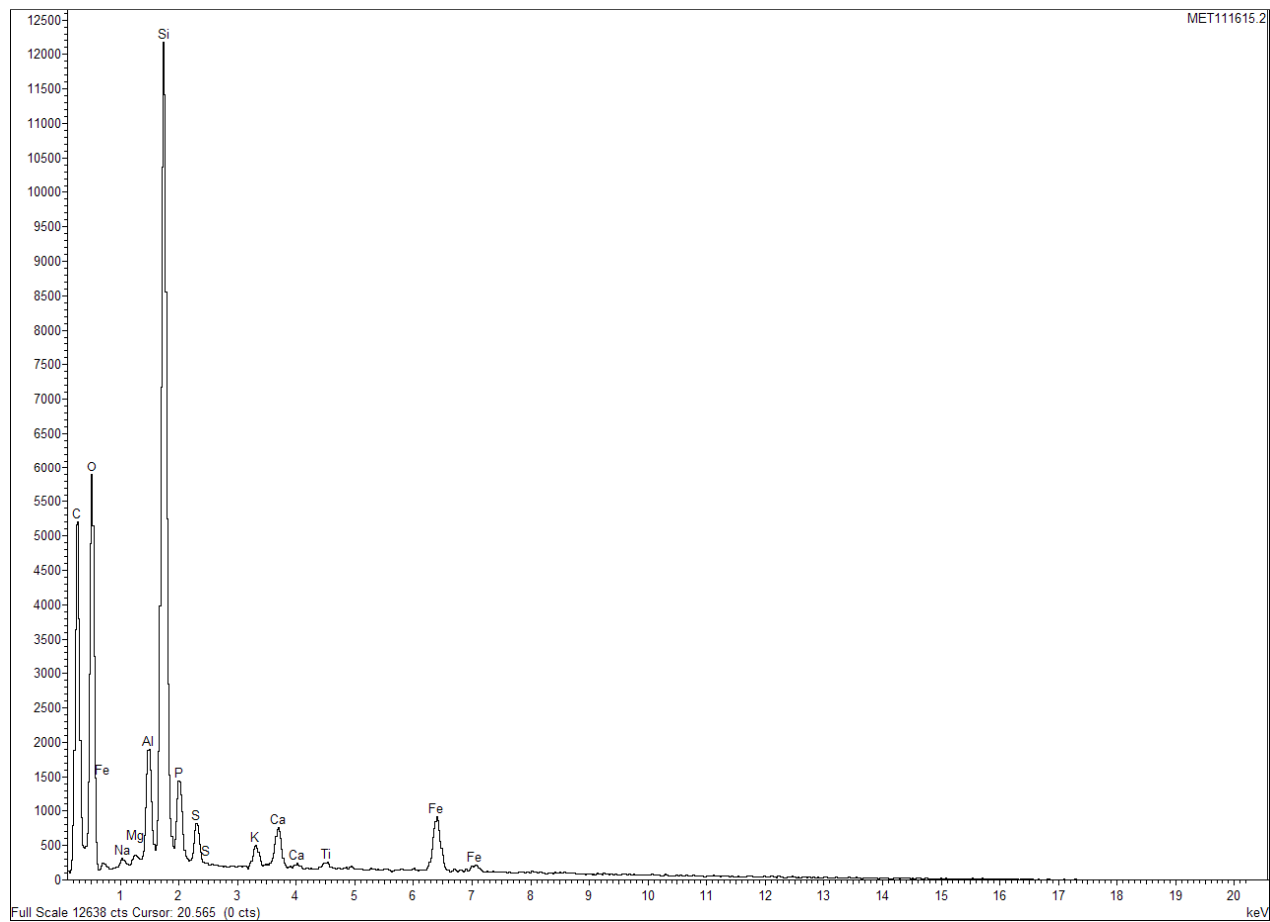


Figura 29 – Imagens obtidas da amostra do BAG 1A feita por MEV/EDS
 (a) Ampliação original de 150x, (b) Ampliação original de 350x, (c) Ampliação original de 300x, (d) Ampliação original de 1000x., (e) Ampliação original de 500x
 Fonte: (CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

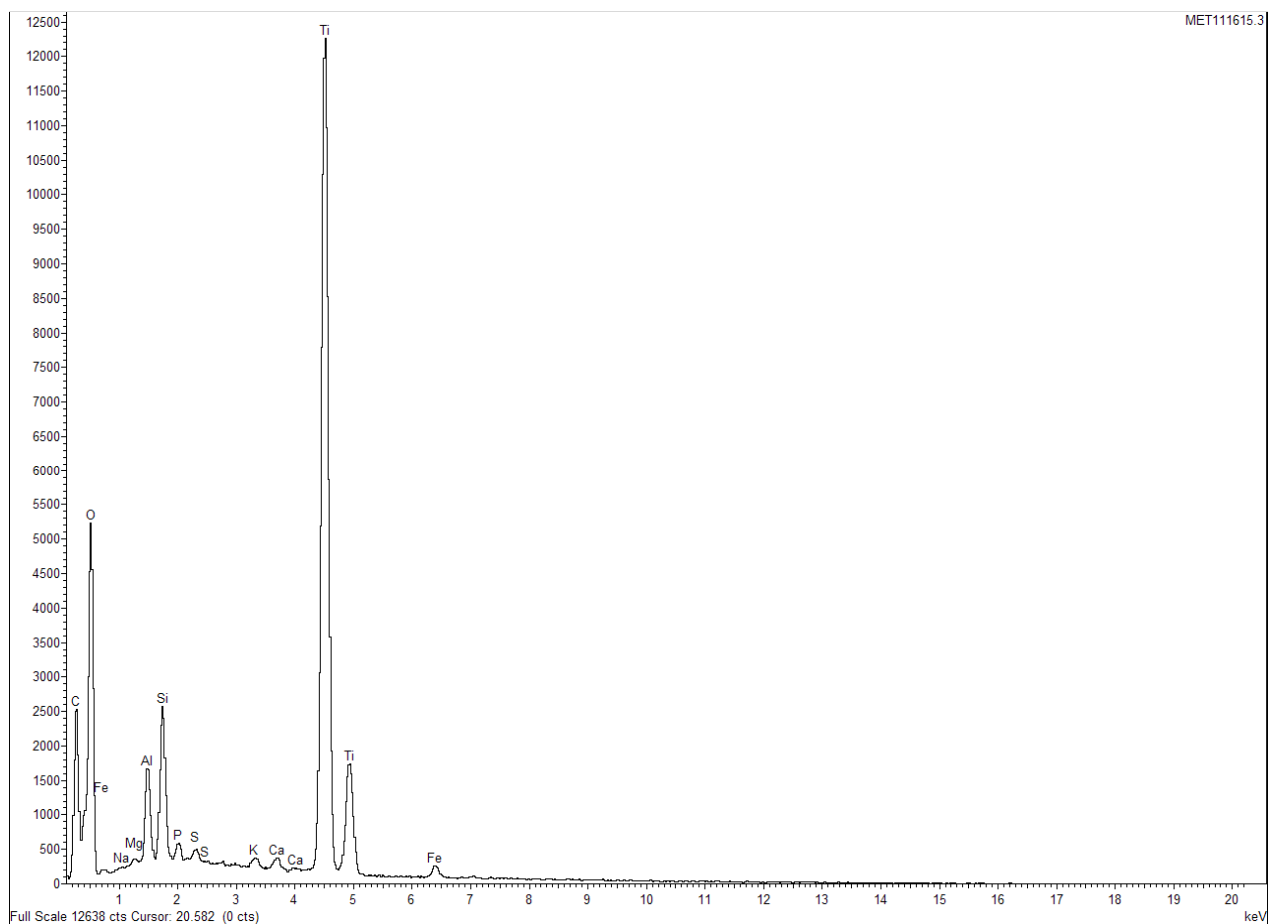
Estas seis regiões de microanálises em destaque nas imagens obtidas da amostra do BAG 1A foram analisadas por (EDS) espectroscopia por energia dispersiva e os espectros obtidos estão apresentados nos gráficos de (a) a (g) da Figura 30.



(a)
Figura 30 – Continua.

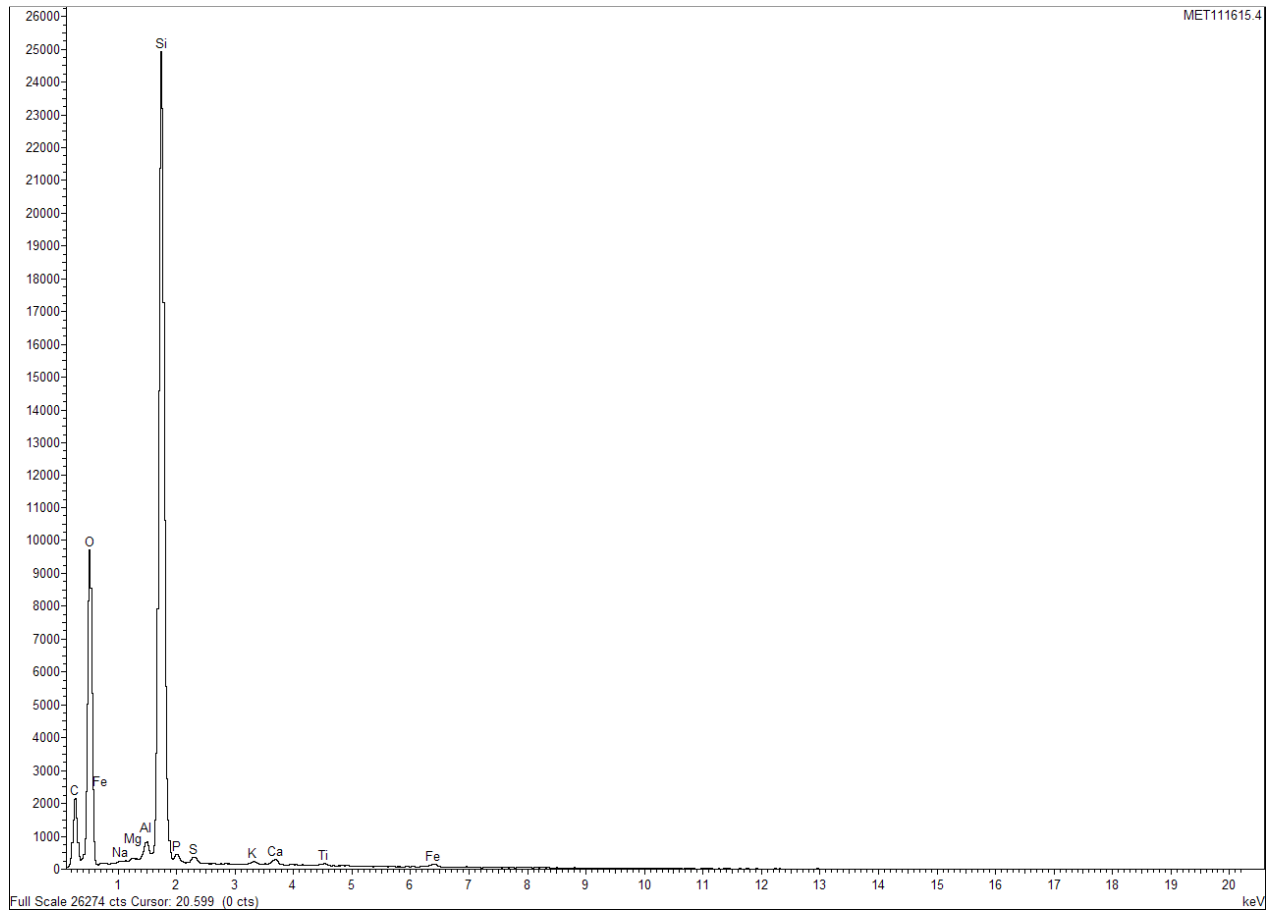


(b)

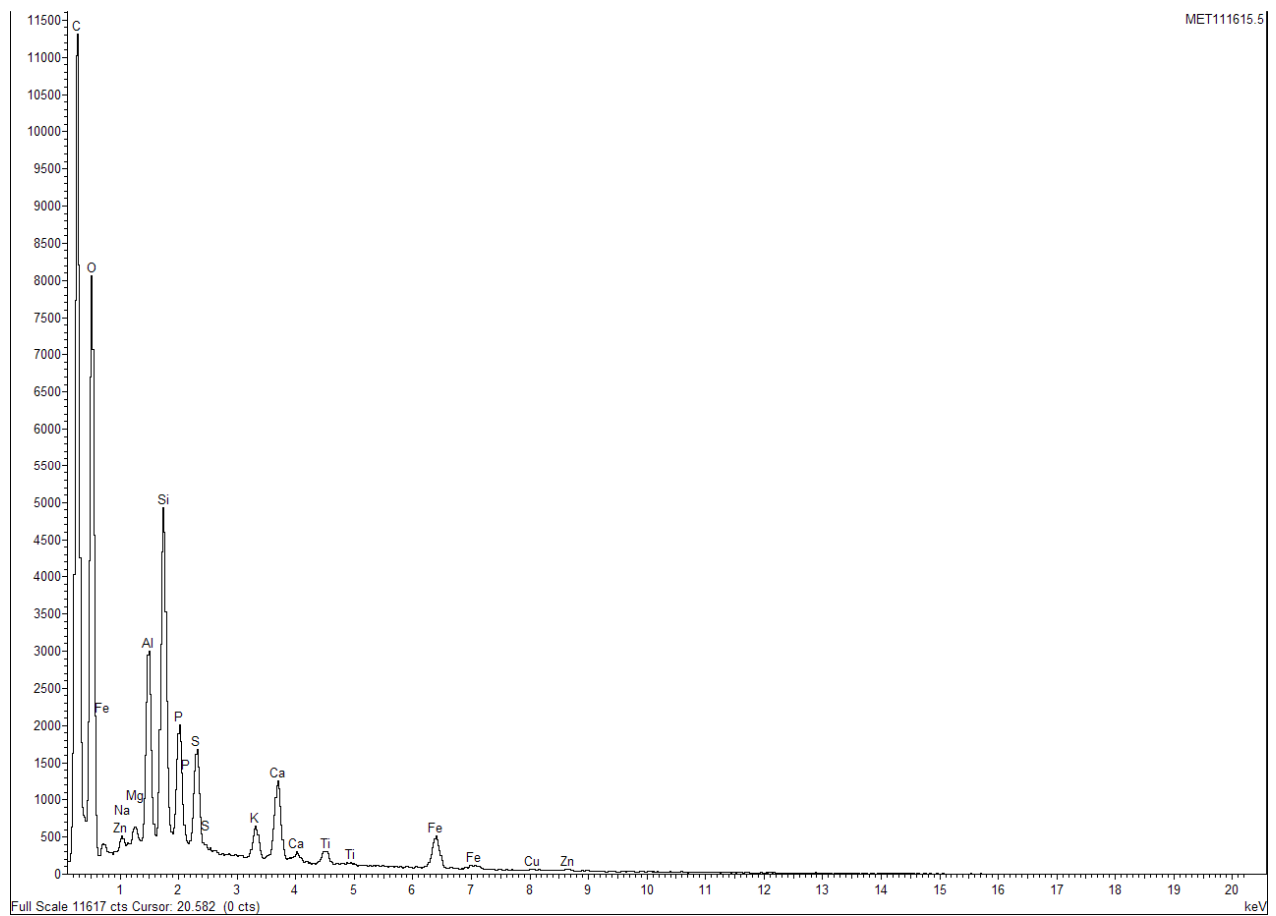


(c)

Figura 30 – Continua.

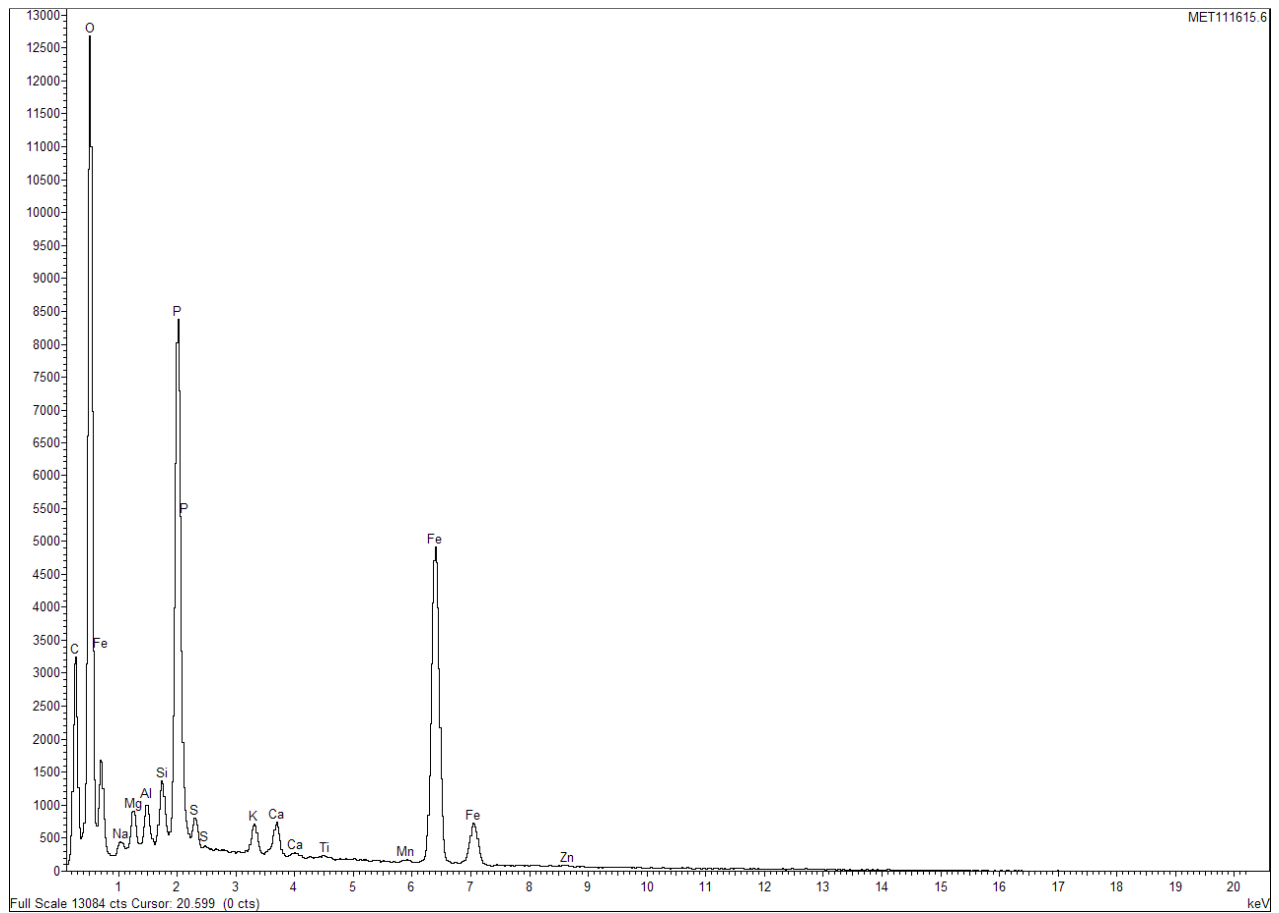


(d)

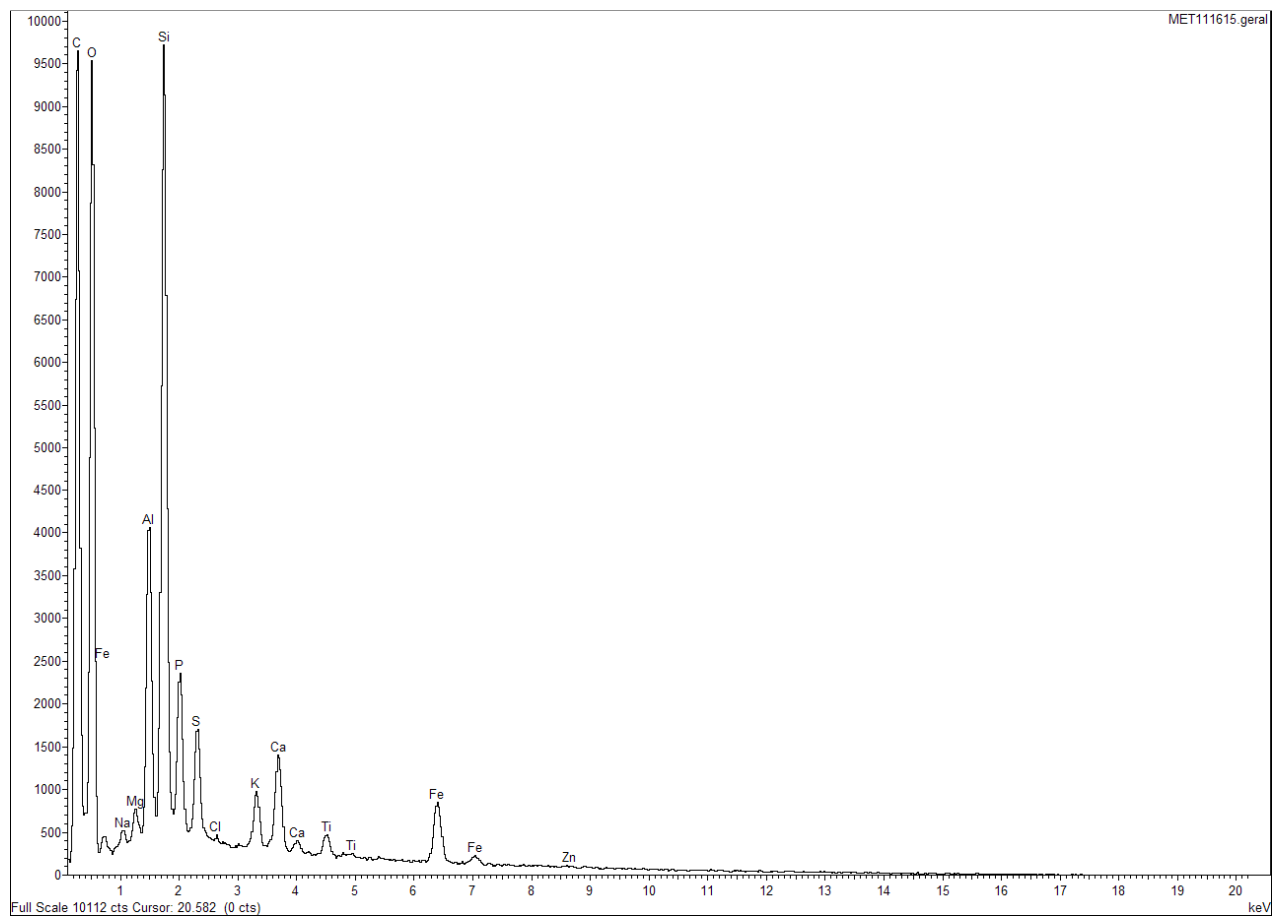


(e)

Figura 30 – Continua.



(f)



(g)

Figura 30 – Espectros de microanálise - BAG 1A

(a) Região 1, (b) Região 2, (c) Região 3, (d) Região 4, (e) Região 5, (f) Região 6, (g) Geral

Fonte: (CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

Contudo, a partir dos espectros de microanálises referentes à Figura 30, foram obtidos os resultados das microanálises dos elementos em (% em massa) e (mg/kg), como pode ser verificado na Tabela 13 e Tabela 14 respectivamente.

Tabela 13. Resultados das Microanálises (% em massa) referentes à Figura 30.

Elemento	Regiões						Geral
	1	2	3	4	5	6	
C	14,29	42,79	16,54	24,18	49,84	23,62	44,82
O	54,08	37,12	47,68	49,48	39,02	45,50	39,79
Na	0,10	0,18	0,05	0,06	0,14	0,27	0,18
Mg	0,08	0,13	0,11	0,08	0,19	0,73	0,25
Al	0,40	1,52	1,64	0,46	1,79	0,60	2,28
Si	29,60	11,20	2,57	24,13	3,13	0,94	5,86
P	0,41	1,50	0,35	0,42	1,35	8,34	1,52
S	0,16	0,70	0,19	0,27	1,09	0,49	0,95
Cl	-	-	-	-	-	-	0,05
K	0,09	0,47	0,21	0,13	0,46	0,57	0,63
Ca	0,16	0,89	0,27	0,26	1,16	0,66	1,13
Ti	0,09	0,22	29,61	0,15	0,32	0,08	0,39
Mn	-	-	-	-	-	0,14	-
Fe	0,32	3,28	0,78	0,38	1,28	17,94	1,99
Cu	-	-	-	-	0,08	-	-
Zn	-	-	-	-	0,15	0,12	0,17
Mo	0,22	-	-	-	-	-	-

Fonte: (CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

Tabela 14. Resultados das Microanálises (mg/kg) referentes à Figura 30.

Elemento	Regiões						Geral
	1	2	3	4	5	6	
C	142900	427900	165400	241800	498400	236200	448200
O	540800	371200	476800	494800	390200	455000	397900
Na	1000	1800	500	600	1400	2700	1800
Mg	800	1300	1100	800	1900	7300	2500
Al	4000	15200	16400	4600	17900	6000	22800
Si	296000	112000	25700	241300	31300	9400	58600
P	4100	15000	3500	4200	13500	83400	15200
S	1600	7000	1900	2700	10900	4900	9500
Cl	-	-	-	-	-	-	500
K	900	4700	2100	1300	4600	5700	6300
Ca	1600	8900	2700	2600	11600	6600	11300
Ti	900	2200	296100	1500	3200	800	3900
Mn	-	-	-	-	-	1400	-
Fe	3200	32800	7800	3800	12800	179400	19900
Cu	-	-	-	-	800	-	-
Zn	-	-	-	-	1500	1200	1700
Mo	2200	-	-	-	-	-	-

Fonte: (CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

Estas análises permitiram à identificação e quantificação de macronutrientes e macronutrientes bem como a distribuição espacial desses elementos na massa de lodo.

Como pode ser consultado na Tabela 14, do ponto de vista agrônômico, o lodo em questão apresenta quantidades significativas de nutrientes, que poderiam ser utilizados para promover o retorno de nutrientes ao solo, tendo como função a manutenção da fertilidade.

Cabe ressaltar que o uso deste lodo, além de nutrir o solo, também poderia ser usado para propiciar o aumento do conteúdo de humos no solo, o qual tem a função de melhorar a capacidade de retenção e infiltração de água e aumentar a resistência dos agregados.

Conforme procedimento realizado no BAG 1A, foi efetuado análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para a amostra do BAG 24. Nestas foram identificadas pelo processo de elétrons retro-espalhados (BSD), oito regiões para microanálises, conforme destacado nas tomadas de imagem (a), (c), (d) e (e) da Figura 31.

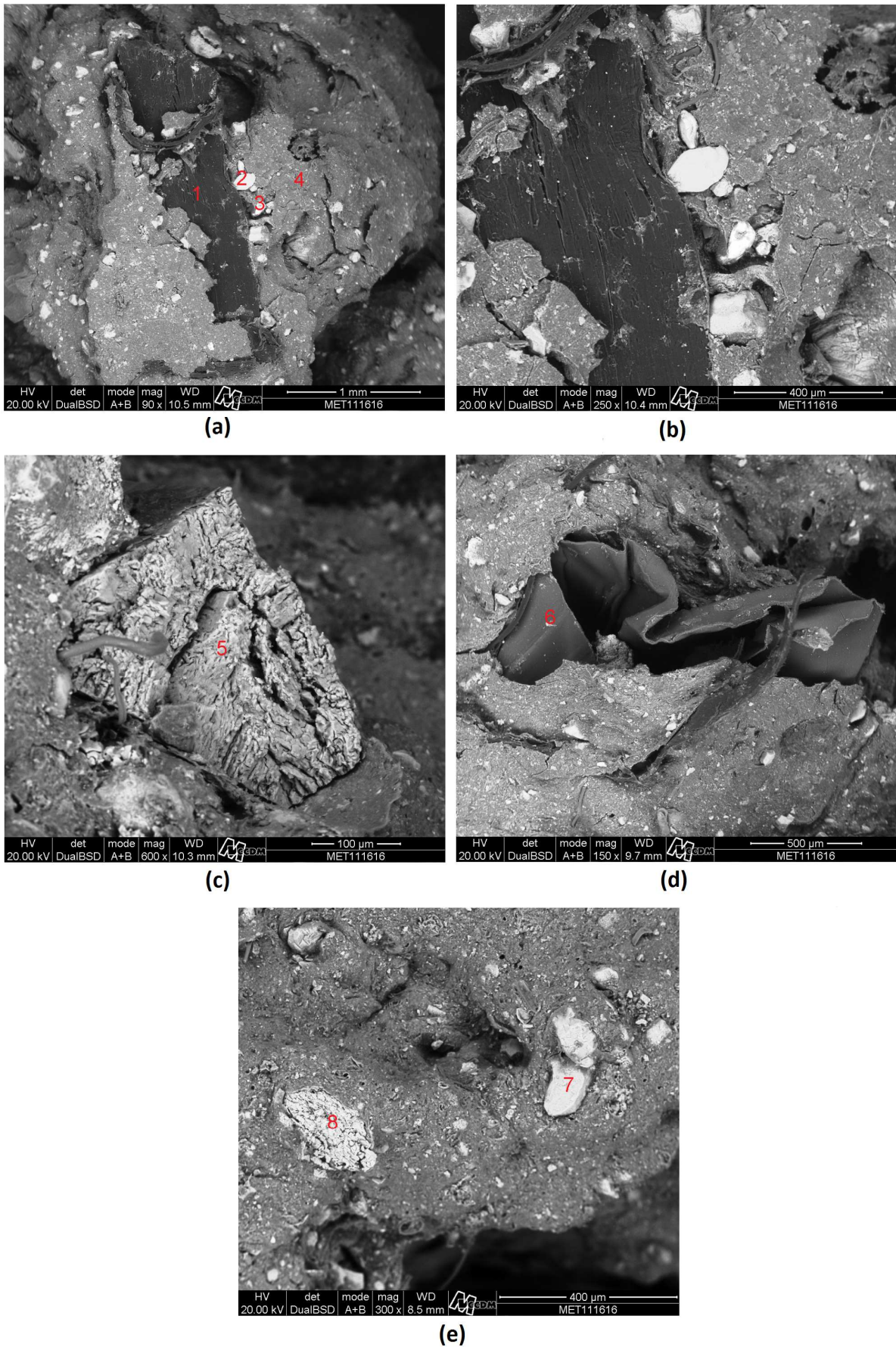
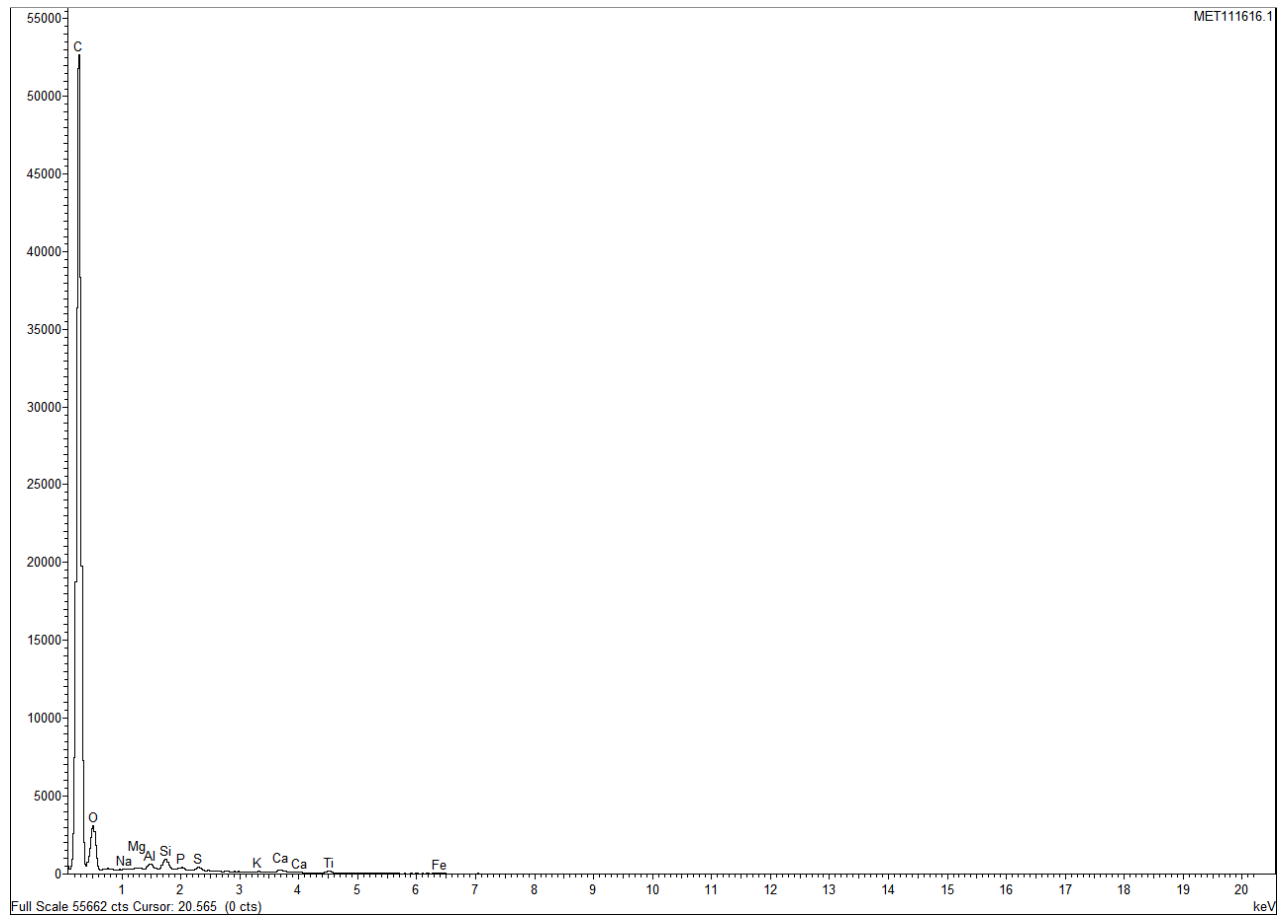
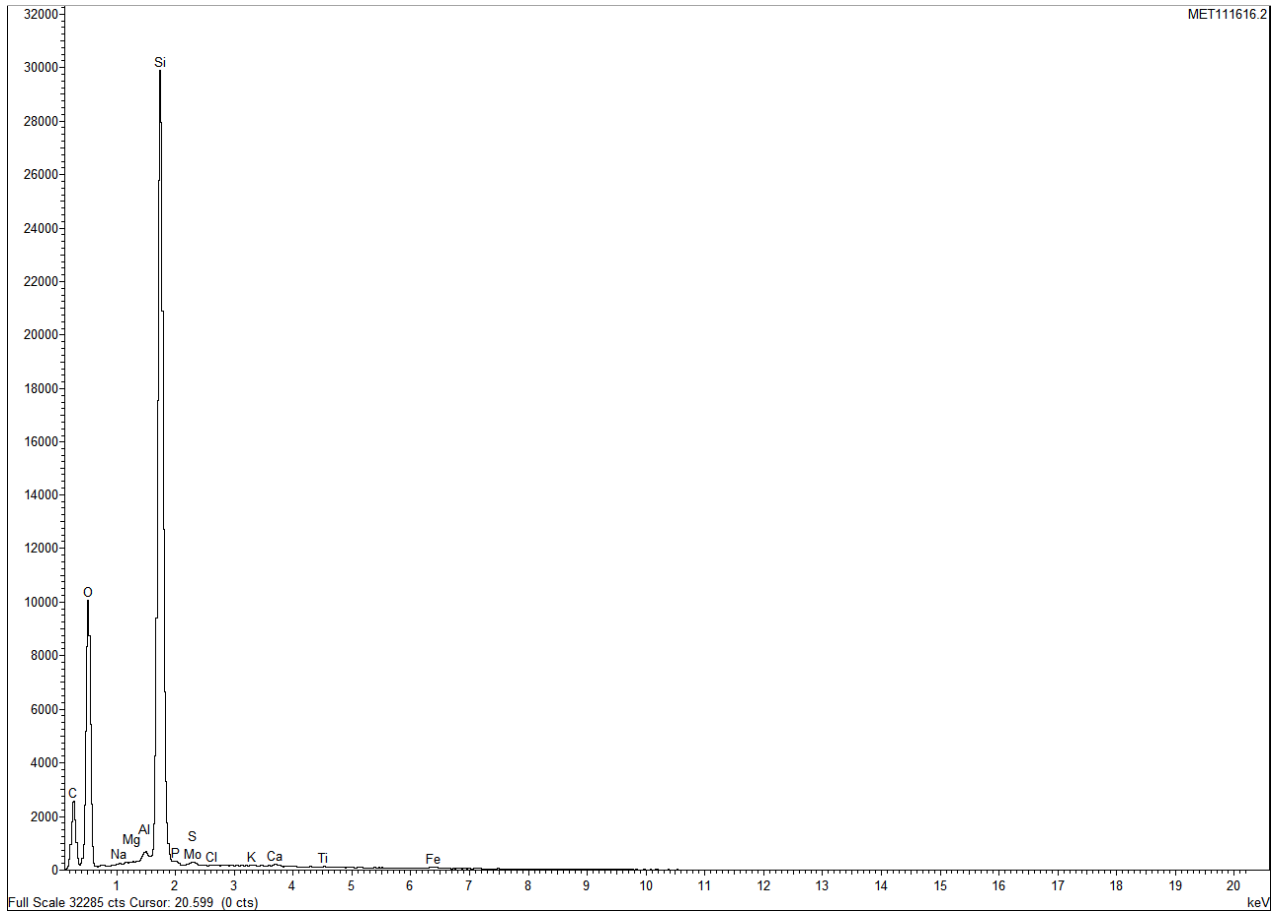


Figura 31 – Imagens obtidas da amostra do BAG 24 feita por MEV/EDS
 (a) Ampliação original de 90x, (b) Ampliação original de 250x, (c) Ampliação original de 600x, (d) Ampliação original de 150x, (e) Ampliação original de 300x
 Fonte: (CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

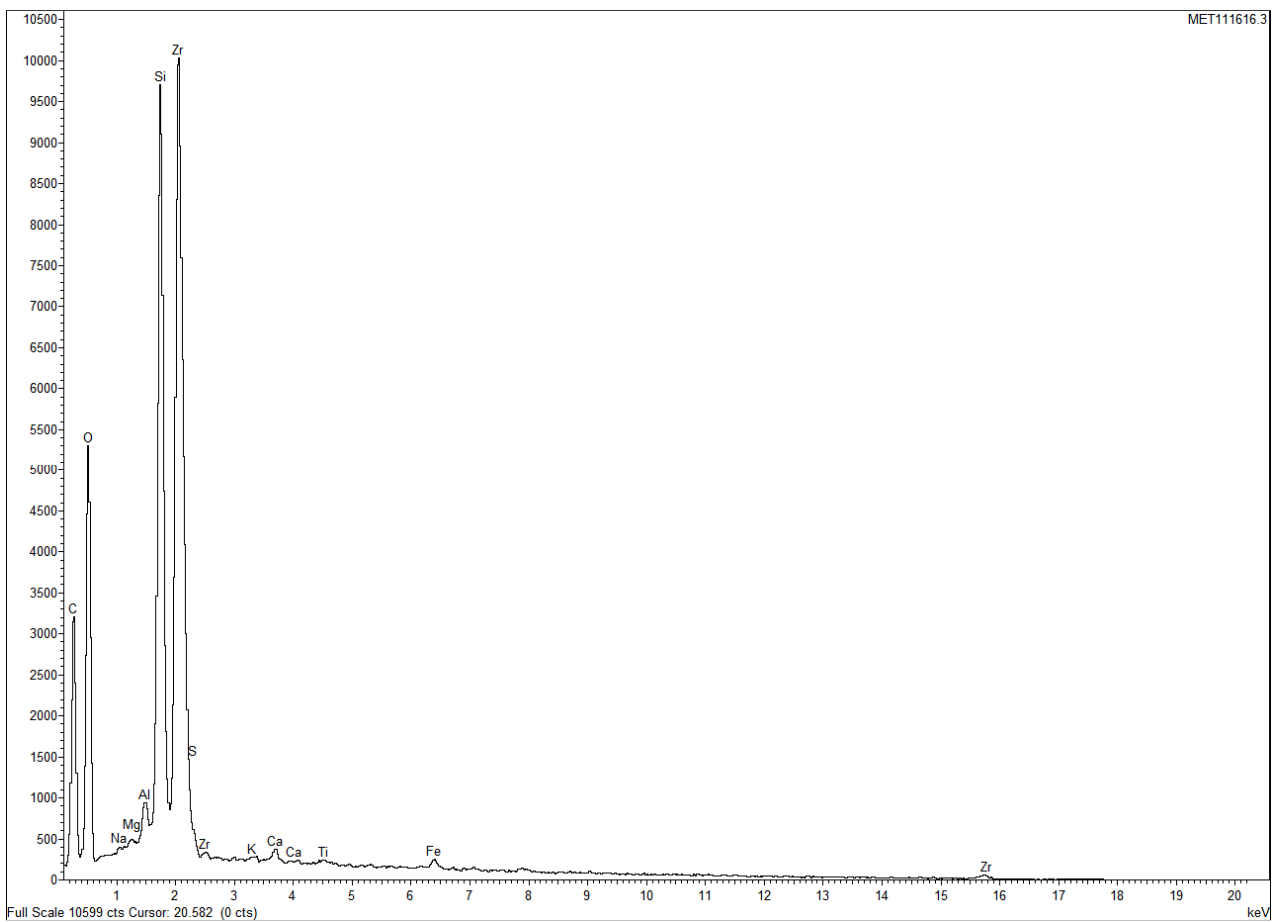
Conseqüentemente, as oito regiões de microanálises em destaque foram analisadas por espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e os espectros obtidos referentes à amostra estão indicados na Figura 32.



(a)
Figura 32 – Continua.

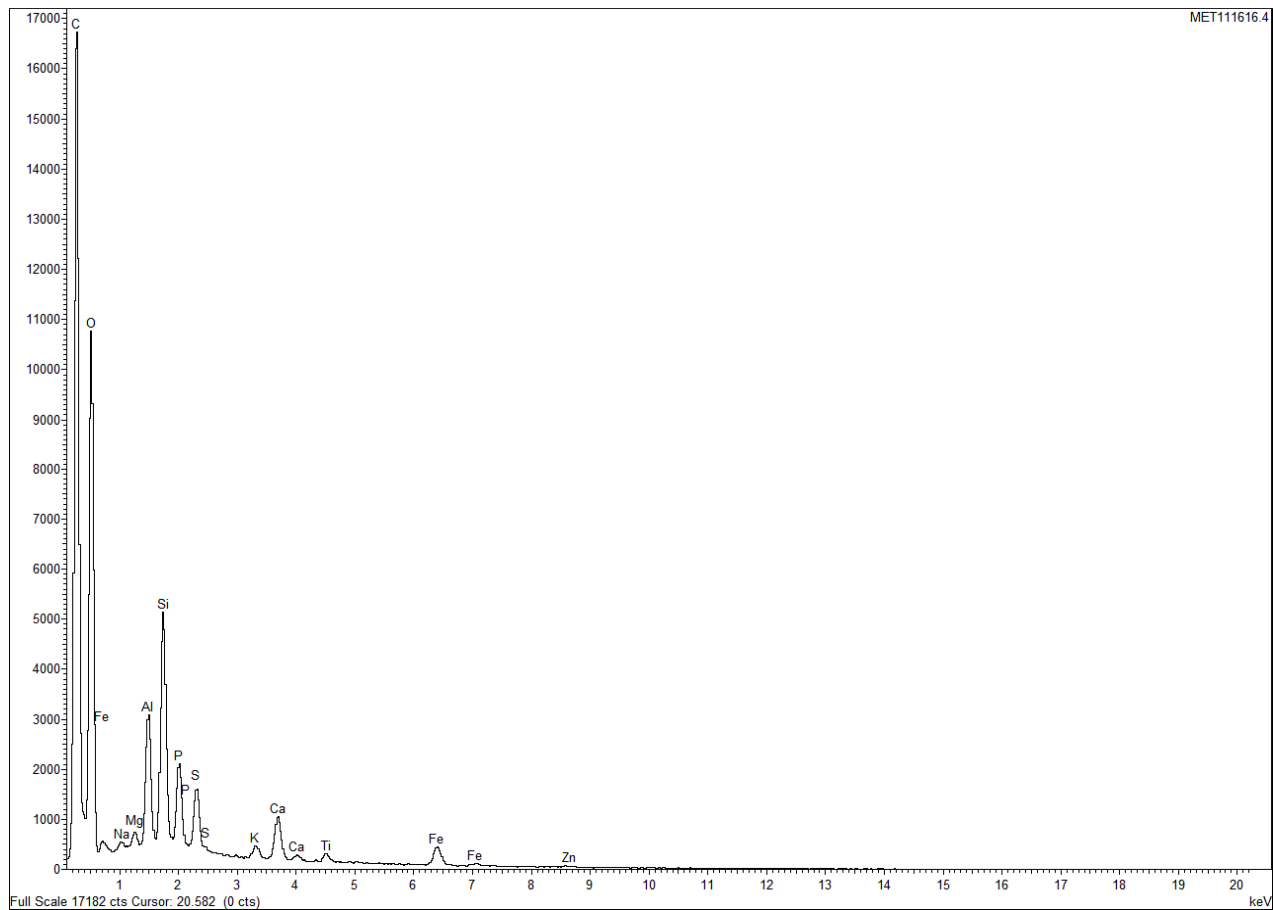


(b)

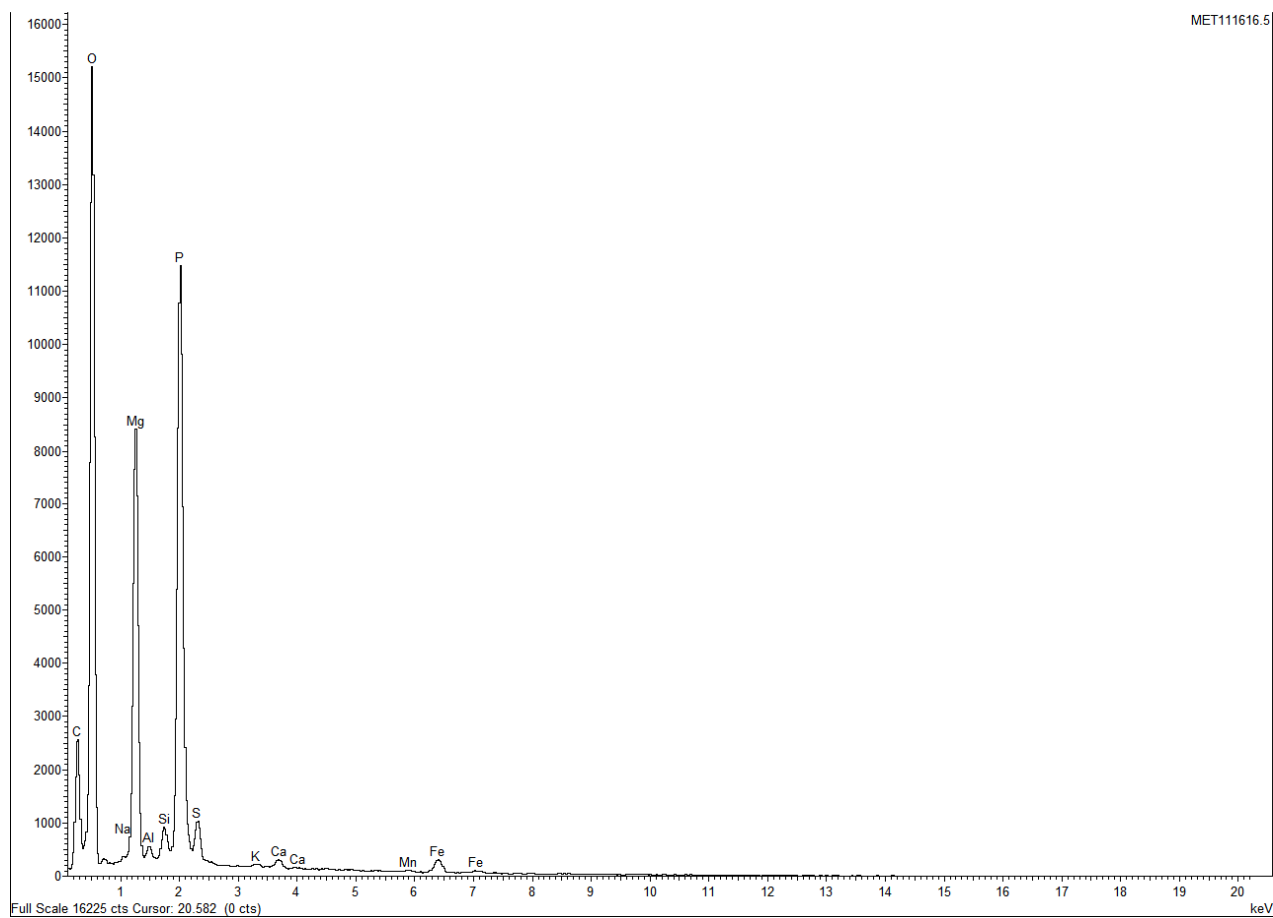


(c)

Figura 32 – Continua.

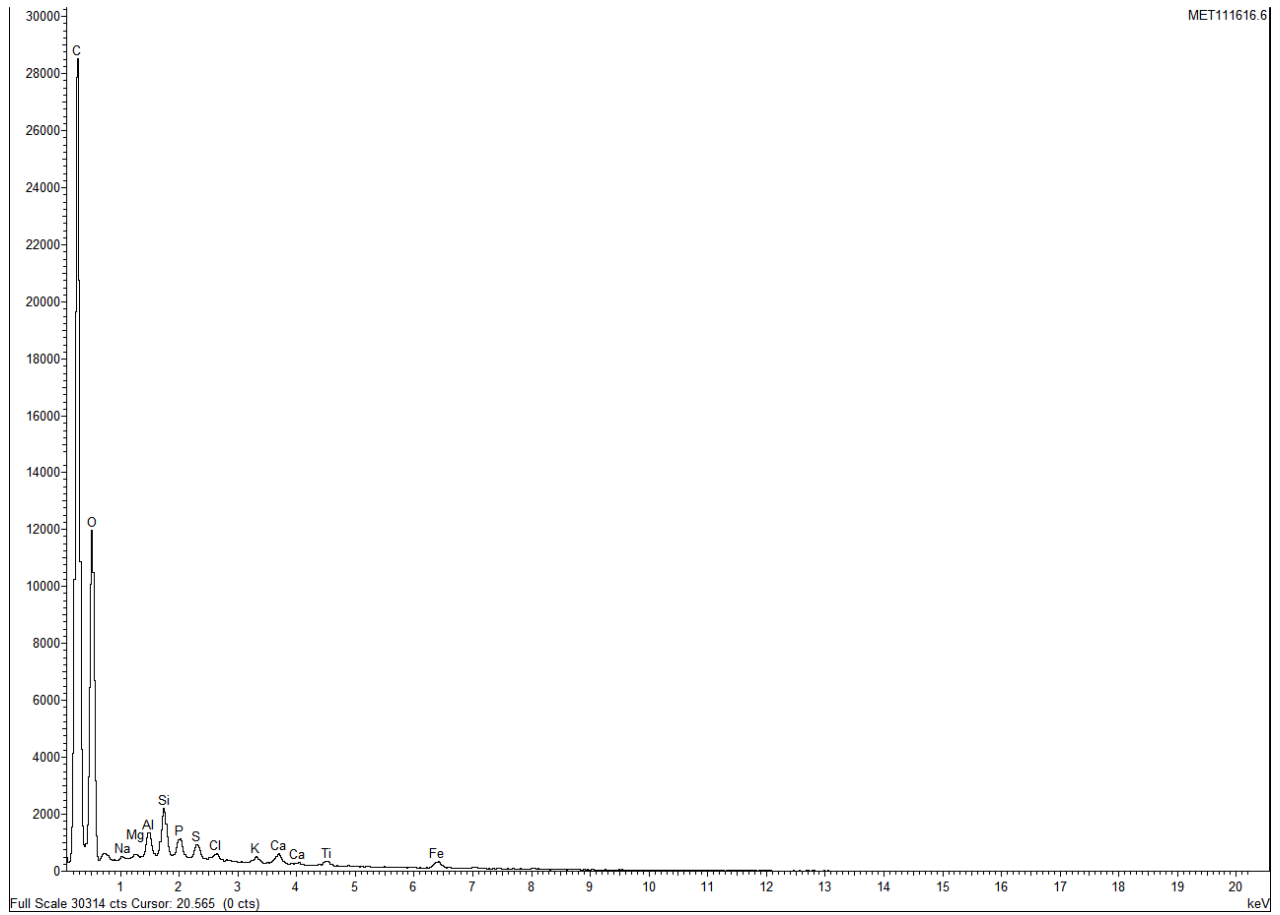


(d)

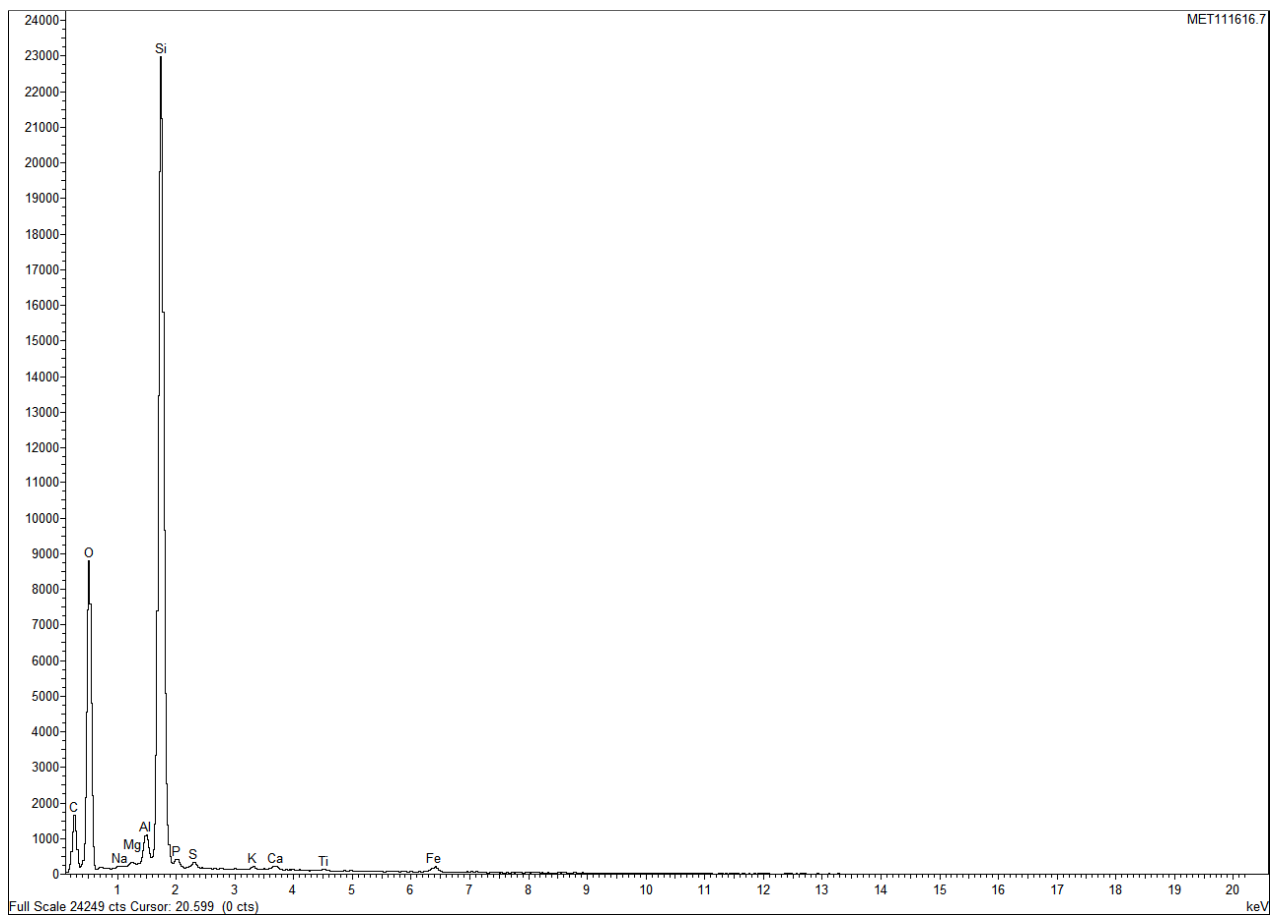


(e)

Figura 32 – Continua.

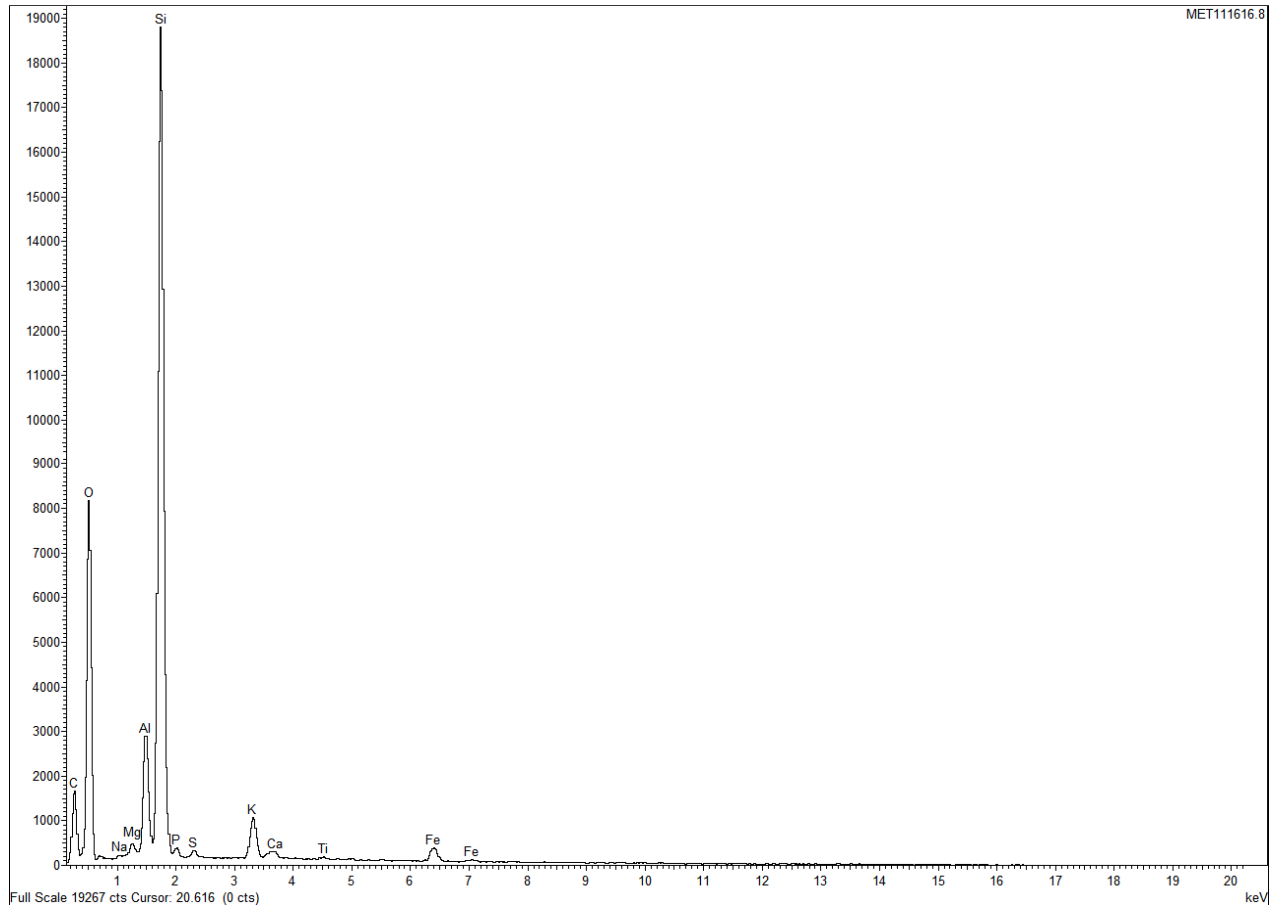


(f)

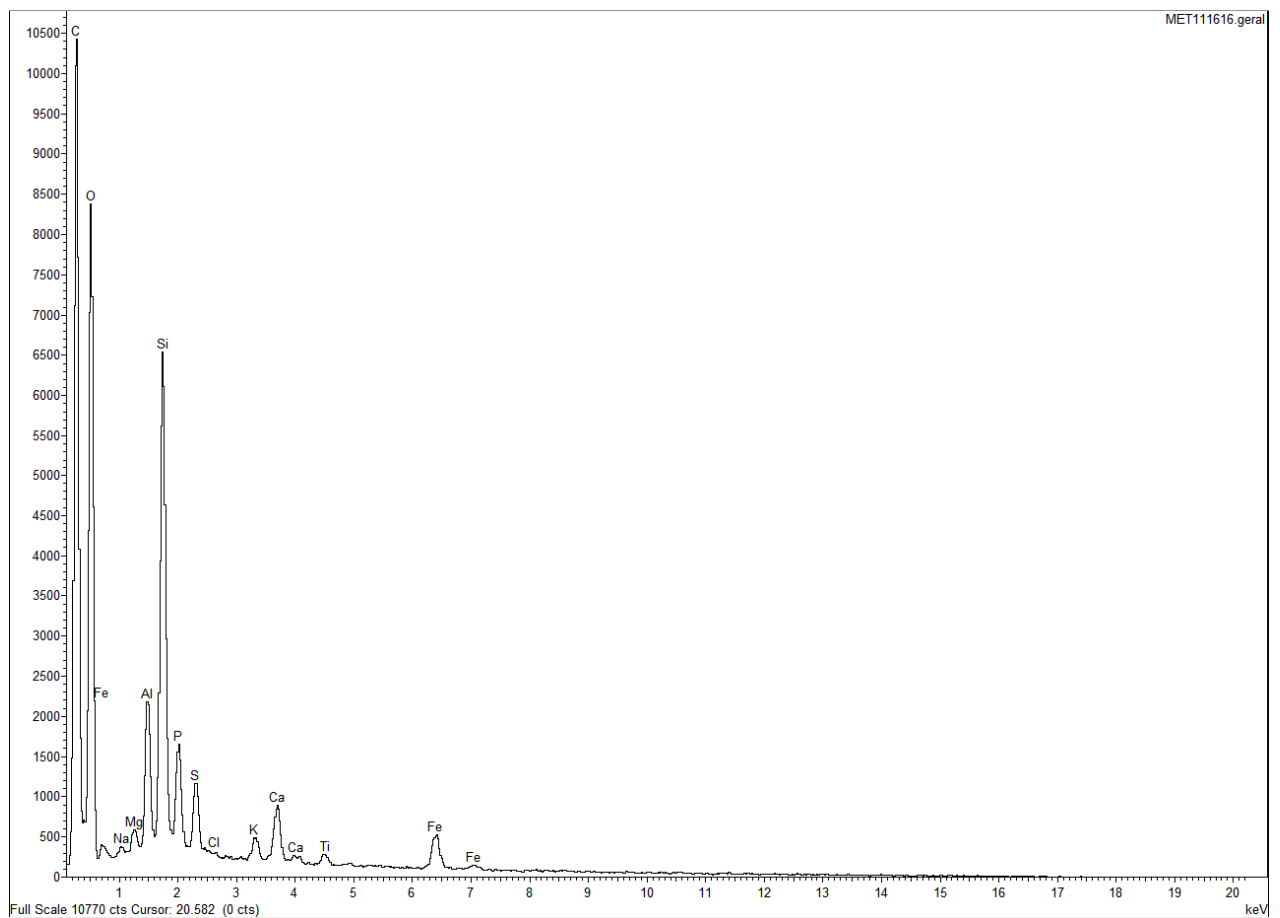


(g)

Figura 34 – Continua.



(h)



(i)

Figura 32 – Espectros de microanálise – BAG 24

(a) Região 1, (b) Região 2, (c) Região 3, (d) Região 4, (e) Região 5, (f) Região 6, (g) Região 7, (h) Região 8, (i) Região Geral

Fonte: (CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

Assim, a partir dos espectros de microanálises referentes à Figura 32, foram obtidos os resultados das microanálises dos elementos em (% em massa) e (mg/kg), como pode ser verificado na Tabela 15 e Tabela 16 respectivamente.

Tabela 15. Resultados das Microanálises (% em massa) referentes à Figura 32.

Elemento	Regiões								Geral
	1	2	3	4	5	6	7	8	
C	84,30	32,63	40,08	51,83	23,36	57,56	21,28	20,15	48,80
O	14,54	44,25	31,79	40,04	53,63	39,38	49,77	48,81	40,45
Na	0,01	0,02	0,05	0,05	0,10	0,09	0,08	0,09	0,13
Mg	0,04	0,01	0,06	0,18	8,47	0,07	0,11	0,33	0,24
Al	0,15	0,23	0,31	1,40	0,21	0,39	0,89	3,19	1,32
Si	0,32	22,11	6,66	2,53	0,59	0,76	26,01	22,98	4,39
P	0,09	0,14	-	1,09	11,47	0,36	0,47	0,38	1,14
S	0,10	0,02	0,21	0,77	0,87	0,26	0,23	0,24	0,75
Cl	-	0,02	-	-	-	0,13	-	-	0,04
K	0,03	0,04	0,07	0,21	0,06	0,14	0,13	1,77	0,32
Ca	0,13	0,09	0,20	0,74	0,23	0,24	0,20	0,24	0,81
Ti	0,15	0,04	0,07	0,19	-	0,17	0,10	0,14	0,24
Mn	-	-	-	-	0,07	-	-	-	-
Fe	0,13	0,16	0,37	0,87	0,93	0,47	0,73	1,69	1,37
Cu	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-
Zn	-	-	20,12	-	-	-	-	-	-
Mo	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: (CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

Tabela 16. Resultados das Microanálises (mg/kg) referentes à Figura 32.

Elemento	Regiões								Geral
	1	2	3	4	5	6	7	8	
C	843000	326300	400800	518300	233600	575600	212800	201500	488000
O	145400	442500	317900	400400	536300	393800	497700	488100	404500
Na	100	200	500	500	1000	900	800	900	1300
Mg	400	100	600	1800	84700	700	1100	3300	2400
Al	1500	2300	3100	14000	2100	3900	8900	31900	13200
Si	3200	221100	66600	25300	5900	7600	260100	229800	43900
P	900	1400	-	10900	114700	3600	4700	3800	11400
S	1000	200	2100	7700	8700	2600	2300	2400	7500
Cl	-	200	-	-	-	1300	-	-	400
K	300	400	700	2100	600	1400	1300	17700	3200
Ca	1300	900	2000	7400	2300	2400	2000	2400	8100
Ti	1500	400	700	1900	-	1700	1000	1400	2400
Mn	-	-	-	-	700	-	-	-	-
Fe	1300	1600	3700	8700	9300	4700	7300	16900	13700
Cu	-	-	-	1100	-	-	-	-	-
Zn	-	-	201200	-	-	-	-	-	-
Mo	-	2400	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: (CCDM - DEMa / UFSCar – São Carlos-SP)

Assim como feito nas análises anteriores, como pode ser verificado na Tabela 16, do ponto de vista agrônômico, o lodo em questão também apresenta quantidades significativas de nutrientes, que poderiam ser utilizados para promover o retorno de nutrientes ao solo, tendo como função a manutenção da fertilidade.

Diante das análises efetuadas nos dois BAG's, é possível que os demais BAG's da ETE apresentem os mesmos elementos químicos em concentrações próximas as determinadas nestas análises.

A respeito das análises biológicas e dos parâmetros químicos, realizadas conforme a 21ª Edição do Standard Methods, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 17, abaixo.

Tabela 17. Resultados biológicos e parâmetros químicos.

Parâmetros		Amostra		
		BAG 1A	BAG 14	BAG 24
Coliformes totais	(NMP/g de ST)	$9,0 \times 10^3$	$1,4 \times 10^4$	$1,5 \times 10^7$
Coliformes fecais	(NMP/g de ST)	$7,2 \times 10^3$	$1,2 \times 10^4$	$5,1 \times 10^2$
Carbono orgânico total	(mg/kg)	6118	4488	4033
Nitrogênio amoniacal	(mg/kg)	2560	2220	1267
Nitrogênio nitrato	(mg/kg)	46,80	39,20	53,28
Nitrogênio nitrito	(mg/kg)	7,2	31,5	27,2
Nitrogênio total Kjeldahl	(mg/g)	2860	2360	1755
pH		8,48	8,46	8,09
Sólidos totais	(mg/kg)	2710	2260	5470
Sólidos totais fixos	(mg/kg)	1410	1160	3790
Sólidos totais voláteis	(mg/kg)	1300	1100	1680

Fonte: (Laboratório de Saneamento / EESC-USP - São Carlos-SP)

As análises biológicas permitiram a quantificação dos coliformes termotolerantes e posteriormente a verificação da possibilidade de enquadramento do lodo analisado dentro das classes de lodos A ou B conforme estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 375/06.

De acordo os resultados obtidos nas análises de coliformes totais e fecais, exceto o resultado do BAG 24 na quantificação de coliformes totais, todos os outros BAG's apresentaram concentrações para coliformes termotolerantes dentro dos valores estabelecidos para lodos Classe B de acordo com a Resolução CONAMA Nº 375/06, ou seja, concentração de coliformes termotolerantes acima (10^3 NMP/g de ST) e abaixo (10^6 NMP/g de ST).

Contudo, as análises dos parâmetros químicos permitiram a investigação e quantificação de carbono, nitrogênio, sólidos e pH na amostra. Conforme pode ser consultado na Tabela 17, e os resultados obtidos foram bem expressivos.

Porem, conforme estabelecido na Resolução CONAMA Nº 375/06, o cálculo da taxa de aplicação máxima anual deverá levar em conta os resultados dos ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo de esgoto no solo predominante na região de

modo a garantir que o pH da mistura solo-lodo de esgoto não ultrapasse o limite de 7,0.

No entanto, a avaliação do pH fica diretamente dependentes do solo ao qual se objetiva fazer a disposição dos lodos em questão.

Em relação à quantificação de sólidos, segundo a referida resolução, o lodo de esgoto será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70. Deste modo, através da avaliação dos resultados obtidos, constatou-se que os lodos dos BAG's são estáveis, o que resultou numa relação entre sólidos voláteis e sólidos totais de 0,48 para o BAG 1A, 0,49 para o BAG 14 e de 0,31 pra o BAG 24.

Em relação ao nitrogênio, a aplicação máxima anual de lodo de esgoto em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha), conforme a recomendação agronômica oficial do Estado, e o teor de nitrogênio disponível no lodo de esgoto (N_{disp} em Kg/ton).

Portanto, as avaliações dos parâmetros de nitrogênio ficam diretamente dependentes do solo ao qual se objetiva fazer a disposição dos lodos.

7. CONCLUSÕES

Ante o exposto conclui-se que:

- Considerando a eficiência de operação dos BAG's de manta geotêxtil no processo de desaguamento dos lodos de esgoto da ETE-Limoeiro, conclui-se que os mesmos não tem alcançando níveis satisfatórios de eficiência para deságue. A massa de lodo presente no interior dos BAG's apresentou mesmo após um período de deságue de 36 meses pouco teor de sólidos e grande volume armazenado.

Entretanto, apesar do lodo possuir características de lodos ativados que são mais difíceis de serem desaguados considerando o tipo de sólido e com a forma com que a água está ligada às partículas do lodo, é possível que a dosagem não correta de polieletrólitos usada na massa de lodo possa também estar influenciando negativamente no processo de remoção de água. Estes possíveis problemas implicam negativamente no processo de desaguamento, pois impossibilita a redução do volume e conseqüentemente o aumento do teor de sólidos.

- Em relação à avaliação de metais tóxicos nos lodos dos BAG's, de acordo com a Resolução CONAMA N° 375/06, para os elementos químicos avaliados (Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Mo, Ni, Se, Zn), todos apresentaram concentrações abaixo das concentrações máximas permitidas em lodos pela referida resolução.

Porem não foi possível determinar a concentração real do (As e Hg) pelo fato do equipamento utilizado não efetuar leituras de concentrações abaixo de 50 mg/kg.

- Sobre a avaliação dos macronutrientes e micronutrientes, caso o lodo passe por processo de tratamento conforme rege a Resolução CONAMA N° 375/06, o mesmo poderá ser usado como bio-sólido (*devidamente seco, higienizado e estabilizado*) para aplicação na agricultura por possuir quantidades significativas de nutrientes essenciais aos solos e plantas.

- Referente às análises biológicas, a concentração de coliformes termotolerantes obtidas nas amostras enquadraram-se dentro dos valores estabelecidos para lodos Classe B de acordo com a Resolução CONAMA Nº 375/06, ou seja, as concentrações obtidas ficaram entre (10^3 a 10^6 NMP/g de ST), com exceção apenas do BAG 24 que apresentou ($1,5 \times 10^7$ NMP/g de ST) para Coliformes totais.
- Em relação às análises dos parâmetros químicos, referente à estabilidade, constatou-se que os lodos dos BAG's analisados são estáveis, apresentando relação entre sólidos voláteis e sólidos totais inferior a 0,70. A respeito dos demais parâmetros químicos (pH e Nitrogênio), não foi possível efetuar uma conclusão, pois ambos ficam diretamente dependentes do solo ao qual se objetiva fazer a disposição dos lodos.

Diante do exposto e levando em consideração que a ETE-Limoeiro não possui UGL - Unidade de Gerenciamento de Lodo, a qual tem por função o recebimento, processamento, caracterização, transporte, destinação e monitoramento dos efeitos ambientais, agrônômicos e sanitários, conclui-se que as melhores alternativas para destinação/disposição final do lodo estudado dentro das opções disponíveis seriam:

- **Disposição em aterro sanitário:** Esta alternativa deverá ser usada caso não haja o interesse em utilizar os nutrientes presentes nos lodos, tratando-o apenas como rejeito. Cabe ressaltar que a Lei Nº 12.305/10 - Política Nacional de Resíduos Sólidos define o lodo de ETE como rejeito quando depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente correta;
- **Reuso industrial:** Esta possibilidade poderá ser usada desde que o lodo esteja devidamente inertizado e apresente percentual de sólidos significantes;
- **Incineração:** Esta técnica poderá ser usada desde que o mesmo seja desidratado até possuir um teor de sólidos superior a 35%;

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Propor projeto para criação de UGL – Unidade de Gerenciamento de Lodo;
- Propor alternativas para aumentar a eficiência do processo de desaguamento de lodos;
- Propor alternativa econômica e tecnologicamente viável para retirada dos lodos dos BAG's para inertização;
- Propor projeto tecnologicamente viável para construção de novos materiais para construção civil com o lodo de esgoto;
- Propor projeto para identificação de substâncias orgânicas potencialmente tóxicas nos lodos;
- Propor técnicas visando a vermicompostagem de lodos de esgoto.

9. REFERÊNCIAS

- ALBRECHT Equipamentos Industriais Ltda. (Disponível em: < <http://www.albrecht.com.br/pt-br/default.php>>. Acesso em: 07 jun. 2010
- ANDRAUS, S.; MEDEIROS, M. L. B.; BORGES, J. C.; SILVA, S. M. C. P.; TOLEDO, E. B. S. **Agentes patogênicos – bactérias entéricas**. In: Andreoli *et. al.* Reciclagem de biossólidos – Transformando problemas em solução. Curitiba-PR: SANEPAR, 2001. 300p. 127-156.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; ILHENFELD, R. G. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1999.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERREIRA, A. C.; BONNET, B. R. P.; PEGORINI, E. S.; WOLTER, F. R.; FONTOURA, H.; IHLENFELD, R. G. K.;
- ANDREOLI, C. V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484 p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 18ed Washington, APHA/AWWA/WPCF, 1992.
- ARAÚJO, F. S. D. **Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de cerâmica vermelha**. 2008. 96f. Dissertação (Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN. Disponível em: < <http://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/FranciolliSDA.pdf>>. Acesso em 08 mar. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: Classificação, Rio de Janeiro, 2004. 71p.
- _____ **NBR 14724**: Informação e documentação: Trabalhos acadêmicos: Apresentação: Classificação, Rio de Janeiro, 2005. 9p.
- _____ **NBR 10520**: Guia para padronização, Rio de Janeiro, 2002. 8p.
- _____ **NBR 6023**: Guia para elaboração de referências, Rio de Janeiro, 2005. 7p.
- BARROSO, M. M. **Influência das micro e macropriedades dos lodos de estação de tratamento de água no desaguamento por leito de drenagem**. 2007. 249f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, São Carlos-SP. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13062007-073455/pt-br.php>>. Acesso em: 25 jun. 2010.

BERTON, R.S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 259-268.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto Ambiental do uso Agrícola do Lodo de Esgoto**, EMBRAPA Meio ambiente, Jaguariúna, 2000.

BOKELA Ingenieuresellschaft für Mechanische Verfahrenstechnik mbH. (Disponível em: <<http://www.bokela.de/br.html>>. Acesso em: 07 jun. 2010

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2ª ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005. 318p.

BRASIL. **Lei Nº. 6.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, 1981.

_____**Lei Nº. 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981.

_____**Lei Nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.

_____**Ministério do Meio Ambiente. 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 gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, 2006.

_____**SÃO PAULO, Lei Nº. 12.300, de 16 de março de 2006**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. Brasília, 2006.

CAMPOS, F. S. **Uso de lodo de esgoto na reestruturação de um latossolo vermelho degradado**. 2006. 106f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP. Disponível em: < <http://www.ppga.feis.unesp.br/dissertacoes2006/fabiana2006.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

CASALI, C. A. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. 2008. 173f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.

CASTRO, T. M. **Solidificação/estabilização de lodo gerado no tratamento de efluentes de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos acústicos e seu desempenho em câmara reverberante**. 2010. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **P 4.230: Aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas: Critérios para projetos e operação**, agosto (1999). 32p. (Manual Técnico).

CORDEIRO, J. S. **Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs**. In.: REALI, M. A. P. *et al.* (1999). Coord. *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB, 1999.

_____. **Processamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água (ETAs)**. . In.: Andreoli, C. V. *et al.* (2001). Coord. *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB, 2001.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; ALVES, M. C. **Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. vol. 11, nº 2. Campina Grande-PB, Março/Abril 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662007000200010>. Acesso em: 11 jun. 2012.

COSTA, F. O. **Sistema especializado como uma ferramenta para aplicação e controle de lodo de esgoto na agricultura**. 2004. 57f. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Agroambientais) – Programa de Pós-Graduação em Gestão dos Recursos Agroambientais – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas-SP. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/PosIAC/pdf/pb1802703.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

CRESPO, P. M. **Manual de Projeto de Estações de Tratamento de Esgotos**, 2º. ed., Belo Horizonte-MG: Editora Gráfica Tempo, 2005. 332p.

CORREIA, J. E. **Caracterização físico-química e microbiológica do lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Contorno**. 2009. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana-BA. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&o_obra=168213>. Acesso em: 08 mar. 2011.

DAAE – Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Araraquara (Disponível em: <<http://www.daaearaquara.com.br/>>. Acesso em: 16 nov. 2011

DACACH, N. G. **Tratamento Primário e Esgoto**. Rio de Janeiro: EDC – Ed. Didática e Científica, 1991.

DAVID, A. C. **Secagem Térmica de Lodos de Esgoto: Determinação da Umidade de Equilíbrio**. 2002. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

DAVIS, R. D. **Agricultural utilization of sewage sludge: A Review**. Journal of the Institution of Water and Environmental Management, v.3, p.351-355, 1989.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. **Aspectos agronômicos**. In: Andreoli *et. al.* Reciclagem de biossólidos – Transformando problemas em soluções. Curitiba-PR: SANEPAR, 2001. 300p. 181-237.

DOMASZAK, S. C. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, Projeto PROSAB. Curitiba-PR, 1999. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/uso_manejo_lodo_agricultura.pdf>. Acesso em 07 mar. 2011.

DUARTE, A. C. L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços: Uma alternativa para a disposição final do resíduo**. 2008. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN. Disponível em: <<http://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/AnaxsandraCLD.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

ECKENFELDER Jr., W. W. **Water Quality Engineering for Practicing Engineers**. The Professional Engineering Carrier Development Series. Department of Environment and Water Resources Engineering. Vanderet University. New York: Barues & Noble, Inc., 1970.

FARIA, L. C.; RODRIGUEZ, L. C. E. **Demanda potencial por lodo de esgoto (biossólido) em plantios de eucaliptos no entorno da região metropolitana de São Paulo**. Revista científica eletrônica de engenharia florestal, 2008. 21f. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/florestal12/pages/artigos/REEF-ANOVII-VOL12-ART06.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2011.

FARINHA, J. A. M. **Secagem Térmica de Lamas de ETAR**. Congresso da Água Ano 2000, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2000. 14p.

FONSECA, A. D. et al. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FONTANA, O. F. **Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador como Solução para Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de Lavagem de Filtros – Estudo de Caso – ETA Cardodo**. 2004. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP. Disponível em: <http://www.bdtd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado/tde_arquivos/11/TDE-2005-03-11T14:44:23Z-541/Publico/DissAOF.pdf> Acesso em: 06 de abr. 2010.

FREITAS, R. A. S. **Comportamento de geotêxteis como filtro em resíduos – fosfógeno e lama vermelha**. 122 p. Dissertação (Mestrado) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

GUARACHO, V. V. **Remediação eletrocinética de chumbo e níquel em solos de landfarming de refinaria**. 2005. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/6035/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Mestrado%20Viviane%20Ventura%20Guaracho.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2011.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus Grandis***. 2005. 154f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. Disponível em: <<http://www.rsflorestal.com.br/arquivos/artigos/b/Lodo%20de%20Esgoto.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

HALLEY, E.; MILLER, G. A **"backward" approach to sludge management**. Water Engineering & Management, v.9, p.36-39, 1991.

HAMMER, M. J; tradução de Sérgio A. S. **Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1979.

JORDÃO, E. P. & PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos: Concepções clássicas de tratamento de esgotos**. São Paulo: CETESB, 1975.

_____ **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

LA ROVERE, E. L *et al.* **Manual de Auditoria Ambiental de Estação de Tratamento de Esgotos**, 1ª ed., Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2008. 150p.

LESSA, G. T. **Contribuição ao Estudo de Viabilidade da Utilização do Lodo de Estação de Tratamento Biológico de Esgoto Misto na Construção Civil**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia – Ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.

LEME, E. J. A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**, 1º. ed., São Carlos-SP: Editora EdUFSCar, 2010. 595p. Universidade Federal de São Carlos.

MALDONADO, C. A. B. **Biossólido na implantação da cultura da pupunheira: Efeitos na precocidade, na produção e nos teores de nutrientes e metais pesados do palmito**. 2005. 83f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Produção Agrícola – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas-SP. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/PosIAC/pdf/pb1805103.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2011.

MALTA, T. S. **Aplicação de lodos de estação de tratamento de esgotos na agricultura: Estudo de caso do Município de Rio das Ostras-RJ**. 2001, 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2001.

MARCOS, O. M.; WANDERLEY, J. M.; TADEU, A. M. O. **Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura**. In: TSUTIYA *et. al.* Biossólidos na agricultura. São Paulo: ABES, 2002. 468p. 365-431

MATTHEWS, P. J. **Sewage sludge disposal in the UK: a new challenge for the next twenty years**. Journal of the Institution of Water Environmental Management, v.6, p.551-559, 1992.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O. **O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo**. In: TSUTIYA *et. al.* Biossólidos na agricultura. São Paulo: ABES, 2002. 468p. 289-362

METCALF e EDDY, INC. **Design of Facilities or the Treatment and Disposal of Sludge**. In: Wastewater Engineering, New York, Mc Graw-Hill, 1991.

_____. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse**, McGraw-Hill, Inc., Third Edition, 1991.

_____. **Wastewater Engineering Treatment, Disposal en Reuse**. Third Edition, New York 1992.

_____. **Wastewater Engineering Treatment, Disposal en Reuse**. Third Edition, revised by George Tchobanoglous, Frank Burton. Tata McGraw – Hill, 1995. 1334 p.

MIRANDA, A. R. **Caracterização do lodo da estação de tratamento de esgoto da cidade de Chapecó (SC) visando à reciclagem agrícola**. 2010. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Chapecó-SC. Disponível em: <<http://www.unochapeco.edu.br/saa/tese/9065/Dissertacao%20completa.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2011.

MOCELIN, C. **Pirólise de lodo de esgoto sanitário: Produção de adsorvente e óleos combustíveis**. 2007. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e Materiais) – Programa de Pós-Graduação Engenharia Mecânica e Materiais – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR. Disponível em: <<http://www.ppgem.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/MOCELIN,%20Cristiane.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

NETO, S. P. M.; JÚNIOR, C. H. A.; MURAOKA, T. **Uso de biossólido em plantios florestais**. – Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2007. 26p. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cpac.embrapa.br%2Fdownload%2F1215%2Ft&ei=TcKATdadE8rOgAf_x_jmBA&usq=AFQjCNFWYynOvsEoVm9X740owzWiQvaSwQ>. Acesso em 09 mar. 2011.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**, 3ª ed., Aracaju-SE: Editora Triunfo Ltda, 2001. 299p.

NUVOLARI, *et al.* **Esgoto Sanitário**, 1ª ed., São Paulo-SP: Editora Edgard Blücher Ltda, 2003. 519p.

OLIVEIRA, A. S. **Tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados no Município de Ribeirão Preto, SP: Avaliação da remoção de metais pesados**. 2006. 162f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem e Saúde Pública) – Programa de Pós-Graduação em Enfermagem e Saúde Pública – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto-SP. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-20062006-160725/pt-br.php>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

OLIVEIRA, E. L. **Proteção do meio ambiente - tratamento de águas residuárias**. 2008. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/eduoliv/ProtAmb/TratEsg.pdf>> Acesso em: 30 nov. 2009.

PEIXOTO, G. J. **Avaliação da aplicação de lodo de ETA no adensador de lodo da uma ETE de lodos ativados.** 2008. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP. Disponível em: <http://www.ppgec.feis.unesp.br/teses/2008/gilmar_2008_final.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2011.

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. 219f. (Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2011

QUINTANA, N. R. G. **Análise econômica da aplicação de biossólido na agricultura.** 2006. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Botucatu-SP. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0026.pdf>. Acesso em 08 mar. 2011.

RACANICCHI, R. M. Z. V. **Influência da Implantação de Estação de Tratamento de Esgoto Tipo Lagoas de estabilização na Recuperação da Qualidade da água do Córrego Cabeceira da Mula em Santa Fé do Sul-SP.** 2002. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP.

RAMALHO, R.S. **Introduction to Wastewater Treatment Process.** 2nd ed. Faculty of Science and Engineering. Laval University Quebec: Academic Press, 1983.

REIS, R. F. **Estudo de Influência de Coberturas na Remoção da Água de Lodos de Estação de Tratamento de Água em Leitões de Drenagem Cobertos.** 2010. 49f. Exame de Qualificação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP.

SABINO, M. G. **Desenvolvimento e avaliação do desempenho de leito de secagem com manta geotêxtil destinado à desidratação de lodos de decantadores de Estação de Tratamento de Água (ETA's) Convencionais.** 24^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Belo Horizonte-MG, 2007. Disponível em: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/I-135.pdf>> Acesso em: 28 ago. 2010.

SANTOS, A. D. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo.** 2003. 265f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil – Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. Disponível em: <<http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=2&ved=0CB0QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.teses.usp.br%2Fteses%2Fdisponiveis%2F3%2F3146%2Fde-30012004-134621%2Fpublico%2FDissertacao.pdf&ei=lbuATabCJojTgQf73PAd&usq=AFQjCNFAFKcxk9P0gG4IV5R2RBUBEuprPg>>. Acesso em: 09 mar. 2011.

SILVA, S. A. & MARA, D. D. **Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1979.

TAKEUTI, M. R. S. **Avaliação de Desempenho de uma Estação de Tratamento de Esgoto por Lagoas de Estabilização com Chincanas**. 2003. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP. Disponível em: <http://www.ppgec.feis.unesp.br/teses/2003/takeuti_2003.pdf>. Acesso: 26 fev. 2010.

TECITEC – Filtração e Tratamento de Efluentes (Disponível em: <<http://www.tecitec.com.br/>>. Acesso em: 07 jun. 2010

TSUTIYA, M. T. **Alternativas de disposição final de biossólidos**. In: TSUTIYA *et al.* Biossólidos na agricultura. São Paulo: ABES, 2002. 468p. 133-180

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**, 2. ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

_____. **Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final**, 1º. ed., v.6, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. 483 p, v.6.

_____. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas**: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 3ª ed., Belo Horizonte-MG: Editora UFMG, 2005. 101p.

VLC – Indústria e Comércio Ltda. Disponível em: <<http://www.vlc.ind.br/prensa-desaguadora.php>>. Acesso em 10 ago. 2010.

ZEITOUNI, R. F. **Análise crítica da Norma CETESB P 4.230 – “Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação”**. 2005. 198f. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Agroambientais) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas-SP. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/PosIAC/pdf/pb1803603.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2011.