

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**INFLUÊNCIA DO USO DE COAGULANTES NA
CONCENTRAÇÃO DE METAIS DO DESÁGUE POR
SISTEMAS DE GEOMEMBRANAS – ESTUDO EM
ESCALA PILOTO**

Claudence Paulino da Silva

Maurício Alves da Motta Sobrinho

Recife/PE

Recife/2016

P
P
G
E
C

CLAUDENICE PAULINO DA SILVA

**INFLUÊNCIA DO USO DE COAGULANTES NA
CONCENTRAÇÃO DE METAIS DO DESÁGUE POR SISTEMAS
DE GEOMEMBRANAS – ESTUDO EM ESCALA PILOTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia

Linha de pesquisa: Geotecnia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho
Universidade Federal de Pernambuco

Recife/2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586i Silva, Claudenice Paulino da.

Influência do uso de coagulantes na concentração de metais no deságue por sistemas de geomembranas – estudo em escala piloto / Claudenice Paulino da Silva. - 2016.

83 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Maurício Alves da Motta Sobrinho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**INFLUÊNCIA DO USO DE COAGULANTES NA
CONCENTRAÇÃO DE METAIS DO DESÁGUE POR SISTEMAS
DE GEOMEMBRANAS – ESTUDO EM ESCALA PILOTO**

defendida por

Claudenice Paulino da Silva

Considera a candidata _____

Recife, 19 de agosto de 2016

Orientador:

Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho – UFPE
(orientador)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho – UFPE
(orientador)

Prof. Dr. Sílvio Romero de Melo Ferreira – UFPE
(examinador interno)

Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques de Arruda – UFRPE
(examinador externo)

*“Instrui ao sábio, e ele se fará mais sábio; ensina
ao justo, e ele crescerá em entendimento.”*

PV9.9

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por ter me dado condições de concluir esse trabalho, e pelas suas vitórias em minha vida.

Aos meus pais, Geraldo e Doralice, que sempre me apoiaram e se esforçaram para meu crescimento pessoal e intelectual, as minhas irmãs Cláudia e Claudiane por acreditarem em mim e entenderem que o meu “tempo” ao lado delas nesse período foi reduzindo.

Ao meu professor, Maurício Motta que sempre me ajudou em todas as dúvidas e dificuldades do estudo desenvolvido.

Ao meu grande amigo José Rinaldo por todo apoio dado nesse período de estudo, e pelo incentivo de que “quando eu terminasse esse mestrado grande portas abririam na minha vida”.

Aos colegas que ajudaram nas análises e ensaios relativos ao estudo, e no incentivo ao desenvolvimento da pesquisa, Natali Monteiro, Rafael Roney, Etiene Rocha, Rosângela Tavares, Romero Assis, Tatiane Lafayette, Crisleide Nascimento, Cinthia Santos, Antônio Brito do Grupo de Resíduos Sólidos - UFPE, e a todos que me ajudaram de uma forma direta ou indireta.

A COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) pela liberação das pesquisas nas estações de tratamento de esgoto e todo material complementar para a pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil (PPGECivil) pela oportunidade.

A Andrea, Cleide e Claudiane, do PPGECivil, por todo apoio administrativo escolar e incentivo educacional.

Ao CNPq pelo incentivo a pesquisa com apoio financeiro.

RESUMO

SILVA, C. P. (2016) **Influência do uso de coagulantes na concentração de metais do deságue por sistemas de geomembranas – Estudo em escala Piloto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pernambuco. Recife, Brasil.83p.

O sistema de tratamento de águas residuais ou de esgoto é destinado à remoção de poluentes que se encontram em fase dissolvida ou particulada. O lodo gerado após o tratamento desses resíduos é um problema no âmbito de saneamento das cidades, pois não há evidências de tratamento eficiente. Este trabalho avaliou os metais presentes no lodo da ETE Mangueira após dois tipos de tratamento, e comparou os resultados dos metais da massa sólida resultante com a legislação vigente para utilização na agricultura. O primeiro tratamento foi utilizado coagulante e o segundo sem coagulante. As amostras foram coletadas na válvula de descarga do lodo, situada na base do reator anaeróbio, e enviadas para laboratório. A cada semana era realizada uma nova coleta e o bag de geotêxtil era alimentado para drenagem do lodo. O período de amostragem foi de 3 (três) meses. Foram realizadas análises para caracterização do lodo antes, durante e depois do lodo presente nos bags, como também do líquido drenado. Após enchimento dos bags, foram retirados 12 (doze) pontos amostrais, e misturadas para obtenção de 3 (três) amostras de 200g para análise de metais e de sólidos. Os resultados indicaram que o uso do Bag de geotêxtil para remoção de poluentes é bastante eficiente, visto que a concentração de metais do lodo bruto em comparação com o lodo tratado sem uso do polímero foi de 98% de Fe, 98% de Cu, 93% de Pb, 89% de Mn, 100% de Zn e 98% de Al. Já com a adição do polímero os resultados mostraram, 99% de Fe, 98% de Cu, 93% de Pb, 89% de Mn, 100% de Zn e 99% de Al. Os resultados dos metais presentes na massa sólida quando comparados com o CONAMA 375/06 e a CETESB/EUA, indicaram que o metal zinco foi avaliado, resultando em uma concentração de 177,72 mg/kg e atendeu aos requisitos da legislação que são 2.800mg/kg e 7.500mg/kg respectivamente. E os sólidos avaliados, indicaram que a massa em estudo atende aos requisitos do CONAMA 375/06 que recomenda uma relação de 0,7 entre os Sólidos Voláteis e os Sólidos Totais Voláteis. Obtendo assim para o drenado sem coagulante e com o coagulante, 0,62 e 0,57 respectivamente. Observa-se que o uso do polímero foi pouco significativo, sendo o uso do geotêxtil eficiente na remoção de partículas sólidas provenientes de lodo de ETE.

Palavras-chave: lodo, geotêxtil, polímero, metais.

ABSTRACT

SILVA, C. P. (2016) **Influence of the use of coagulants in the concentration of metals percolated the drainpipe by geomembranes systems - Study in pilot scale.** Master in Civil Engineering, Federal University of Pernambuco. Recife, Brasil. 83p.

The sewage or waste water treatment system is intended for removing pollutants which are dissolved or particulate phase. The sludge generated after treatment of this waste is a problem in sanitation context of town because there is no effective treatment of evidence. This study evaluated the metals present in the sludge from ETE hose after two types of treatment, and compared the results of the resulting solid mass of metal with current legislation for use in agriculture. The first treatment was used without coagulant and the second coagulant. The samples were collected in the sludge discharge valve at the base of the anaerobic reactor and sent to the laboratory. Each week was held a new collection and bag geotextile was fed to sludge drainage. The sampling period was 3 (three) months. Sludge characterization for analyzes were performed before, during and after this sludge in bags, as well as the drainage. After filling the bags were removed from twelve (12) sampling points, and mixed to obtain three (3) samples of 200g for analysis of metals and solids. The results indicated that use of the bag geotextile for removing pollutants is very efficient, since the concentration of the raw sludge metals compared to the sludge treated without use of polymer was 98% Fe, 98% Cu, 93 % Pb, 89% Mn 100% Zn and 98% Al. However, with the addition of the polymer results showed 99% Fe, 98% Cu 93% Pb, 89% of Mn, 100 % Zn and 99% Al. The results of the metals present in the solid mass when compared to CONAMA and Cetesb 375/06 / USA, showed that zinc metal was measured, resulting in a concentration of 177.72 mg / kg and met the requirements of the legislation that are 2.800mg / kg and 7.500mg / kg respectively. And this solid indicated that the mass CONAMA 375/06 study meets the requirements that recommends a ratio between 0.7 Volatile Solids and Total Volatile Solids. So getting to the drained without coagulant and the coagulant, 0.62 and 0.57 respectively. It observed that the use of polymer was negligible, and the use of geotextile effective in removing solid particles from the WWTP sludge.

Keywords: sludge, geotextile, polymer, metals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de esgotamento estático e dinâmico. Fonte: VON VON SPERLING, 1996.	21
Figura 2: Conversão biológica nos sistemas aeróbios e anaeróbios. Fonte: (CHERNICHARO, 1997).....	25
Figura 3: Lagoa aerada facultativa. Fonte: Google/imagens.....	27
Figura 4: Distribuição dos sólidos no lodo. Fonte: Fontes, 2013.....	34
Figura 5: Instalação de tubos de geotêxteis. Fonte: www.allonda.com.	38
Figura 6: Instalação de tubos de geotêxteis. Fonte: www.allonda.com.	43
Figura 7: Mapa de Localização ETE Mangueira. Fonte: Google Earth.	44
Figura 8: ETE Mangueira, Reator UASB e Lagoa de Polimento (a) Leito de Secagem (b). Fonte: GPTA.	44
Figura 9: Montagem experimental para realização do ensaio de deságue de lodo. Fonte: GPTA.....	46
Figura 10: Lodo Bruto. Fonte: GPTA.	47
Figura 11: Modelo de Bag Allonda. Fonte: GPTA.	47
Figura 12: Montagem dos Bags e Ponto de coleta do drenado. Fonte: GPTA.....	48
Figura 13: Resultados do pH nas 10 (dez) alimentações.....	53
Figura 14: Resultados da condutividade nas 10 (dez) alimentações.	55
Figura 15: Resultados de sólidos totais nas 10 (dez) alimentações.	56
Figura 16: Resultados de sólidos totais voláteis nas 10 (dez) alimentações.	57
Figura 17: Resultados de sólidos totais fixos nas 10 (dez) alimentações.....	59
Figura 18: Resultados de ferro 10 (dez) alimentações.	60
Figura 19: Resultados de cobre nas 10 (dez) alimentações.	61
Figura 20: Resultados de chumbo nas 10 (dez) alimentações.	62
Figura 21: Resultados de manganês nas 10 (dez) alimentações.....	64
Figura 22: Resultados de zinco nas 10 (dez) alimentações.	65
Figura 23: Resultados de alumínio nas 10 (dez) alimentações.....	66

Figura 34: Resultados do Teste “u” de Mann Whitney: (a) pH, (b) condutividade, (c) sólidos totais, (d) sólidos totais voláteis, (e) sólidos totais fixos, (f) ferro, (g) cobre, (h) manganês, (i) chumbo, (j) zinco e (l) alumínio.	70
Figura 35: Gráfico dos Pesos (CP1 x CP2).	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados do pH das amostras.	52
Tabela 2: Resultados da condutividade das amostras.....	54
Tabela 3: Resultados de sólidos totais das amostras.	55
Tabela 4: Resultados de sólidos totais voláteis das amostras.....	57
Tabela 5: Resultados de sólidos totais fixos das amostras.	58
Tabela 6: Resultados de ferro das amostras.....	59
Tabela 7: Resultados de cobre das amostras.	61
Tabela 8: Resultados de chumbo das amostras.	62
Tabela 9: Resultados de manganês das amostras.	63
Tabela 10: Resultados de zinco das amostras.....	64
Tabela 11: Resultados do alumínio das amostras.....	66
Tabela 12: Resultados da estatística descritiva do drenado.....	66
Tabela 13: Autovalores e variância explicada.....	71
Tabela 14: Matriz de Loadings das variáveis nas CPs.	71
Tabela 15: Matriz de correlação entre os parâmetros.....	73
Tabela 16: Resultados do material retido no bag.	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Caracterização dos sistemas de água e esgotos no Brasil segundo o SNIS em 2014. Fonte: Adaptado de Brasil, 2016.	21
Quadro 2: Quantidade de população que utilizam alternativas individuais de esgotamento sanitário. Fonte: Brasil, 2016.	22
Quadro 3: Comparação entre os sistemas aeróbios e anaeróbios. Fonte: Kozak, et. al. (2012)26	
Quadro 4: Comparação dos sistemas de lodos ativados. Fonte: Fontes (2013) apud VON SPERLING (1997).	28
Quadro 5: geração de lodo nos sistemas de tratamento de esgoto. Fonte: Godoy (2013) apud Metcalf e Eddy (2002).	29
Quadro 6: Micro-organismos indicadores de depuração. Fonte: (CORDI, et. al., 2008) apud CETESB, 1989.	32
Quadro 7: Parâmetros a serem adotados para caracterização química. Fonte: CETESB.	33
Quadro 8: Vantagens e desvantagens de leito de secagem. Fonte: Fontes, 2003.	35
Quadro 9: Comparativo das principais geomembranas fabricadas. Fonte: GEROTO, 2008. ..	37
Quadro 10: Coletas realizadas mensais.	45
Quadro 11: Identificação das amostras.	45
Quadro 12: Identificação das amostras.	48
Quadro 13: Ponto de coletas das amostras no Bag.	49
Quadro 14: Parâmetros analisados e métodos de análises do SMEWW.	50
Quadro 15: Testes estatísticos aplicados nos dados obtidos.	50
Quadro 16: Resultados estatísticos do teste de normalidade das amostras.	51
Quadro 17: Resultados do Teste “T” de Student.	68
Quadro 18: Comparação da massa sólida com o CONAMA 375/06.	74
Quadro 19: Correlação do STV/ST.	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CENAPESQ	Laboratório do Centro de Apoio à Pesquisa
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DLETEMSC	Deságue do Lodo ETE Mangueira sem Coagulante
DLETEMCC	Deságue do Lodo ETE Mangueira com Coagulante
DEQ	Departamento de Engenharia Química
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GPTA	Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais
GRS	Laboratório do Grupo de Resíduos Sólidos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
POA	Processo Oxidativo Avançado
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SMEWW	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
STF	Sólidos Totais Fixos
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivos.....	18
1.2 Objetivos Específicos	18
1.3 Estrutura da Dissertação	18
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Tratamento de Esgoto Sanitário.....	20
2.2 Processos Biológicos de Tratamento de Efluentes	23
2.2.1 Classificação dos Processos	24
2.2.2 Vantagens e Desvantagens do Processo Geração de lodo.....	24
2.3 Processos Aeróbios	26
2.3.1 Lodo Ativado.....	27
2.3.2 Geração de lodo.....	29
2.4 Processos Anaeróbios	30
2.4.1 Processo UASB	31
2.5 Lodo Biológico	31
2.5.1 Caracterização	32
2.5.2 Aspectos Qualitativos.....	32
2.5.3 Aspectos Quantitativos.....	33
2.6 Tratamento do Lodo.....	34
2.6.1 Pirolise.....	34
2.6.2 Secagem	35
2.6.3 Deságue em Geomembranas	36
2.7 Destinação Final do Resíduo de Lodo de ETE	38
2.8 Utilização de Resíduo de Lodo de ETE na Agricultura.....	39
2.9 Estatística Descritiva.....	40
2.9.1 Teste de Normalidade.....	40
2.9.2 Teste de Man Whitney	41
2.9.3 Análise de componentes principais (ACP).....	41
3.0 MATERIAIS E MÉTODOS.....	42

3.1 Sistema de Estação de Tratamento de Esgoto ETE Mangueira.....	42
3.1.1 Características gerais da ETE Mangueira	43
3.2 Mapa de Localização	43
3.3 Descrição do local da coleta	44
3.4 Ensaio de deságue do lodo.....	45
3.5 Características do Bag	47
3.6 Procedimento Experimental.....	47
3.7 Abertura dos Bags e retirada da massa sólida.....	48
3.8 Análises dos parâmetros físico-químicos.....	49
3.9 Dados Estatísticos	50
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Teste de normalidade	51
4.2 Avaliação do Drenado	51
4.2.1 pH.....	52
4.2.2 Condutividade Elétrica (CE)	53
4.2.3 Sólidos Totais (ST).....	55
4.2.4 Sólidos Totais Voláteis (STV)	56
4.2.5 Sólidos Totais Fixos (STF)	58
4.2.6 Ferro (Fe).....	59
4.2.7 Cobre (Cu).....	60
4.2.8 Chumbo (Pb)	61
4.2.9 Manganês (Mn)	63
4.2.10 Zinco (Zn)	64
4.2.11 Alumínio (Al).....	65
4.3 Análise estatística do drenado	66
4.4 Teste “t” de Student	68
4.5 Teste “u” de Mann Whitney	68
4.6 Componentes Principais	69
4.6.1 Autovalores e Variância Total Explicada.....	70
4.6.2 Matriz de Loadings.....	71

4.6.3 Matriz de Correlação	72
4.7 Análise do Material retido no bag.....	73
5.0 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	76
5,1 Conclusões	76
5.2 Perspectivas	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXO	82

1.0 INTRODUÇÃO

O acesso a água tratada é um direito de todos, e está previsto na Política Nacional de Saneamento Básico – Lei 11.445/2007. Mas grande parte da população ainda não possui acesso ao tratamento de água e de esgoto, sendo esse último mais deficitário.

Promover eficiência nos tratamentos de água e esgoto ainda é uma tarefa complexa, mas estudos apontam a relevância da diminuição de doenças quando há melhorias no saneamento básico fornecido a uma população.

Nos processos de tratamento de esgoto sanitário, ou seja, nas Estações de Tratamento de Esgoto, resulta em uma geração de um resíduo semi-sólido, denominado lodo.

O lodo pode ser gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto nos seguintes processos: Lodo primário (decantador primário); Lodo aeróbio não estabilizado (lodo ativado convencional); Lodo aeróbio estabilizado (reatores aeróbios) e lodo estabilizado (reatores anaeróbios) (PEDROSA *et al.*, 2010).

Os lodos de ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) são constituídos de partículas sólidas, ricos em matéria orgânica, e com uma concentração de metais pesados que possa variar de acordo com as características do esgoto bruto.

Dentre os possíveis tratamentos, o deságue do lodo com uso de geomembranas que está sendo bastante estudado atualmente. Segundo Paula (2012), as geomembranas são utilizadas para deságue de materiais com alto teor de água, e os tubos de geotêxteis são também eficientes para a separação e remoção de água de resíduos altamente contaminados.

O trabalho em questão teve como objetivo avaliar a influência da adição do coagulante na remoção de metais no tratamento do Lodo de ETE, através do deságue em geomembranas.

1.1 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a influência da adição de polímero na concentração de metais do lodo proveniente da ETE Mangueira, através do deságue do lodo em uma geomembrana, em sistemas de pequena escala.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos a serem atingidos nesse trabalho são:

- Realizar a caracterização físico-química do Lodo Bruto;
- Realizar a caracterização físico-química do líquido drenado do sistema de geomembranas;
- Comparar retenção de sólidos e metais para os tratamentos com e sem polímero entre os drenados;
- Analisar através de ferramentas estatísticas a correlação entre os parâmetros físico-químico.
- Comparar massa sólida retida com a legislação do CONAMA e a CETESB para utilização na Agricultura.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos.

Capítulo 1: aborda a introdução da pesquisa e os objetivos geral e específicos a serem atingidos neste trabalho.

Capítulo 2: apresenta a revisão bibliográfica, abordando assim os temas: sistema de tratamento de esgoto sanitário, parâmetros de qualidade analisados na caracterização, a geração de resíduos numa ETE, os aspectos legais da Legislação Ambiental sobre resíduos de ETE e por fim falamos sobre tipos de destinação final de resíduos de ETE.

Capítulo 3: descreve a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Mangueira onde foram realizadas todas as coletas para o ensaio, assim com a montagem do ensaio para deságue e armazenamento do lodo realizado no laboratório do Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais (GPTA – DEQ/ UFPE), e por fim as metodologias empregadas nos ensaios.

Capítulo 4: apresenta e discute os resultados da caracterização do lodo antes e após o desague, como também a caracterização do percolado e por fim faz a abordagem da legislação para uso na agricultura.

Capítulo 5: apresenta as conclusões e sugere novos estudos.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados fundamentos teóricos sobre sistema de tratamento de esgoto sanitário, sendo apresentadas informações sobre sua definição, geração, composição, formas de tratamento, o descarte do lodo de ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) e a reutilização de lodo como fertilizantes. Por último aborda se as análises estatísticas para possíveis tratamentos de lodo de esgoto sanitário.

2.1 Tratamento de Esgoto Sanitário

A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9433/97, institui que a água é um bem de todos, e um recurso natural limitado, e sua gestão deve ser realizada nas esferas federal, estadual e municipal. Garantindo assim, uma melhor qualidade de vida para as atuais e futuras gerações.

O desperdício de uso da água ainda é um problema necessário a ser discutido, pois o consumo não consciente é proporcional ao crescimento da população, e a poucas políticas de educação ambiental nas cidades.

O esgoto sanitário é gerado da água utilizada pela ação humana, e que posteriormente dar origem a esse resíduo, que de acordo com a ABNT NBR 10.004 é considerado Classe II-B não inerte.

A gestão ineficiente de esgoto tem causado um grave problema de contaminação das águas de rios, lagos, açudes, entre outros, nas cidades brasileiras.

De acordo com Brasil (2016), a maior parte da população brasileira possui acesso a água potável. Mas a população atendida com esgotamento sanitário ainda é insatisfatória. Vale ressaltar que o volume de esgoto tratado é 70% com relação ao volume de esgoto coletado no ano de 2014, conforme retratam os dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento do Quadro 1.

Quadro 1: Caracterização dos sistemas de água e esgotos no Brasil segundo o SNIS em 2014.
Fonte: Adaptado de Brasil, 2016.

INFORMAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
População total atendida com abastecimento de água	hab.	163.236.203
Quant.de ligações de água	unid.	51.604.335
Quant. De economias residenciais ativas	unid.	53.784.040
Extensão da rede de água	Km	586.170
Volume de água produzido	mil m ³	15.991.238
Volume de água consumido	mil m ³	10.132.306
População total atendida com esgotamento sanitário	hab.	98.006.500
Quantidade de ligações de esgotos	unid.	27.628.416
Quant. De economias residenciais ativas	unid.	31.419.324
Extensão da rede de esgotos	Km	270.661
Volume de esgoto coletado	mil m ³	5.357.051
Volume de esgoto tratado	mil m ³	37.763.851

De acordo com a literatura, há dois tipos de esgotamento sanitário, são eles: individual ou estático e coletivo ou dinâmico (Figura 1). O primeiro é destinado a pequenas residências ou uma solução local no qual a área não seja saneada. E o segundo sistema é uma solução para áreas saneadas, e sua implantação de rede é afastada da área servida (VON SPERLING, 1996).



Figura 1: Sistema de esgotamento estático e dinâmico. Fonte: VON SPERLING, 1996.

Um relevante número de municípios brasileiros sofre com a falta de abastecimento de rede coletora de esgoto. A área rural possui um maior agravante nesse aspecto, ficando assim a opção da utilização de sistemas unitários de tratamento de esgoto, conhecido mais comum como fossa séptica.

As fossas sépticas realizam o tratamento dos resíduos de esgoto através do processo de sedimentação e digestão anaeróbia. O sistema funciona através da infiltração da água residual sobre o solo, e este por sua vez remove os poluentes através de processos biogeoquímicos (PAULA, 2012).

O Quadro 2 mostra a quantidade de população total existente nos municípios que adotam como solução principal cada uma das alternativas individuais de esgotamento sanitário, versus Região Geográfica e o total geral no Brasil. Das soluções alternativas existentes nos municípios brasileiros, 87,7% representam a região Norte, Nordeste e Sul. Cerca de 60% dos municípios brasileiros adotam sumidouros e fossa séptica como alternativa de esgotamento sanitário.

Quadro 2: Quantidade de população que utilizam alternativas individuais de esgotamento sanitário. Fonte: Brasil, 2016.

Região	Principal alternativa individual de esgotamento sanitário						Total
	fossas sépticas / sumidouro	fossa rudimentar	valas a céu aberto	lançam.em cursos d' água	galerias de águas pluviais	Outros	
	(mil hab.)	(mil hab.)	(mil hab.)	(mil hab.)	(mil hab.)	(mil hab.)	
Norte	2.896	1.722	170	27	0	30	5.097
Nordeste	5.918	1.533	608	649	911	275	10.537
Sudeste	355	117	0	349	111	0	959
Sul	4.773	581	56	0	489	43	6.351
Centro-Oeste	1.107	490	0	0	0	25	2.134
Brasil	15.049	4.442	823	1.026	1.510	372	25.078

Os sistemas de tratamento de esgoto sanitários, conhecidos como ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), têm por objetivo remover poluentes de água residuais. De acordo com Von Sperling (1996), os tratamentos de esgoto podem se dividir em operações e processos unitários, e a integração destes compõem os sistemas de tratamento. De um modo geral pode-se adotar as seguintes definições:

- Operações físicas unitárias: métodos de tratamento no qual predomina a aplicação de forças físicas (ex: gradeamento, mista, floculação, sedimentação, flotação, filtração).
- Processos químicos unitários: métodos de tratamento nos quais a remoção ou conversão de contaminantes ocorre pela adição de produtos químicos ou devido a reações químicas (ex: precipitação, adsorção, desinfecção).
- Processos biológicos unitários: métodos de tratamento nos quais a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividade biológica (ex: remoção da matéria orgânica carbonácea, desnitrificação).

Os processos físicos e físico-químicos são utilizados para remover cor, turbidez, odor, álcalis, metais pesados, óleos e matéria orgânica. Os processos químicos de tratamento são utilizados quando os processos físicos e/ ou biológicos não são eficientes para remoção do contaminante (LINS, 2010). Dentre os processos químicos, os POAs (Processos Oxidativos Avançados) tem tido especial interesse, principalmente para tratar efluentes altamente recalcitrantes e/ou tóxicos.

Segundo Freire (2000), os POAs possuem um alto poder oxidante, promovendo assim a degradação de compostos poluentes em curto espaço de tempo. Eles se caracterizam pela geração do radical hidroxila OH, cujo potencial de oxidação é inferior apenas ao do flúor.

Os procedimentos realizados nos processos físicos facilitam a depuração dos efluentes, mas não ocorre a degradação efetiva das substâncias poluentes, necessitando assim de outro tratamento associado a esse. Os métodos químicos, como por exemplo, os processos oxidativos avançados, são bastante promissores, mas a aplicação destas tecnologias necessitará de mais estudos. Já os tratamentos biológicos há uma possibilidade de tratamento de efluentes em maiores quantidades; considerável capacidade dos microorganismos em degradar substâncias orgânicas tóxicas; e baixo custo (BRITO e SILVA, 2012).

2.2 Processos Biológicos de Tratamento de Efluentes

Os tratamentos baseados em processos biológicos são os mais utilizados atualmente, devido a sua aplicabilidade na maioria dos efluentes gerados, sendo eles de origem doméstica ou industrial, permitindo o tratamento de volumes grandes de efluentes, e transformando compostos tóxicos em CO₂ e H₂O ou (CH₄ e CO₂). Como também, o baixo custo desse tipo de tratamento, frente aos processos químicos (Metcalf&Eddy Inc. *et.al.*, 2014).

A principal aplicação deste tipo de processo está na sua capacidade de remoção de matéria orgânica presente nos rejeitos, medidos através dos parâmetros da demanda química de oxigênio (DQO) e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) (CORDI *et al.*, 2008).

2.2.1 Classificação dos Processos

De acordo com Lins (2010), o tratamento biológico fundamenta-se na utilização de microorganismos para redução da carga orgânica, e podem ser divididos em aeróbios ou anaeróbios. Há ainda os processos anóxicos que utilizam o nitrogênio como doador de elétrons para o processo de oxidação da matéria orgânica.

2.2.2 Vantagens e Limitações dos Processos

O processo biológico do tipo aeróbio difere do tratamento anaeróbio que utiliza bactérias que não necessitam de oxigênio para sua respiração, nesse os micro-organismos degradam as substâncias orgânicas, que são assimiladas como "alimento" e Fonte de energia, mediante processos oxidativos. O efluente precisa ser submetido a temperaturas específicas, estar com o pH e oxigênio dissolvido (OD) controlado, além de obedecer à relação da massa com os nutrientes de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) que variam com a biota formada em cada estação. As bactérias responsáveis por este processo de eliminação da matéria orgânica são, em sua maioria, heterótrofas aeróbias e facultativas e promovem a remoção da matéria orgânica com mais eficiência. Já os processos anaeróbios estão baseados na utilização de micro-organismos, sem a presença de oxigênio no meio, e podem produzir gases como metano, dióxido de carbono e, de forma mais específica e rara, a amônia (BERTONCINI, 2008).

Os sistemas aeróbios mais comuns no tratamento de esgotos urbanos e/ou sanitários são lagoas aeradas, filtros biológicos e os sistemas de lodos ativados que propiciam a melhor eficiência em remoção de cargas (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

Já nos sistemas de tratamento anaeróbio, existem as lagoas anaeróbias, os tanques sépticos, os filtros anaeróbios e os reatores anaeróbios. O processo anaeróbio mais freqüente encontrado nas ETE's é o reator UASB ou também conhecido como reator anaeróbio de fluxo ascendente (PROSAB, 1999).

Nos sistemas aeróbios, ocorre somente cerca de 40 a 50% de degradação biológica, com a consequente conversão em H₂O, CO₂ e sais inorgânicos. Verifica-se uma grande

incorporação dos poluentes na matéria orgânica, traduzindo-se como aumento da biomassa microbiana (cerca de 50 a 60%), que vem a se constituir no lodo excedente do sistema. O material orgânico não convertido em gás carbônico, ou em biomassa, deixa o reator como material não degradado (5 a 10%). Já nos sistemas anaeróbios, verifica-se que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em biogás (cerca de 70 a 90%), que é removido da fase líquida e deixa o reator na forma gasosa. Apenas uma pequena parcela o material orgânico é convertida em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15%), vindo a se constituir no lodo excedente do sistema. Além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se, via de regra, mais concentrado e com melhores características de desidratação. O material não convertido em biogás, ou em biomassa, deixa o reator como material não degradado (10 a 30%) (CHERNICHARO, 1997). A Figura 2 abaixo mostra a conversão biológica nos sistemas aeróbios e anaeróbios:

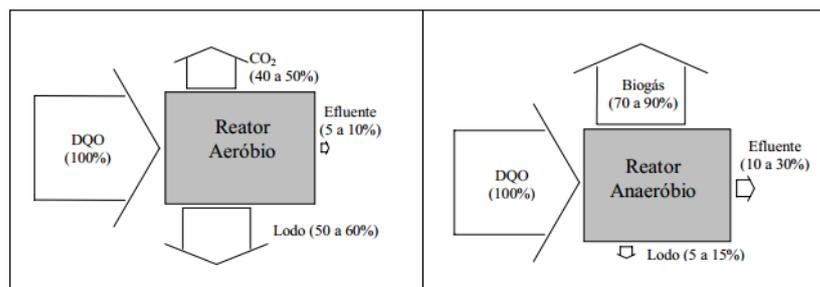


Figura 2: Conversão biológica nos sistemas aeróbios e anaeróbios. Fonte: (CHERNICHARO, 1997).

O tratamento ideal para cada tipo de efluente é indicado de acordo com a carga poluidora e presença de contaminantes. Apenas especialistas podem avaliar e realizar a coleta de amostras para análise de diversos parâmetros que representam a carga orgânica e a carga tóxica dos efluentes.

Kozak, *et. al.* (2012), comparou os sistemas aeróbios e anaeróbios de tratamento, apresentada no Quadro 3 abaixo:

Quadro 3: Comparação entre os sistemas aeróbios e anaeróbios. Fonte: Kozak, et. al. (2012)

Aeróbio	Anaeróbio
Realiza a completa conversão na matéria orgânica em água, energia, CO ₂ e material celular para o crescimento bacteriano.	Ocorre a fermentação não convertendo totalmente a matéria orgânica pela ausência de oxigênio no meio formando gases metano e CO ₂ que podem ser aproveitados como forma de energia.
As bactérias e sólidos sedimentáveis, voláteis e inertes, geram um subproduto denominado lodo. Porém nesse sistema a geração de lodo é cerca de 20% maior do que no sistema anaeróbio.	As bactérias e sólidos sedimentáveis, voláteis e inertes, geram um subproduto denominado lodo, mas em menor quantidade
Necessitam de grandes áreas de instalação; quando esta não for disponível, processos mecanizados podem ser implantados, requerendo o consumo de energia e o maior nível de operação, incluindo mão-de-obra qualificada, encarecendo o sistema.	A implantação deste é tecnicamente mais barato, pois demandam de maior facilidade de operação, menores áreas e equipamentos simplificados
Realiza maior fotossíntese, elevando o pH, ocorrendo a volatilização da amônia (NH ₃) e a precipitação parcial do fósforo.	É ineficiente na remoção de nutrientes.
Remove ao todo entre 75 e 85% da DBO	Remove DBO na ordem de 50 a 70%, sendo necessário o pós-tratamento aeróbio.

2.3 Processos Aeróbios

Os micro-organismos convertem matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular (crescimento e reprodução dos micro-organismos). Essa decomposição biológica do material orgânico requer a presença de oxigênio como componente fundamental dos processos aeróbios, além da manutenção de outras condições ambientais favoráveis, como temperatura, pH e tempo de contato. Os principais processos aeróbios existentes são: Lodos ativados, Filtros biológicos e Lagoas aeróbias (VON SPERLING, 1996).

A digestão aeróbia é um método alternativo de tratar os lodos orgânicos produzidos nas operações de tratamento. Há duas variações do processo de digestão aeróbia que são de uso comum: convencional e com oxigênio puro. A digestão aeróbia termofílica tem também sido usada (PESSOA, 2013).

A lagoa aerada facultativa é utilizada quando se deseja ter um sistema predominantemente aeróbio, e de dimensões mais reduzidas que as lagoas facultativas ou o sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas. E sua principal diferença com

relação à lagoa facultativa convencional é quanto à forma de suprimento de oxigênio. Pois enquanto na lagoa facultativa o oxigênio é proveniente da fotossíntese, na lagoa aerada facultativa ele é obtido através de aeradores (VON SPERLING, 1996). De acordo com Fontes (2013), nesse sistema utiliza-se de um aerador, e o mesmo injeta oxigênio dissolvido no meio líquido, degradando assim a matéria orgânica mais rapidamente, e ao mesmo tempo promove uma homogeneização do sistema. Porém, este turbilhonamento não é suficiente para manter os sólidos em suspensão no meio, fazendo com que estes sejam depositados no fundo da lagoa onde são decompostos anaerobicamente. A Figura 3 esquematiza o funcionamento de uma lagoa aerada facultativa.

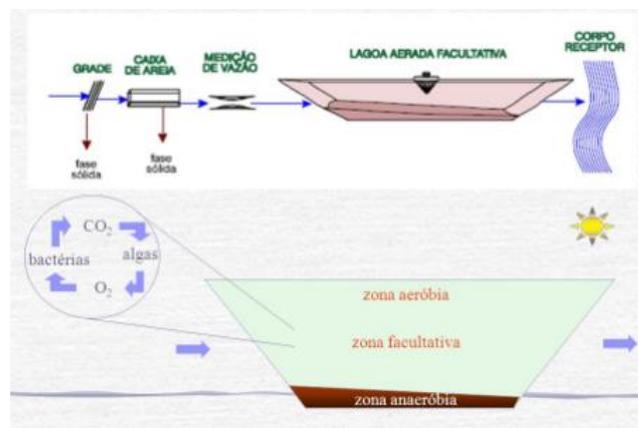


Figura 3: Lagoa aerada facultativa. Fonte: Google/imagens.

2.3.1 Lodo Ativado

Lodos Ativados é o sistema de tratamento mais utilizado a nível mundial para o tratamento de despejos domésticos e industriais, em casos de elevada quantidade de efluentes e pequenas áreas, desde que os mesmos sejam biodegradáveis. Porém esse sistema exige mais mecanização do que os demais, implicando em uma operação mais sofisticada e com maiores consumos de energia, devido principalmente ao consumo dos sistemas de aeração (VON SPERLING, 1997).

O processo biológico de lodo ativado ocorre através da interação de micro-organismos, como por exemplo, bactérias, fungos, protozoários, rotíferos e nematódeos, com o efluente a ser degradado. Todavia as bactérias maiores é que desempenham o principal papel na degradação dos poluentes orgânicos (LINS, 2010).

De acordo com Von Sperling (1997), as seguintes unidades são parte integrante da etapa biológica do sistema de lodos ativados (fluxo do líquido):

- Tanque de aeração (reator);
- Tanque de decantação (decantador secundário);
- Sistema de recirculação e descarte de lodo.

As reações bioquímicas ocorrem no interior do reator, removendo assim a matéria orgânica, e em determinadas condições a matéria nitrogenada. No decantador secundário ocorre a separação dos sólidos (biomassa), permitindo assim a clarificação do efluente final. Os sólidos sedimentáveis no fundo do decantador são recirculados para o reator, aumentando assim a eficiência do sistema devido ao aumento da concentração de biomassa (VON SPERLING,1997).

Segundo Fontes (2013) apud VON SPERLING (1997), os sistemas de lodos ativados podem ser: convencional, por aeração prolongada, e de fluxo intermitente. O Quadro 4 a seguir, compara esses 3 (três) tipos de sistemas entre si:

Quadro 4: Comparação dos sistemas de lodos ativados. Fonte: Fontes (2013) apud VON SPERLING (1997).

SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS	PARTÍCULAS SÓLIDAS (tempo em dias)	ENTRADA DE ESGOTO NO SISTEMA	STATUS DO LODO NA SAÍDA	EQUIPAMENTOS DO SISTEMA	EQUIPAMENTOS COMPLEMENTARES
CONVENCIONAL	4 a 10	Contínua	Há excesso	Grade, desarenador, Medidor de Vazão, Decantador Primário, Reator, e Decantador Secundário.	Decantador primário
AERAÇÃO PROLONGADA	20 a 30	Contínua	Estabilizado	Grade, desarenador, Medidor de Vazão, Reator, e Decantador Secundário.	Não necessita
FLUXO INTERMITENTE	varia de acordo com a vazão (definido)	Contínua	Estabilizado	Grade, desarenador, Medidor de Vazão, e Reator.	Não necessita

2.3.2 Geração de lodo

A geração de lodo é diretamente proporcional aos serviços de coleta e tratamento de esgoto. As estimativas para o Brasil no ano de 2010 era de 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano, considerando que o tratamento de esgoto atingia apenas 30% da população urbana (GODOY, 2013).

A geração de lodo pode variar de acordo com o sistema de tratamento adotado pelas ETE's (Estações de Tratamento de Esgoto). O Quadro 5 abaixo refere se a quantidade de lodo gerado em cada um dos sistemas utilizados para tratamento de lodo.

Quadro 5: geração de lodo nos sistemas de tratamento de esgoto. Fonte: Godoy (2013) apud Metcalf e Eddy (2002).

QUANTIDADE DE LODO NOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	
Tipo de Sistema	Volume de Lodo (L/hab.d)
Lagoas facultativas	0,05 – 0,15
Reator UASB	0,2 – 0,6
Lodos ativados convencional	3,1 – 8,2
Aeração prolongada	3,3 – 5,6
Lagoa Anaeróbia	0,1 – 0,3
Filtro biológico de alta carga	1,4 – 5,2
Lagoa aeróbia facultativa	0,08 – 0,22

A lagoa aerada facultativa devido ao nível de energia introduzida pelos aeradores ser suficiente apenas para a oxigenação não mantém os sólidos (bactérias e sólidos em suspensão do esgoto bruto) dispersos na massa líquida. Gerando assim uma camada de lodo no fundo, devido à sedimentação dos sólidos existentes (VON SPERLING, 1996).

De acordo com PROSAB (2001), para estimar a produção e a composição de lodo biológico em sistemas de tratamento de águas residuárias é necessário avaliar a interação que se estabelece, no sistema, entre a massa bacteriana e o material orgânico afluente. Na maioria das águas residuárias, o material orgânico presente no afluente é uma mistura de muitos compostos que podem ser classificados em duas categorias principais: material biodegradável, que engloba os compostos que podem ser utilizados pela massa bacteriana, e material não biodegradável, que é formado de compostos que não são afetados pela ação bioquímica das bactérias no período de permanência no sistema de tratamento.

No sistema de tratamento anaeróbio é relevante a decisão da melhor idade do lodo, pois quanto maior a idade do mesmo, melhor será a eficiência de remoção de matéria orgânica, e uma idade de lodo com menor tempo viabiliza um volume pequeno do reator, reduzindo assim o custo de construção do sistema de tratamento (PROSAB, 1999).

2.4 Processos Anaeróbios

A digestão anaeróbia é um processo biológico onde não há presença de oxigênio no meio. As bactérias anaeróbias degradam a matéria orgânica transformando em gás metano (60 a 70%) e gás carbônico (40 a 30%), (SILVA, 2011).

Atualmente, no Brasil, os sistemas anaeróbios encontram uma grande aplicabilidade. As diversas características favoráveis destes sistemas, como o baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de sólidos, aliadas às condições ambientais no país, onde há a predominância de elevadas temperaturas, têm contribuído para a colocação dos sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos em posição de destaque, particularmente os reatores de manta de lodo (reatores UASB) (CHERNICHARO, 1997).

Todos os compostos orgânicos biodegradáveis podem ser degradados através do sistema anaeróbio, e o processo se torna mais eficiente e econômico com relação aos dejetos que são facilmente biodegradáveis. Em relação ao tratamento de esgotos domésticos há uma enorme utilização da tecnologia anaeróbia, notadamente através de reatores UASB (CHERNICHARO, 1997).

De acordo com Foresti, *et. al.*(1999) nos sistemas de tratamento anaeróbio há uma tendência de acelerar a digestão para criar condições mais favoráveis ao projeto do sistema de tratamento e as condições operacionais nele existentes. Em relação ao projeto de sistemas de tratamento têm-se duas prerrogativas básicas:

a) o sistema de tratamento deve manter grande massa de bactérias ativas que atue no processo da digestão anaeróbia.

b) é necessário que haja contato intenso entre o material orgânico presente no afluente e a massa bacteriana no sistema.

Para as condições operacionais, os fatores que mais influem são: a temperatura, o pH, a presença de elementos nutrientes e a ausência de materiais tóxicos no afluente.

2.4.1 Processo UASB

Os reatores UASB tiveram origem na Holanda, na década de setenta, e na tradução para o Português, os mesmos deveriam ser denominados Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (CHERNICHARO, 1997).

De acordo com Silva (2011), os reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) apresentam características hidrodinâmicas favoráveis à formação de grânulos, possibilitando elevado tempo de retenção celular e acomodando altas cargas orgânicas volumétricas, com tempo de retenção curto, da ordem de grandeza de horas, dependendo das condições operacionais e das características do afluente.

De acordo com Chernicharo (1997), os processos anaeróbios através de reatores de manta de lodo apresentam inúmeras vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, e com relevância na aplicação de locais de clima quente, como é o caso da maioria dos municípios brasileiros. Nessas situações, pode-se esperar um sistema com as seguintes características principais:

- Sistema compacto, com baixa demanda de área;
- Baixo custo de implantação e de operação; baixa produção de lodo; e baixo consumo de energia (apenas para a elevatória de chegada, quando for o caso);
- Satisfatória eficiência de remoção de DBO/DQO, da ordem de 65 - 75%;
- Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longa paralisações;
- Elevada concentração do lodo excedente; e boa desidratabilidade do lodo

Apesar desse sistema possuir amplas vantagens, as desvantagens são:

- Possibilidade de emanção de maus odores;
- Baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas;
- Elevados intervalo de tempo necessário para a partida do sistema;
- Necessidade de uma etapa pós-tratamento.

2.5 Lodo Biológico

De acordo com a norma técnica P4. 230CETESB (1999), lodo biológico são os lodos originários do processo de sedimentação no decantador secundário de um sistema de tratamento biológico ou de lagoas de tratamento ou resultantes de processo de digestão,

admitindo-se, neste caso, que o lodo do decantador primário venha a ser misturado com o lodo do decantador secundário, previamente à sua digestão.

2.5.1 Caracterização

Ainda segundo a citada norma técnica P4. 230 CETESB (1999), a caracterização deverá ser baseada nos resultados de, no mínimo, três amostras compostas, coletadas em datas diferentes, de modo a representar as características de variabilidade do lodo. O procedimento de amostragem deverá obedecer ao especificado na norma ABNT, NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos.

2.5.2 Aspectos Qualitativos

Os aspectos qualitativos do lodo podem ser analisados através do levantamento da microbiota existente. A microbiota de um lodo varia de acordo com a concentração de oxigênio dissolvido e a presença de substâncias tóxicas (CORDI, *et al.*, 2008).

De acordo com Cordi *et al.*,(2008), a análise qualitativa dos protozoários pode ser feita através de microscópio óptico e os organismos podem ser agrupados em: Filo *Protozoa*, sendo as classes *sarcodina*, *siliata*, *mastigophora*, e *micrometazoários* sendo eles *rotífera*, *nematóides*, *anélidas*, podendo ser observados com aumento de 100 a 1000 vezes. O Quadro 6 apresenta as relações existentes entre os micro-organismos presentes e as de desempenho no lodo ativado:

Quadro 6: Micro-organismos indicadores de depuração. Fonte: (CORDI, et. al., 2008) apud CETESB, 1989.

MICROORGANISMOS	CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO
Predominância de Flagelados e rizópodes	Início de operação; Baixa idade do lodo.
Predominância de Flagelados	Deficiência de aeração, Má depuração, Sobrecarga orgânica
Predominância de ciliados pedunculados e livres	Boas condições de depuração
Predominância de <i>Arsella</i> (rizópodes com teca)	Boa depuração
Predominância de <i>Aspidiscacostata</i>	Nitrificação
Predominância de <i>Trachelophyllum</i> sp. (ciliado livre)	Alta idade do lodo
Predominância de <i>Vorticella micróstoma</i>	Efluente de má qualidade
Predominância de anélídeos do gênero <i>Aelosoma</i>	Excesso de oxigênio dissolvido
Predominância de filamentos	Intumescimento do lodo "Bulking" filamentoso

2.5.3 Aspectos Quantitativos

De acordo com a norma técnica P4. 230 CETESB (1999), as metodologias a serem adotadas para as análises do lodo estão indicadas nos itens listados abaixo:

Para se realizar a caracterização química e microbiológica do lodo, a norma cita que é necessário realizar a determinação dos parâmetros elencados no Quadro 7.

Quadro 7: Parâmetros a serem adotados para caracterização química. Fonte: CETESB.

PARÂMETROS	
Carbono Orgânico	Arsênio
Fósforo	Cádmio
Nitrogênio Amoniacal	Chumbo
Nitrogênio Nitrato/ Nitrito	Cobre
Nitrogênio total ou Nitrogênio Kjeldahl	Cromo total
Ph	Mercúrio
Potássio	Molibdênio
Sódio	Níquel
Umidade	Selênio
Números Mais Prováveis (NMP) <i>Salmonella</i> sp.	Sólidos voláteis
Números Mais Prováveis (NMP) de coliformes fecais	Zinco

Há ainda critérios específicos para caracterização, de acordo com a origem do lodo, como a dos lodos oriundos de estações de tratamento de despejos líquidos sanitários, para o qual deverá ser realizada a quantificação da mineralização do nitrogênio do lodo para que se possa quantificar o nitrogênio disponível. Demais critérios, como para a caracterização de lodos de origem industrial também são detalhadas na citada norma e manual da CETESB.

2.6 Tratamento de Lodo

O tratamento do lodo faz parte do processo de lodos ativados. Nesse caso, o projeto da estação de tratamento de efluente deve incluir as etapas relacionadas como tratamento e disposição final do lodo gerado no tratamento (VON SPERLING, 1997).

Segundo com PROSAB (2001), na estabilização biológica, são utilizados os mecanismos naturais de biodegradação que transformam a parte mais putrescível do lodo. Os principais processos biológicos são:

- ✓ Digestão anaeróbia

- ✓ Digestão aeróbia
- ✓ Digestão aeróbia autotérmica
- ✓ Compostagem.

De acordo com Von Sperling (1997), os fluxogramas dos sistemas de tratamento do lodo possibilitam diversas combinações de operações unitárias, compondo distintas seqüências. As principais etapas do tratamento, com os respectivos objetivos, são:

- Adensamento: remoção da umidade (redução de volume);
- Estabilização: remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis);
- Condicionamento: preparação para a desidratação (principalmente mecânica)
- Desidratação: remoção de umidade (redução de volume)
- Disposição final dos subprodutos.

Segundo Fontes (2003), o lodo de esgotos possui em sua composição água e sólidos. Na determinação quantitativa dos sólidos, os mesmos são divididos fisicamente em sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos. Com relação à constituição química, os sólidos dividem-se em sólidos fixos ou inorgânicos e sólidos voláteis ou orgânicos, conforme Figura4:

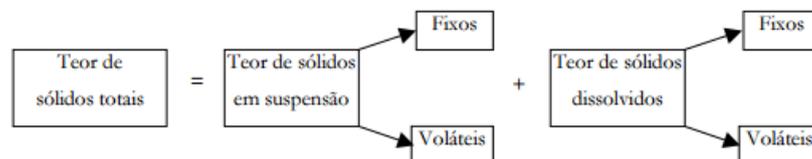


Figura 4: Distribuição dos sólidos no lodo. Fonte: Fontes, 2003.

2.6.1 Pirólise

A pirólise é um sistema de tratamento anaeróbio que utiliza a combustão da matéria orgânica sem a presença de oxigênio. Através desse processo a matéria orgânica pode ser processada e utilizada para produção de outros produtos na indústria(CIESLIK *et.al.*, 2015).

De acordo com Aires (2003), o processo consiste na trituração de resíduos provenientes do lixo doméstico, do processamento de plásticos e industriais, que deverão ser previamente selecionados, sendo então destinados ao reator pirolítico onde através de uma reação endotérmica ocorrerão as separações dos subprodutos em cada etapa do processo.

2.6.2 Secagem

O lodo é constituído em grande parte por água, a melhor forma de reduzir seu volume é a desidratação. E devido ao custo com o tratamento e a destinação final desse resíduo, começa a se tornar comum a adoção de tecnologias capazes de reduzir a quantidade de água do lodo, como o desaguamento mecânico (adensador, filtro-prensa, centrífuga decantador), a secagem térmica e os tubos de geotêxteis (MOGAMI, 2013).

De acordo com Mogami (2013), o secador térmico, apesar do elevado custo de aquisição, tem a vantagem da possibilidade de alimentação pelo próprio biogás do processo ou integração com cogeração. Devido ao alto grau de eficiência (obtenção de umidade residual de 10% a 15%), a secagem resolve problemas como à limitação de locais de disposição final e os altos custos de descarte. O equipamento é capaz de secar o lodo até uma umidade de 10%, a uma temperatura de no máximo 30°C. São necessários somente 330 W para evaporar 1 litro de água separada. A torta prensada recebe ar seco reciclado e quente. O ar saturado que sai do topo é conduzido de volta ao gerador de ar seco, removendo a umidade, e volta a ser aquecido antes de ser re-injetado no lodo. O ciclo fechado elimina as emissões e as cargas de particulados para o ambiente.

Segundo Cieslik *et.al.*, (2015), a secagem é uma operação relativamente simples tecnológico de entrega energia ao sistema para evaporar a água, resultando na sua densificação. Este processo pode ser aplicado antes de posterior tratamento térmico; incineração convencional; co-incineração com carvão ou outros combustíveis; vitrificação; ou pirólise; ou pode ser o passo final, o produto do qual pode ser ainda mais manuseados na agricultura como nos métodos descritos anteriormente para estabilização do lodo.

No Quadro 8 estão listadas algumas vantagens e desvantagens dos leitos de secagem.

Quadro 8: Vantagens e desvantagens de leito de secagem. Fonte: Fontes, 2003.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixo valor de investimento	Elevada área requerida
Torta com alto teor de sólidos	Necessidade de elevada mão de obra para retirada da torta seca
Simplicidade operacional	Elevado risco de liberação de odores desagradáveis e proliferação de moscas

2.6.3 Deságue em Geomembranas

As geomembranas são materiais concebidos a partir de materiais poliméricos, que possui função de barreiras para controle e desvio de fluxo através da sua baixíssima permeabilidade (GEROTO, 2008).

Pelo instrumento da ABNT NBR 12553, substituída pela NBR ISO 10318:2013, a geomembrana é um produto, bidimensional, de baixíssima permeabilidade, composta predominantemente por asfalto, elastômeros ou plastômeros, utilizados de fluxo e separação, nas condições de solicitação. Estas podem ser lisas, texturizadas ou reforçadas.

O crescente uso de geossintéticos está difundido em diferentes projetos de engenharia em todo o mundo. Cabe ao projetista especificar corretamente para desempenhar adequadamente suas funções, como qualquer outro material de construção (PAULA, 2012).

Além de serem utilizados para deságüe de materiais com alto teor de água, os tubos de geotêxteis são também eficientes para a separação e remoção de água de resíduos altamente contaminados (PAULA, 2012).

Os tipos de geomembranas utilizadas para desvio de fluxo são as de PEAD (polietileno de alta densidade), PELMD (polietileno linear de média densidade, CSPE (polietileno clorossulfonado) e PVC (polietileno de vinila) (GEROTO, 2008).

Dentre as vantagens da utilização das geomembranas em obras de engenharia, destaca-se: o controle de qualidade de um produto manufaturado, a facilidade de instalação, a flexibilidade e a reduzida permeabilidade (GEROTO, 2008).

O Quadro 9, apresenta um comparativo com as vantagens e desvantagens das principais geomembranas fabricadas:

Quadro 9: Comparativo das principais geomembranas fabricadas. Fonte: GEROTO, 2008.

GEOMEMBRANA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Policloreto de vinila (PVC)	Boa trabalhabilidade; Altas características de resistência; Facilidade para execução de emendas.	Baixa resistência aos raios UV; Ozônio; Sulfídeos e elementos de Intempéries; Fraco desempenho em altas e baixas temperaturas.
Polietileno de média e alta densidade (PELMD e PEAD)	Boa resistência a diversos agentes químicos; Boas características de resistência e soldas; Bom desempenho em baixas temperaturas.	Suscetível ao fenômeno de " Stress cracking"; Baixa resistência ao puncionamento.
Polietileno clorado (PEC)	Boa resistência aos raios UV e agentes de intempéries; Bom desempenho em baixas temperaturas; Boas características de resistência.	Baixa resistência para químicos, ácidos e óleos.
Polietileno clorosulfonado (CSPE)	Boa resistência aos raios UV e agentes de intempéries; Boa resistência para químicos, ácidos e óleos; Boa resistência a bactérias.	Baixas características de resistências; Problemas durante as emendas.

O uso de tecidos para fazer pequenos sacos de areia tem sido praticado por centenas de anos (KOERNER, 2005).

Ao invés de fazer as malhas com fibras naturais que se degradam, o uso de polímeros permitiu uma melhoria substancial desempenho de tais instalações. As geomembranas podem ser usadas para o trabalho de controle de erosão, já que são fabricadas com um tecido de alta resistência e costuradas formando um grande saco, tornando-se assim uma solução eficaz (KOERNER, 2005).

Os Tubos de geotêxtil são geralmente referenciados por sua circunferência, uma vez que são em forma elíptica, quando cheio, em vez de circular. Os tubos de geotêxtil já são montados na fábrica, costuradas e podem ser utilizados na dragagem de portos e rios/canais com sucesso (KOERNER, 2005).

A tecnologia de desaguamento e tratamento dos lodos em tubos geotêxteis está conquistando as indústrias e companhias de saneamento pela economia e simplicidade de operação. O resultado é um teor de sólidos de 25% a 35% e redução do volume total de até 90% (MOGAMI, 2013).

A Figura5 mostra a instalação dos tubos de geotêxteis.



Figura 5: Instalação de tubos de geotêxteis. Fonte: www.allonda.com.

No deságüe por geomembrana ocorre dois processos: a retenção de sólidos e a expulsão de água. É importante realizar o controle desses pois se um deles estiverem desequilibrados pode afetar na eficiência do tratamento. Este equilíbrio é afetado por vários parâmetros, sendo os principais fatores: gradação de sólidos nas lamas, teor de água de lamas, o tamanho da abertura geotêxtil, e a permeabilidade do geotêxtil. A permeabilidade do geotêxtil não permanece constante ao longo do processo. Ela diminui com o tempo. A diminuição da permeabilidade de um geotêxtil é o resultado de entupimento dos poros (GÓIS, 2015).

De acordo com Paula (2012), há um ensaio que possui o objetivo de simular a eficiência no processo de filtração e desaguamento, onde são realizados ensaios de bolsa suspensa. Este ensaio é conhecido também como teste de saco pendurado ou hanging bag test. O ensaio é muito simples e consiste em medir em um determinado intervalo de tempo, o volume de efluente que passa através do tubo geotêxtil. Com essa quantidade de efluente que atravessa o tubo, é possível estimar a quantidade total de sólidos suspensos e a razão de fluxo desse material.

2.7 Destinação Final do Resíduo de Lodo de ETE

De acordo com a ABNT 10004:2004 o lodo de ETE é considerado um resíduo classe IIA (não inerte), ou seja, que possui propriedade biodegradável e se solubiliza em água.

Segundo Padilha (2007), entre as alternativas de que se dispõem atualmente para a disposição final deste resíduo, a reciclagem na agricultura vem se destacando como melhor

opção, tanto pela adequação sanitária e ambiental quanto pela viabilidade econômica, desde que o resíduo atenda padrões mínimos de qualidade e cumpra o que exige a Resolução CONAMA nº 375/06.

Utilizar lodo de esgoto em solo não é uma novidade na questão de tratamento de resíduos não perigosos. Essa prática surgiu para tratamento de esgoto e despertou o interesse de agricultores para aplicação na agricultura. Com os problemas de escassez de água e através de pesquisas mais seguras de aplicação desse resíduo, já pode ser ampliado a sua aplicação, o que resolve um problema ambiental e diminui os insumos utilizados na agricultura (PADILHA, 2007).

2.8 Utilização de Resíduo de Lodo de ETE na Agricultura

De acordo com EMBRAPA (2006), a prática de utilização de esgotos em solos agrícolas é muito antiga, com informações de que estas atividades eram utilizadas no antigo império chinês, na Prússia (século XVI) e na Inglaterra (século XIX), onde projetos específicos de destinação de esgotos e lodos foram utilizados aos solos, em especial para conter epidemias de cólera que assolaram a Europa neste período da história.

A adoção de tecnologia do uso do resíduo do lodo de ETE na agricultura no Brasil não é uma prática efetiva devido ao baixo índice populacional atendido por saneamento básico adequado (PADILHA, 2007).

De acordo com Padilha (2007), Entre as alternativas de que se dispõem atualmente para a disposição final deste resíduo, a reciclagem na agricultura vem se destacando como melhor opção, tanto pela adequação sanitária e ambiental quanto pela viabilidade econômica, desde que o resíduo atenda padrões mínimos de qualidade.

Segundo dados da EMBRAPA (2006), a utilização de lodos de esgotos em solos agrícolas tem como principais benefícios a incorporação de macronutrientes, como N e P, e micronutrientes, como Zn, Cu, Fe, Mn e Mo, necessitando de complementação mineral para potássio, porém merecendo sempre monitoramento das características químicas do lodo antes de sua incorporação ao solo, devido à heterogeneidade de nutrientes que estes resíduos podem apresentar.

O CONAMA, através da Resolução 375/06, estabelece, em território nacional, critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto gerado em estação

de tratamento de esgoto sanitário. E determina o licenciamento ambiental das Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL). Como também, a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas deve obrigatoriamente estar condicionada à elaboração de um projeto agrônomico, com definição de responsabilidade técnica e monitoramento contínuo do local onde o resíduo foi incorporado ao solo (PADILHA, 2007).

2.9 Estatística Descritiva

As situações que conduzem à comparação de valores médios precisam considerar sempre dois aspectos essenciais para a escolha do teste adequado: A caracterização da resposta a ser medida (variável alvo) quanto a sua natureza (qualitativa ou quantitativa), a sua distribuição (normal ou não), a sua continuidade (contínua ou discreta) e a sua instabilidade (muito ou pouco instável). E o outro aspecto a ser considerado é que, após a utilização de um teste de comparação de médias, existem dois tipos de erro reconhecidos pela teoria estatística: o erro tipo I (atribuir uma significância quando ela realmente não existir) e o erro tipo II (atribuir uma equivalência quando realmente houver uma diferença significativa) (OLIVEIRA, 2008).

2.9.1 Teste de normalidade

Segundo Cantelmo; Ferreira (2007), a necessidade de testar a hipótese de normalidade multivariada fica evidenciada quando o pesquisador pretende avaliar se as condições pressupostas para a validade da conclusão que irá realizar foram atendidas. Há evidências de questionamentos de um teste adequado e com propriedades ótimas. Um destes testes de normalidade é baseado nos desvios de assimetria e curtose. Alguns problemas podem ser destacados desta abordagem. A princípio, a não rejeição da hipótese de distribuição simétrica e mesocúrtica não garante que a distribuição seja realmente normal. Existem contra-exemplos de distribuições não-normais simétricas e mesocúrticas. A segunda dificuldade é a propriedade assintótica das estatísticas dos testes. As distribuições destas estatísticas são apenas assintoticamente válidas, o que dificulta a aplicação dos testes em conjuntos de dados de tamanhos relativamente pequenos.

O modelo de Shapiro-Wilk foi proposto por Royston (1983) generalizando o teste univariado de Shapiro-Wilk para o caso multivariado. Esse modelo considera a distribuição matemática de hipótese nula, mas as propriedades desse teste para o caso multivariado não

foram avaliadas por simulação, principalmente para dimensões dos vetores das variáveis aleatórias maiores do que três (CANTELMO e FERREIRA, 2007).

De acordo com Cantelmo e Ferreira (2007), o procedimento de Royston (1983) prevê a estimação da estatística W de Shapiro-Wilk para cada uma das variáveis, sendo a estatística final do teste baseada na soma dos seus valores.

2.9.2 Teste de Mann-Whitney

O teste de Mann-Whitney é o teste não paramétrico utilizado para compara as funções de distribuição de uma variável medidas em duas amostras independentes. Como também pode ser usado como alternativa ao teste t-Student para amostras independentes. Quando as distribuições são normais a eficiência de semelhanças entre o Mann-Whitney e o testes t-student é de 95,5% (MARÔCO, 2011).

2.9.3 Analise de componentes principais (ACP)

A facilidade e a rapidez nos tratamentos de dados foram resultados do avanço computacional. Tratando assim, grandes quantidades de dados transformando os em resultados mais precisos e confiáveis. Muitas limitações no tratamento dos dados foram vencidas com o desenvolvimento de softwares e isso possibilitou o uso da análise multivariada de dados nos mais diversos campos de conhecimento (HAIR JR *et. al.*, 2005).

A análise de componentes principais é baseada em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto semelhante de mesma dimensão, mas com redução de massa de dados e com a menor perda possível de informação (VALADARES *et. al.*, 2008).Essa técnica é bastante utilizada, e permite analisar uma grande quantidade de dados sem perda significativa de informações. Este método consiste em transformar um conjunto de variáveis em um conjunto de componentes principais (SOUZA, 2010).

Os pesos ou loadings correspondem aos autovetores da matriz de covariância ou correlação dependendo do caso. Já os escores são obtidos para analisar os indivíduos do estudo em questão, agrupando os dados e realizando uma comparação entre eles. (FRANÇA, 2009).

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo consiste na descrição de quatro etapas de realização deste trabalho, sendo elas: Local de realização de coletas das amostras e cuidados empregados na coleta das amostras; Metodologia utilizada no ensaio de deságue do lodo; Metodologias e equipamentos adotados na determinação dos parâmetros estudados do percolado e do lodo retido no bag e Análise estatística dos dados.

Foram aplicados testes estatísticos para os dois tipos de tratamento, com o uso e sem o uso do coagulante. Com o objetivo de avaliar se os testes estatísticos seriam apropriados para avaliação dos tratamentos aplicou se o teste de normalidade, adotando se o Modelo de Shapiro-Wilk, considerando uma quantidade de amostras menores que 30. O software utilizado foi o ASSISTAT.

Para avaliação da eficiência dos tratamentos adotados foi utilizado o teste “t” de Student a fim de verificar diferenças significativas entre as variáveis estudadas. Para as variáveis de distribuição não normal, foi aplicado não paramétrico, teste u de Mann-Whitney, que faz a comparação entre as medianas, diferentemente do teste t que compara as médias.

3.1 Sistema de Estação de Tratamento de Esgoto ETE Mangueira

A Região Metropolitana do Recife possui divisões de várias estações de tratamento em operação. Há entre estas, três de grande porte, que são a ETE-Cabanga, a ETE-Peixinhos e a ETE-Janga, e um conjunto de outras 18 pequenas estações de tratamento operando e com capacidade total de 302 litros por segundo. Dentre estes se destacam a ETE-Mangueira, que utiliza o processo de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e tem a capacidade para tratar 32 litros por segundo (COMPESA, 2015).

A ETE Mangueira foi projetada para atender a população dos bairros da Mangueira, San Martim e adjacências, somando aproximadamente 18.000 habitantes. O sistema de tratamento é composto por uma estação elevatória, uma calha Parshall, uma grade de barras, duas caixas de areia, um reator tipo UASB, uma lagoa de polimento e oito leitos de secagem.

Essa estação conta com um sistema anaeróbio de tratamento de esgoto através de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), seguido da Lagoa de Polimento, unidade utilizada para reforçar o tratamento, conforme fluxograma da Figura 6abaixo:

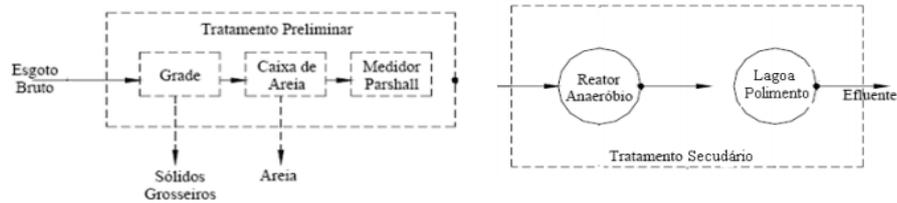


Figura 6: Instalação de tubos de geotêxteis. Fonte: www.allonda.com.

3.1.1 Características gerais da ETE Mangueira

As características gerais da ETE Mangueira são:

- Nível de Tratamento: Secundário
- Tipo de Tratamento: UASB e Lagoa de polimento
- Etapas do Tratamento:

→ CAIXA DE AREIA → REATORES ANAERÓBIOS → LAGOA DE POLIMENTO →
LEITOS DE SECAGEM

- Vazão (m³/dia): 2.688
- População: 15.490
- Bairros/ Áreas de Atendimento: Mangueira e San Martin
- Status: Em Operação

3.2 Mapa de Localização

A ETE Mangueira (Figura 7) está localizada no bairro da Mangueira, zona oeste da cidade do Recife-PE, situadas nas coordenadas 8°05'56,59"S / 34°55'33,14"O.



Figura 7: Mapa de Localização ETE Mangueira. Fonte: Google Earth.

3.3 Descrição do local da coleta

Os lodos provenientes dos tratamentos de esgoto doméstico foram coletados na ETE Mangueira na válvula de deságue de lodo do reator anaeróbio.

Foram realizadas 10 coletas de 30 litros de lodo, no período de março de 2013 a Julho de 2013, com a abertura da válvula de descarga do lodo, situada na base do reator anaeróbio, conforme Figura 8 (a) e (b) e Quadro 10.



Figura 8: ETE Mangueira, Reator UASB e Lagoa de Polimento(a) Leito de Secagem(b). Fonte: GPTA.

Quadro 10: Coletas realizadas mensais.

NÚMERO DE COLETAS	MÊS
2	Março
2	Abril
2	Maio
2	Junho
2	Julho

As coletas foram realizadas nos dias: 18 e 27 de março, 3 e 17 de abril, 01 e 13 de maio, 3 e 17 de junho, 1 e 15 de julho, e as amostras armazenadas em recipientes de polietileno, devidamente identificadas no Quadro 11 a seguir, e transportadas no mesmo dia ao Laboratório do Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais (GPTA – DEQ/ UFPE).

Quadro 11: Identificação das amostras.

NÚMERO DA COLETA	NOMECLATURA	SIGLA
1	Lodo Bruto	LB

3.4 Ensaio de deságue do lodo

Para atendimento do objetivo da pesquisa, que é avaliar o lodo após tratamento e a massa sólida para comparação com a legislação para uso na agricultura, se fez necessário diminuir o teor de água do mesmo. Em laboratório foi montado um sistema de deságue com dispositivos tubulares de geotêxtil (bag) (Figura 9), fabricado em tecido de prolipropileno de alta resistência com a função de reter as partículas sólidas, e por recomendação do fornecedor (Allonda), foi realizado com uma amostra de lodo, o ensaio de bancada Jar-Test, para determinação da dosagem ótima do polímero, uma vez que, um bag foi alimentado com lodo bruto e outro com lodo + polímero. O coagulante utilizado foi o polímerocatiônico de poliácridamida, na forma de cristais granulados com aparência de pó branco.



Figura 9: Montagem experimental para realização do ensaio de deságue de lodo. Fonte: GPTA.

Realizou-se uma homogeneização no recipiente transportado da ETE para o laboratório (Figura 10), utilizando 6 (seis) béqueres para determinação do ensaio de Jar-Test. Utilizou-se uma dosagem de polímero diferente para cada béquer, com o intuito de se verificar a melhor dosagem. Iniciava-se a rotação no aparelho de bancada com uma rotação inicial rápida, e logo após uma rotação de mistura lenta, após o período de rotação se esperava um tempo determinado para sedimentação, e retirava-se a amostra do sobrenadante determinando o pH. A dosagem ótima encontrada foi de 11 mg/L.



Figura 10: Lodo Bruto. Fonte: GPTA.

3.5 Características do Bag

Foi adotado para estudo, o ensaio com o bag de geotêxtil (a geomembrana) (Figura 11), com o objetivo de retenção de partículas sólidas, e realizar a drenagem do líquido.

O Bag utilizado de geotêxtil é fabricado em tecido de polipropileno de alta resistência. E foi cedido pela empresa ALLONDA (Figura 11), representante no Brasil da TenCate. O modelo utilizado foi o TenCateGeotube GT 500, com diâmetro médio dos poros de 80μ (ASTM D6767). E possui dimensões de 53 x 51cm. A ficha técnica encontra se apresentada no Anexo I desse trabalho.



Figura 11: Modelo de Bag Allonda. Fonte: GPTA.

3.6 Procedimento Experimental

A estrutura para o ensaio de uso do lodo foi montada em uma bancada (Figuras 12) que consiste em um recipiente plástico suspenso ao teto da laje, com conexão a um tubo de PVC de 60mm de diâmetro e 1,2m de comprimento. Essa tubulação é conectada a uma manta

de geotêxtil (bag), e esta é mantida em um recipiente retangular que possui um registro de PVC e uma mangueira localizados no fundo do recipiente para coleta do drenado. Foram utilizados 2 (dois) bags para esse ensaio. O primeiro bag foi alimentado com lodo onde em um deles foi adicionado o lodo com polímero e o outro lodo sem polímero.



Figura 12: Montagem dos Bags e Ponto de coleta do drenado. Fonte: GPTA.

Os drenados obtidos de cada coleta eram identificados com a nomenclatura abaixo no Quadro 12, e armazenados para determinação de parâmetros.

Quadro 12: Identificação das amostras.

NÚMERO DA COLETA	NOMENCLATURA	SIGLA
1	Drenado de Lodo sem polímero	DLODOETEMSC
	Drenado de Lodo com polímero	DLODOETEMCC

3.7 Abertura dos Bags e retirada da massa sólida

Após o período de coleta, que encerrou com os bags cheios, os mesmos foram abertos e a massa sólida retirada. O Quadro 13 mostra os pontos de coletas da massa sólida.

Quadro 13: Ponto de coletas das amostras no Bag.

NUMERAÇÃO	LOCAL DE RETIRADA DA AMOSTRA
1	Fundo do bag – esquerda superficial
2	Esquerda meio
3	Esquerda fundo
4	Fundo do bag – direita superficial
5	Direita – meio
6	Direita – fundo
7	Centro – superficial
8	Centro – fundo
9	Superior – superficial
10	Superior – fundo
11	Inferior – Superficial
12	Mistura de todo o lodo do Bag

Após as coletas dos 12 (doze) pontos amostrais, realizou se uma mistura de toda a massa sólida desses dozes pontos amostrais, obtendo se assim 3 (três) amostras de 200g para cada tipo de tratamento, ou seja, sem coagulante e com coagulante para posterior análises de metais, sólidos totais e sólidos totais voláteis, carbono orgânico e nitrogênio.

3.8 Análises dos parâmetros físico-químicos

As análises dos parâmetros físico-químicos do lodo bruto, lodo e drenados foram realizadas nos seguintes laboratórios:

- Laboratório do Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais – GPTA/DEQ/ UFPE;
- Laboratório do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/ UFPE;
- Laboratório do Centro de Apoio à Pesquisa – CENAPESQ/ UFRPE;
- Laboratório de Fertilidade do Solo – UFRPE.

As análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - SMEWW (APHA, 2005). Os procedimentos utilizados no experimento seguem abaixo no Quadro 14.

Quadro 14: Parâmetros analisados e métodos de análises do SMEWW.

PARÂMETRO	MÉTODO
Potencial Hidrogeniônico – Ph	SMEWW 4500B – Potenciômetro
Condutividade (mS/cm)	Condutância elétrica SMEWW2510 B – Condutivímetro
ST	SMEWW 2540B – Gravimetria
SV e SF	SMEWW 2540E – Gravimetria
Metais	Espectrometria de absorção atômica

3.9 Dados Estatísticos

Foram aplicados testes estatísticos, conforme Quadro 15.

Quadro 15: Testes estatísticos aplicados nos dados obtidos.

PARÂMETRO	PROGRAMA UTILIZADO
Cálculo de Eficiência	EXCEL
Teste "t"	STATÍSTICA
Estatística Descritiva	STATÍSTICA
Teste de Normalidade	STATÍSTICA
Teste de Mann-Whitney	STATÍSTICA
Análise de Componentes Principais (ACP)	STATÍSTICA

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados do monitoramento do lodo bruto, e das coletas do lodo drenado sem uso do coagulante e lodo drenado com o uso do coagulante, como também os dados da massa sólida retida nos bags.

4.1 Teste de normalidade

Os resultados do teste de normalidade encontram se no Quadro 16 abaixo:

Quadro 16: Resultados estatísticos do teste de normalidade das amostras.

DADOS	DLETEMSC			DLETEMCC		
	Valor	p-valor	Normalidade	Valor	p-valor	Normalidade
Ph	0,89166	0,0256	Não	0,83231	0,03567	Não
Condutividade (CE)	0,89166	0,17704	Sim	0,89871	0,21205	Sim
Sólidos Totais (ST)	0,92729	0,42176	Sim	0,89102	0,17411	Sim
Sólidos Totais Voláteis (STV)	0,92486	0,39929	Sim	0,83005	0,03350	Não
Sólidos Totais Fixos (SF)	0,92459	0,39686	Sim	0,96640	0,855564	Sim
Ferro (Fe)	0,50062	0,00000	Não	0,89184	0,17784	Sim
Cobre (Cu)	0,52405	0,00001	Não	0,80781	0,01804	Não
Chumbo (Pb)	0,8414	0,04586	Não	0,92647	0,41405	Sim
Manganês (Mn)	0,89576	0,19668	Sim	0,95607	0,74032	Sim
Zinco (Zn)	0,50285	0,00000	Não	0,87138	0,10375	Sim
Alumínio (Al)	0,57776	0,00003	Não	0,75580	0,00420	Não

Os resultados do teste de normalidade para as amostras do drenado com coagulante e do drenado sem coagulante, indicam os testes estatísticos apropriados para avaliação dos tratamentos. Para as variáveis condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF), e Manganês (Mn) o Teste “t” de Student apresentaram resultados afirmativos para o teste de normalidade em ambos os tratamentos. Já para as variáveis pH, Sólidos Totais Voláteis (STV), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Alumínio (Al) não apresentaram resultados afirmativos para o teste de normalidade em um dos tratamentos, indicando assim uma melhor aplicação do Teste “u” Mann Whitney para todos os dados avaliados. Com os resultados do teste de normalidade foi possível verificar para quais variáveis os testes estatísticos foram mais adequados, desta forma, para as variáveis que apresentaram uma distribuição normal, os testes paramétricos são indicados enquanto para as variáveis identificadas com distribuição não normal, indica se os testes não paramétricos.

4.2 Avaliação do Drenado

4.2.1 pH

A determinação do pH de lodo de ETE é de grande importância para o monitoramento ambiental das Fontes naturais (rios, lagos, e outros).

A Tabela 1 a seguir apresenta os resultados do pH para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante.

Tabela 1: Resultados do pH das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM	DLETEMSC	DLETEMCC
1	6,83	7,07	6,42
2	6,92	7,05	7,34
3	7,01	7,42	7,4
4	6,96	8,37	7,35
5	7,05	8,31	7,05
6	7,86	7,73	7,32
7	8,57	7,35	7,44
8	8,76	7,35	7,53
9	7,98	7,09	7,77
10	8,34	5,01	6,15

A Figura 13 mostra os resultados de pH nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero. Observa-se que na 3ª alimentação o pH tende a passar da fase levemente neutra para fase alcalina para os dois tratamentos, e na 10ª alimentação em ambos os tratamentos o pH tende a voltar para fase levemente neutra.

Santos (2006), relata que o aumento da alcalinidade se deve também a alteração do pH para uma fase alcalina.

De acordo com GÓIS (2015), esse declínio do pH pode ser resultante da fase ácida digestão anaeróbia.

Com relação ao lodo bruto, a partir da 6ª alimentação houve alteração de fase ácida para alcalina, porém sem retorno para fase levemente neutra.

Santos (2006), observou o pico máximo de pH através de análises estatísticas do lodo bruto em possível decorrência de dosagem da cal feita por operadores em estações de tratamento de efluentes para minimização de odores no reator anaeróbio (UASB).

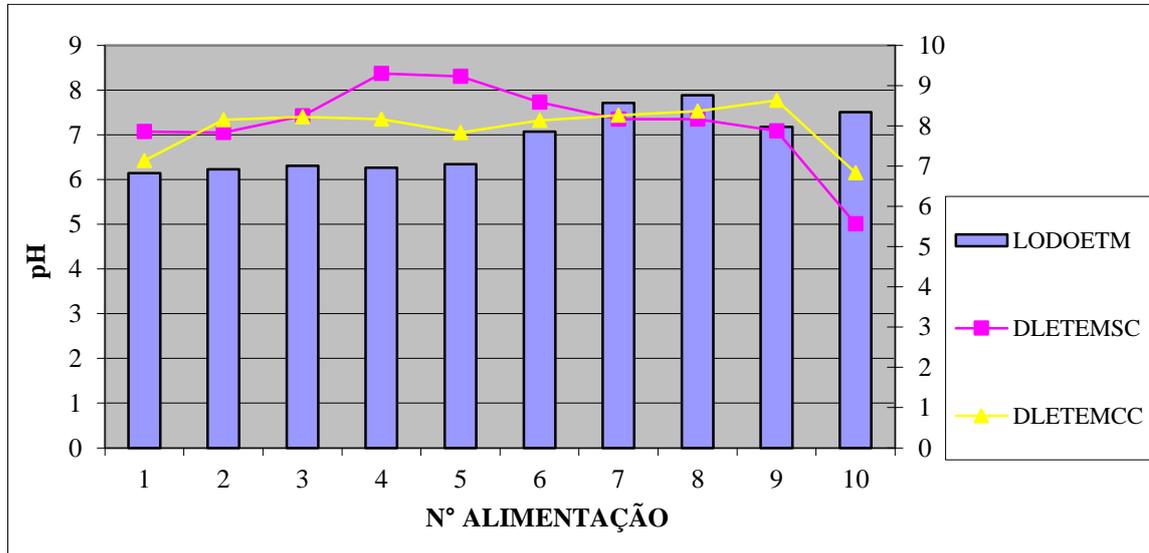


Figura 13: Resultados do pH nas 10 (dez) alimentações.

4.2.2 Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) está relacionada à presença de íons dissolvidos no resíduo de lodo de ETE, e as soluções que apresentam compostos inorgânicos tendem a conduzir corrente elétrica, portanto a condutividade tende a crescer nas soluções inorgânicas e a decrescer nas soluções orgânicas (GÓIS, 2015).

A Tabela 2 a seguir apresenta os resultados da Condutividade para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante.

Tabela 2: Resultados da condutividade das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM ($\mu\text{S/cm}$)	DLETEM S C($\mu\text{S/cm}$)	DLETEMCC ($\mu\text{S/cm}$)
1	512	3,28	3,63
2	492	2,13	2,21
3	548	2,8	2,79
4	603	2,31	2,18
5	532	4,42	4,14
6	471	2,94	3,68
7	543	2,6	2,95
8	609	2,42	2,7
9	584	2,26	2,24
10	563	3,47	3,79

A Figura 14 mostra os resultados da condutividade elétrica (CE) nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Observa-se que na 4ª alimentação a condutividade do lodo bruto obteve um valor máximo. Da mesma forma ocorreu na 5ª alimentação para o lodo com o uso e sem o uso do coagulante. Porém o comportamento da condutividade nos 3 (três) tipos de estudo encontra-se oscilando de acordo com a alimentação. Oliveira *et. al.* (2002) observaram alterações da condutividade elétrica (CE) com o acréscimo de lixo, ou seja, de matéria orgânica, como também com a variação climática.

De acordo com Góis (2015), a condutividade apresenta picos nos períodos que são realizadas novas alimentações. Porém esses valores tendem a reduzir após as alimentações. Esses picos podem estar ligados à quantidade de compostos inorgânicos presentes no lodo.

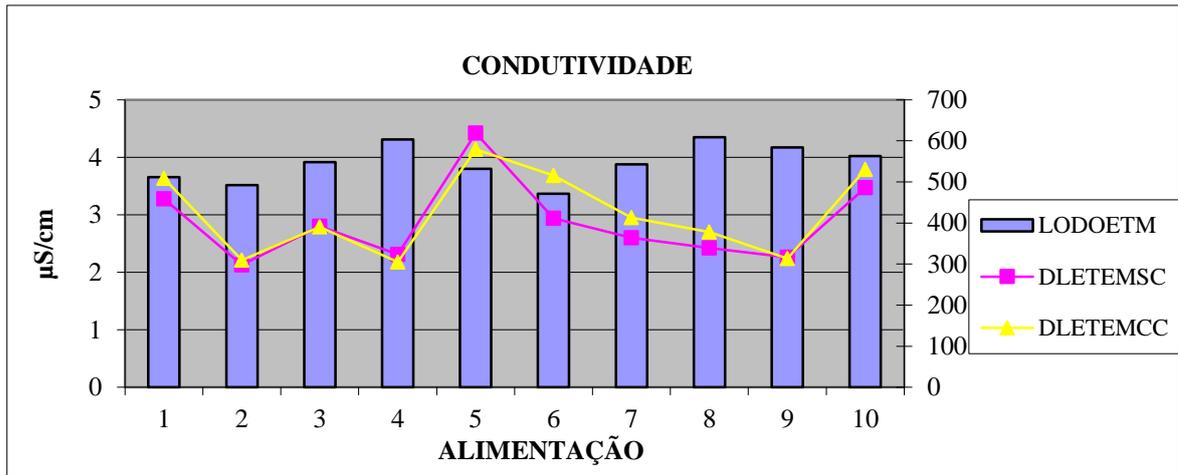


Figura 14: Resultados da condutividade nas 10 (dez) alimentações.

4.2.3 Sólidos Totais (ST)

Os sólidos Totais são representados por todo resíduo ainda presente no lodo após processo de evaporação, secagem ou calcinação da amostra, submetidos a uma temperatura pré-determinada e a um tempo estabelecido (CETESB, 2008).

A Tabela 3 a seguir apresenta os resultados de Sólidos Totais para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante.

Tabela 3: Resultados de sólidos totais das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM (g/L)	DLETEMSC (g/L)	DLETEMCC (g/L)
1	280128	1072	1252
2	253052	2558	2648
3	314506	1468	1418
4	228818	1594	1678
5	386172	4062	4970
6	252550	1568	1694
7	370682	1658	1896
8	382230	2816	2668
9	238024	3224	3372
10	255210	2358	3014

A Figura 15 mostra os resultados dos Sólidos Totais nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Observa-se que na 4ª alimentação houve um aumento significativo do resultado de Sólidos Totais no resíduo avaliado do lodo bruto, como também do lodo com os dois tipos de tratamento. Isso pode se dar devido ao acréscimo de matéria orgânica característicos desse lodo. Observou se que nessa mesma alimentação houve um pico da condutividade elétrica no lodo bruto.

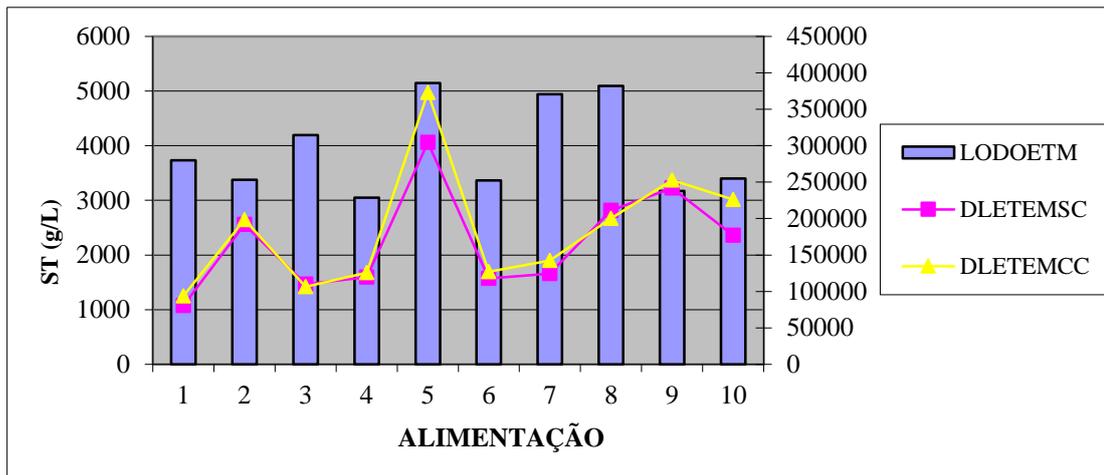


Figura 15: Resultados de sólidos totais nas 10 (dez) alimentações.

4.2.4 Sólidos Totais Voláteis (STV)

Os Sólidos Voláteis correspondem à fração de matéria orgânica presente no lodo de esgoto. De acordo com CETESB (2008), as concentrações de sólidos em suspensão voláteis nos lodos dos reatores tem sido utilizadas para se estimar a concentração de microrganismos decompositores da matéria orgânica. Isto porque as células vivas são, em última análise, compostos orgânicos e estão presentes formando flocos em grandes quantidades relativamente à matéria orgânica “morta” nos tanques de tratamento biológico de esgotos.

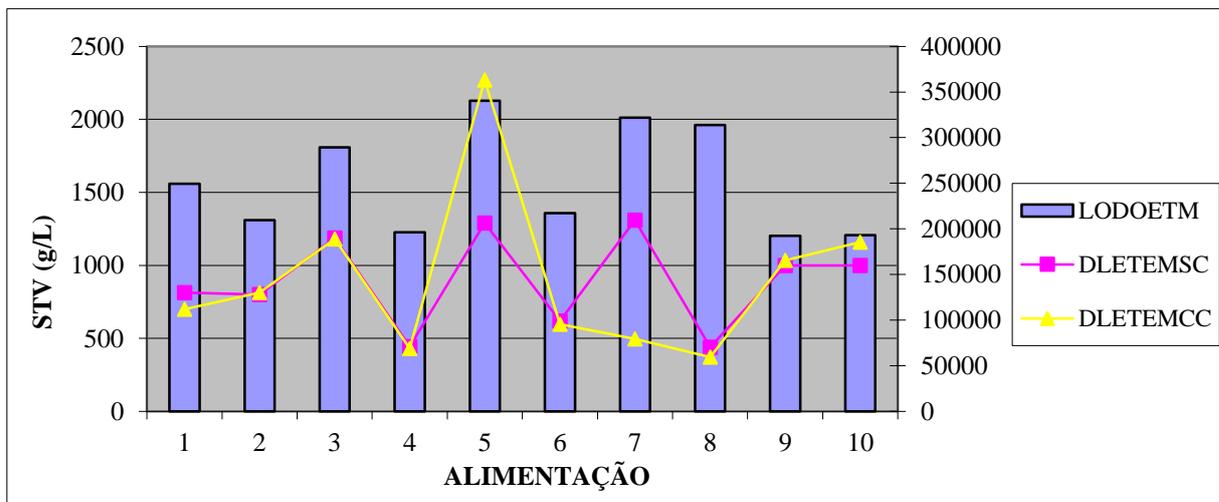
A Tabela 4 a seguir apresenta os resultados de Sólidos Totais Voláteis para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante.

Tabela 4: Resultados de sólidos totais voláteis das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM (g/L)	DLETEMSC (g/L)	DLETEMCC (g/L)
1	249358	814	700
2	209626	800	814
3	289280	1188	1180
4	196118	444	430
5	340436	1290	2270
6	217278	620	598
7	321858	1310	496
8	313818	440	372
9	192398	1000	1034
10	193286	1000	1158

A Figura 16 mostra os resultados dos Sólidos Totais Voláteis nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Pode-se observar que na 5ª alimentação houve um aumento significativo do resultado de Sólidos Totais no resíduo avaliado do lodo bruto, como também do lodo com os dois tipos de tratamento. Esse acréscimo não se deve a um erro pois em outras alimentações houveram acréscimos e decréscimos. Observa-se ainda que não houve diferenças significativas nos dois tipos de tratamento.

**Figura 16: Resultados de sólidos totais voláteis nas 10 (dez) alimentações.**

4.2.5 Sólidos Totais Fixos (STF)

Corresponde à fração de matéria inorgânica presente no lodo. A Tabela 5 a seguir apresenta os resultados de Sólidos Totais Fixos para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante.

Tabela 5: Resultados de sólidos totais fixos das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM (g/L)	DLETEMSC (g/L)	DLETEMCC (g/L)
1	30770	258	552
2	43426	1758	1834
3	25226	280	238
4	32700	1150	1248
5	45736	2772	2700
6	35272	948	1096
7	48824	348	1400
8	68412	2376	2296
9	45626	2224	2338
10	61924	1358	1856

A Figura 17 mostra os resultados dos Sólidos Totais Fixos nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Observa-se que na 5ª alimentação houve um aumento significativo do resultado de Sólidos Totais Fixos no resíduo avaliado do lodo bruto, como também do lodo com os dois tipos de tratamento. Esse acréscimo foi verificado também na mesma alimentação para o parâmetro Sólidos Totais Voláteis (STV) descrito no item anterior. No entanto não há diferenças significativas para os dois tipos de tratamento em questão.

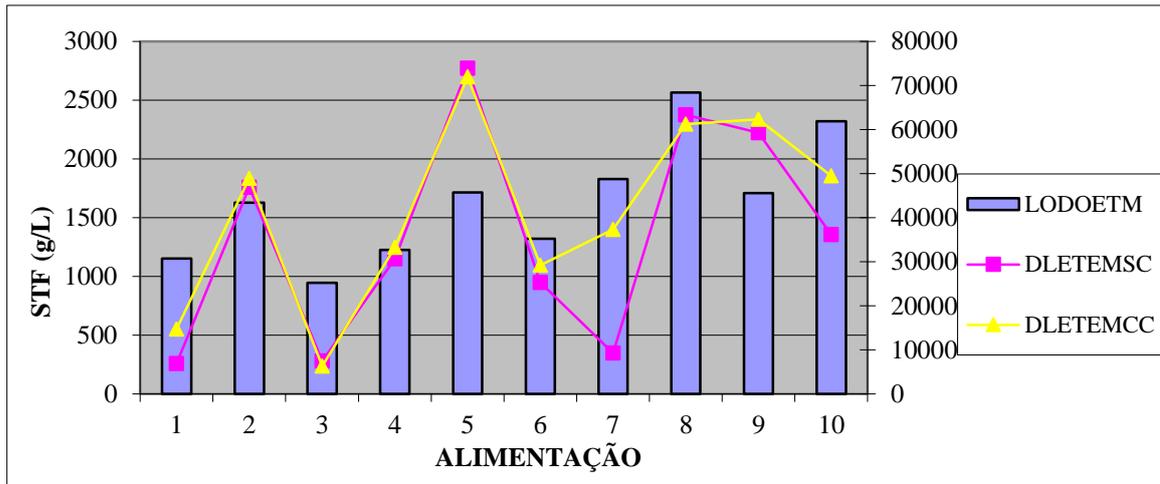


Figura 17: Resultados de sólidos totais fixos nas 10 (dez) alimentações.

4.2.6 Ferro (Fe)

A Tabela 6 a seguir apresenta os resultados de Ferro para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante. A concentração de ferro do lodo bruto em comparação com o lodo tratado sem uso do polímero foi de 98%. Já com a adição do polímero os resultados mostraram 99% de remoção.

Tabela 6: Resultados de ferro das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM (mg/L)	DLETEMSC (mg/L)	DLETEMCC (mg/L)
1	221,6	0,705	0,339
2	209,4	1,243	1,363
3	231,7	1,087	5,494
4	220,9	0,765	2,501
5	242,8	0,815	3,238
6	223,6	0,661	2,335
7	223,6	0	1,396
8	237,4	0	0,314
9	227,9	0	0,478
10	228,5	10,11	2,401

A Figura 18 mostra os resultados de Ferro nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Observa-se que na 5ª alimentação houve um aumento significativo da concentração de ferro no lodo bruto, como também no lodo com os dois tipos de tratamento. MONTEIRO (2014) verificou em sua pesquisa que as concentrações encontradas na água bruta se justificam por alguns fatores, como exemplo o aumento do nível de ferro nas estações chuvosas devido ao carregamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens.

Ressalta-se também, que o uso do coagulante em 90% das alimentações contribuiu para o aumento da concentração de ferro. Concluindo assim a não viabilidade desse tipo de coagulante para o tratamento do ferro em lodo de ETE.

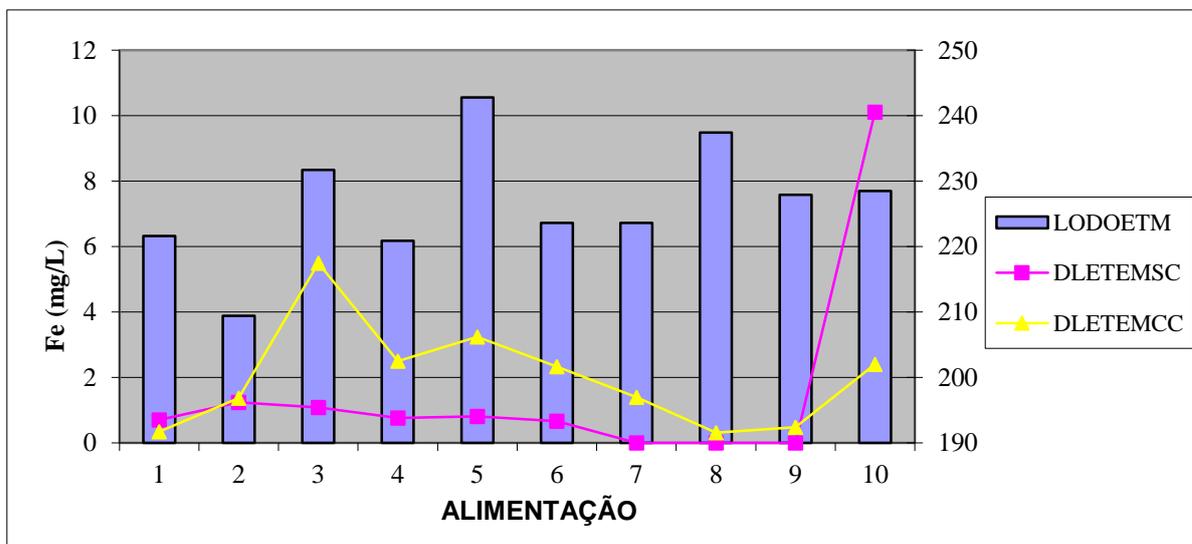


Figura 18: Resultados de ferro 10 (dez) alimentações.

4.2.7 Cobre (Cu)

A Tabela 7 a seguir apresenta os resultados de Cobre para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante. A concentração cobre do lodo bruto em comparação com o lodo tratado sem uso do polímero foi de 98% a mesma concentração se deu em comparação do lodo bruto com o lodo tratado com o uso do polímero.

Tabela 7: Resultados de cobre das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM (mg/L)	DLETEMSC (mg/L)	DLETEMCC (mg/L)
1	1,532	0,024	0,014
2	2,643	0,013	0,004
3	4,207	0,008	0,014
4	1,774	0,02	0,007
5	1,602	0,031	0,047
6	1,754	0,013	0,015
7	1,777	0,01	0,012
8	1,825	0,005	0,004
9	1,792	0,003	0,002
10	1,733	0,173	0,025

A Figura19 mostra os resultados de Cobre nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Verifica se que na 3ª alimentação houve um aumento significativo da concentração de cobre no lodo bruto. Como também o uso do coagulante não contribuiu significativamente para eficiência do tratamento.

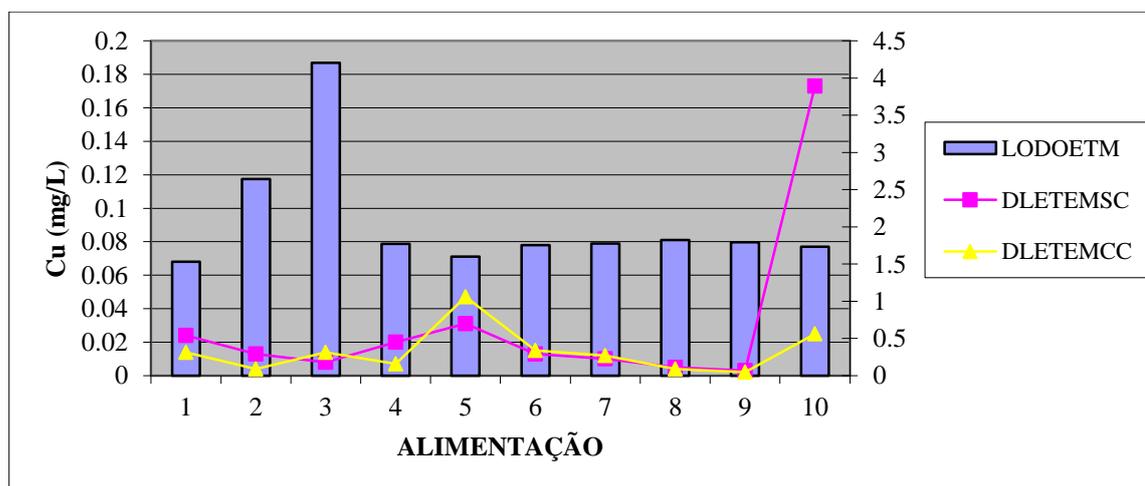


Figura 19: Resultados de cobre nas 10 (dez) alimentações.

4.2.8 Chumbo (Pb)

A Tabela 8 a seguir apresenta os resultados de Chumbo para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante. A concentração de chumbo do

lodo bruto em comparação com o lodo tratado sem uso do polímero foi de 93%, o mesmo percentual se deu com a adição do polímero.

Tabela 8: Resultados de chumbo das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM (mg/L)	DLETEMSC (mg/L)	DLETEMCC (mg/L)
1	0,372	0,024	0,022
2	0,669	0,022	0,018
3	0,784	0,027	0,015
4	0,481	0,03	0,014
5	0,437	0,055	0,022
6	0,427	0,023	0,014
7	0,466	0,017	0,009
8	0,417	0,03	0,014
9	0,405	0,018	0,019
10	0,435	0,036	0,013

A Figura 20 mostra os resultados de Chumbo e nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Nota se que nas 2^a e 3^a alimentações houve um aumento significativo da concentração de chumbo no lodo bruto. Como também o uso do coagulante não contribuiu significativamente para eficiência do tratamento.

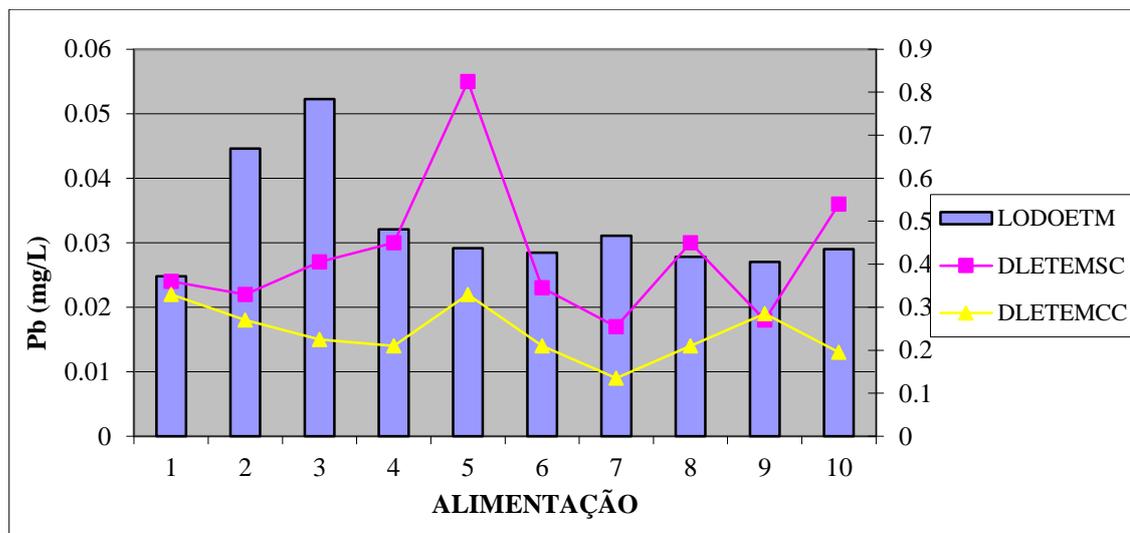


Figura 20: Resultados de chumbo nas 10 (dez) alimentações.

4.2.9 Manganês (Mn)

A Tabela 9 a seguir apresenta os resultados de Manganês para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante. A concentração de manganês no lodo bruto em comparação com o lodo tratado sem uso do polímero foi de 89%, com a adição do polímero os resultados foram mantidos.

Tabela 9: Resultados de manganês das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM (mg/L)	DLETEMSC (mg/L)	DLETEMCC (mg/L)
1	2,468	0,262	0,264
2	2,064	1,037	0,8
3	2,227	1,389	1,637
4	3,027	0,536	0,533
5	2,437	2,608	2,834
6	2,383	1,582	2,973
7	2,381	1,421	2,398
8	2,718	0,504	1,889
9	2,567	0,674	1,186
10	2,487	3,236	3,486

A Figura 21 mostra os resultados de Manganês nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Verifica se que na 4ª alimentação houve um leve aumento da concentração de manganês no lodo bruto. Nas demais alimentações as concentrações mantiveram se constante.

Ressalta se também, que o uso do coagulante em 80% das alimentações contribuiu para o aumento da concentração de manganês. Concluindo assim a não viabilidade desse tipo de coagulante para o tratamento do ferro em lodo de ETE.

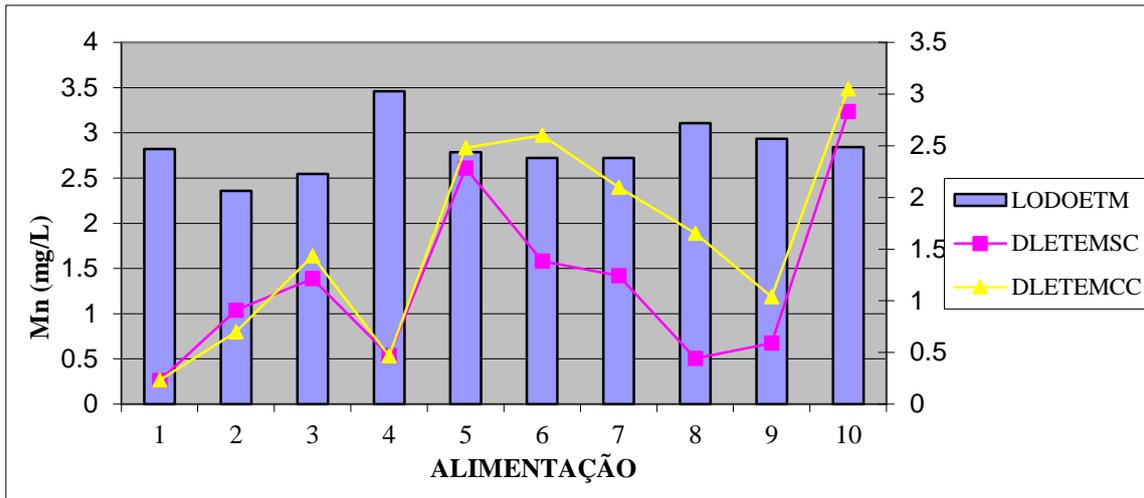


Figura 21: Resultados de manganês nas 10 (dez) alimentações.

4.2.10 Zinco (Zn)

A Tabela 10 a seguir apresenta os resultados de Zinco para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante. A concentração de zinco no lodo bruto em comparação com o lodo tratado sem uso do polímero foi de 100%, com a adição do polímero os resultados foram os mantidos.

Tabela 10: Resultados de zinco das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM (mg/L)	DLETEMSC (mg/L)	DLETEMCC (mg/L)
1	8,842	0	0
2	8,523	0	0,348
3	11,73	0	0,318
4	8,858	0	0,409
5	8,099	0,771	2,141
6	8,043	0,196	1,161
7	8,135	0,07	1,306
8	8,331	0	0,923
9	7,678	0	0,335
10	8,073	3,238	2,885

A Figura 22 mostra os resultados de Zinco nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Verifica se que na 3ª alimentação houve um aumento significativo da concentração de zinco no lodo bruto. Nas demais alimentações as concentrações mantiveram se constante para o lodo bruto. Com relação ao lodo tratado sem coagulante, observa se que em 60% das alimentações não foram detectados concentrações de zinco no lodo. Já o lodo tratado com o uso de coagulante não se mostrou viável sua aplicação para esse parâmetro.

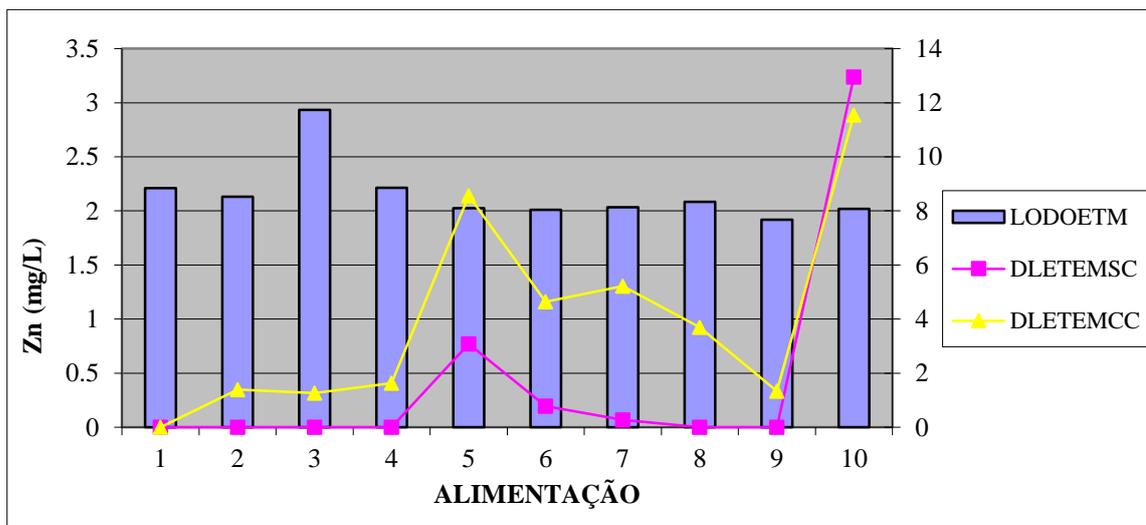


Figura 22: Resultados de zinco nas 10 (dez) alimentações.

4.2.11 Alumínio (Al)

A Tabela 11 a seguir apresenta os resultados de Alumínio para o Lodo Bruto, Lodo Drenado sem Coagulante e Lodo Drenado com Coagulante. A concentração de alumínio do lodo bruto em comparação com o lodo tratado sem uso do polímero foi 98%. Já com a adição do polímero os resultados mostraram 99%.

Tabela 11: Resultados do alumínio das amostras.

ALIMENTAÇÃO	LODOETM (mg/L)	DLETEMSC (mg/L)	DLETEMCC (mg/L)
1	112,3	1,162	1,114
2	136,8	0,122	0
3	114,1	0	0
4	169,9	0,324	0,113
5	136,7	0,495	1,871
6	148,3	0,007	0,211
7	150,9	0	0,263
8	163,1	0	0
9	141,8	0	0
10	163,7	3,872	1,022

A Figura 23 mostra os resultados de Alumínio nas 10 (dez) alimentações, considerando o lodo bruto, e o lodo nos dois bags, com uso de polímero e sem polímero.

Observa-se que na 4ª, 5ª e 10ª alimentações houve um aumento significativo da concentração de alumínio do lodo bruto. Nas demais alimentações as concentrações mantiveram-se constantes para o lodo bruto. Nota-se que em 40% das alimentações não foram detectadas concentrações de alumínio após o tratamento com e sem coagulante. Porém não há evidências significativas em utilizar ou não o coagulante para esse parâmetro.

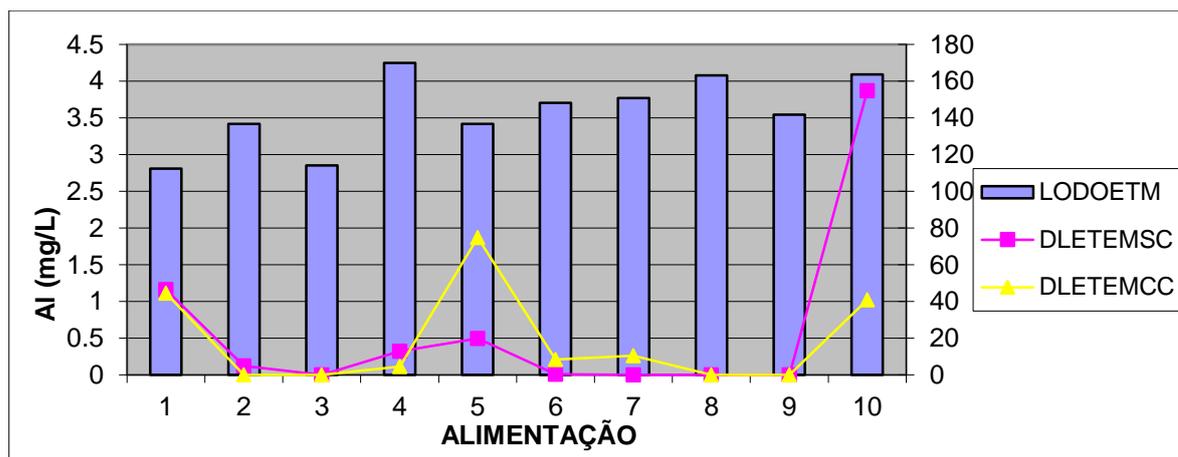


Figura 23: Resultados de alumínio nas 10 (dez) alimentações.

4.3 Análise estatística do drenado

Realizou-se a estatística descritiva para os parâmetros pH, Condutividade Hidráulica, Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Totais Fixos, Ferro, Cobre, Manganês, Zinco e Alumínio. Os resultados encontram-se no Quadro 27:

Tabela 12: Resultados da estatística descritiva do drenado.

Parâmetros		Mín.	Máx.	Amplit.	Ponto Médio	Média	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Coeff. de Variação
pH	DLETEMSC	5,01	8,37	3,36	6,69	7,275	7,35	0,88129	0,77667	12,1139
	DLETEMCC	6,15	7,77	1,62	6,96	7,177	7,345	0,48125	0,2316	6,70544
Condutividade	DLETEMSC	2,13	4,42	2,29	3,275	2,863	2,7	0,66698	0,44486	23,29651
	DLETEMCC	2,18	4,14	1,96	3,16	3,031	2,87	0,69167	0,47841	22,8199
Sólidos Totais	DLETEMSC	1072	4062	2990	2567	2237,8	2008	888,9627	790254,76	39,72485
	DLETEMCC	1252	4970	3718	3111	2461	2272	1076,047	1157876,2	43,72396
Sólidos Totais Voláteis	DLETEMSC	440	1310	870	875	890,6	907	306,2013	93759,24	34,38146
	DLETEMCC	372	2270	1898	1321	905,2	757	533,015	284104,96	58,88367
Sólidos Totais Fixos	DLETEMSC	258	2772	2514	1515	1347,2	1254	868,7956	754805,76	64,48898
	DLETEMCC	238	2700	2462	1469	1555,8	1617	755,7171	571108,36	48,57418
Ferro	DLETEMSC	0	10,11	10,11	5,055	1,5386	0,735	2,88876	8,34492	187,75236
	DLETEMCC	0,314	5,494	5,18	2,904	1,9859	1,8655	1,51497	2,29513	76,28626
Cobre	DLETEMSC	0,003	0,173	0,17	0,088	0,03	0,013	0,04838	0,00234	161,25205
	DLETEMCC	0,002	0,047	0,045	0,0245	0,0144	0,013	0,01267	0,00016	88,01655
Chumbo	DLETEMSC	0,017	0,055	0,038	0,036	0,0282	0,0255	0,01049	0,00011	37,18504
	DLETEMCC	0,009	0,022	0,013	0,0155	0,016	0,0145	0,00395	0,00002	24,68552
Manganês	DLETEMSC	0,262	3,236	2,974	1,749	1,3249	1,213	0,91163	0,83106	68,80727
	DLETEMCC	0,264	3,486	3,222	1,875	1,8	1,763	1,04983	1,10214	58,32369
Zinco	DLETEMSC	0	3,238	3,238	1,619	0,4275	0	0,9641	0,92948	225,51987
	DLETEMCC	0	2,885	2,885	1,4425	0,9826	0,666	0,87517	0,76593	89,06719
Alumínio	DLETEMSC	0	3,872	3,872	1,936	0,5982	0,0645	1,14582	1,31291	191,54533
	DLETEMCC	0	1,871	1,871	0,9355	0,4594	0,162	0,61661	0,38021	134,22103

Os resultados da estatística descritiva para o parâmetro pH, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais, Ferro, Cobre, Chumbo, Manganês, Zinco e Alumínio indicaram uma variação menor para o lodo com o uso do coagulante, comparando-se ao sem uso de coagulante.

Já os Sólidos Totais fixos e sólidos totais voláteis indicaram uma variação maior para o lodo com o uso do coagulante, comparando-se ao sem uso de coagulante.

4.4 Teste “t” de Student

Realizou-se o teste paramétrico Teste “t” de Student para os parâmetro pH, condutividade, sólidos totais, sólidos totais voláteis, sólidos totais, sólidos totais fixos, ferro, cobre, manganês, zinco e alumínio. O Quadro 17, refere se aos resultados para todos os parâmetros das 10 (dez) alimentações realizadas no ensaio:

Quadro 17: Resultados do Teste “T” de Student.

Parâmetros	Teste "T" P(T<=t) bi-caudal
pH	0,773975611
Condutividade	0,606313529
Sólidos Totais	0,637525997
Sólidos Totais Voláteis	0,944203875
Sólidos Totais Fixos	0,59347193
Ferro	0,687018776
Cobre	0,371403143
Chumbo	0,00674941
Manganês	0,31889413
Zinco	0,217156809
Alumínio	0,753685043

De acordo com os resultados estatísticos, como $P > 0,05$ Aceita-se H_0 e admite-se que não há diferença entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade, com ou sem adição de polímero, para os resultados de todos os parâmetros avaliados, exceto o chumbo.

4.5 Teste “u” de Mann Whitney

Para avaliação dos tratamentos foi também aplicado o Teste “u” de Mann Whitney que contempla os resultados não paramétricos. Os resultados da Figura 25 demonstraram que não há existência de diferenças significativas ($P < 0,05$) nos tratamentos para os parâmetro pH, condutividade, sólidos totais, sólidos totais voláteis, sólidos totais, sólidos totais fixos, ferro, cobre, manganês, e alumínio, exceto para o chumbo e o zinco aplicados ao nível de 5%.

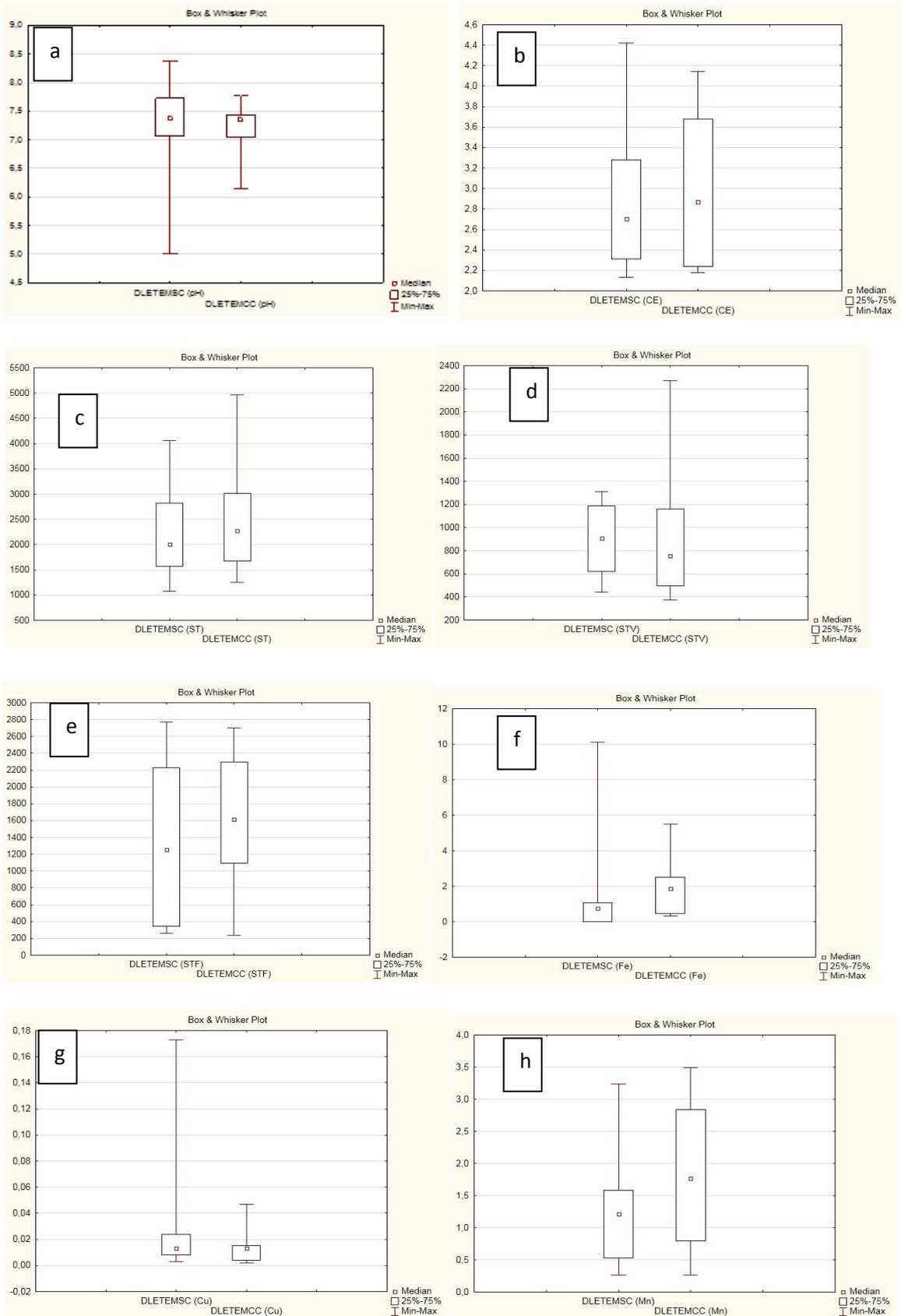


Figura 24: Resultados do Teste “u” de Mann Whitney: (a) pH, (b) condutividade, (c) sólidos totais, (d) sólidos totais voláteis, (e) sólidos totais fixos, (f) ferro, (g) cobre, (h) manganês.

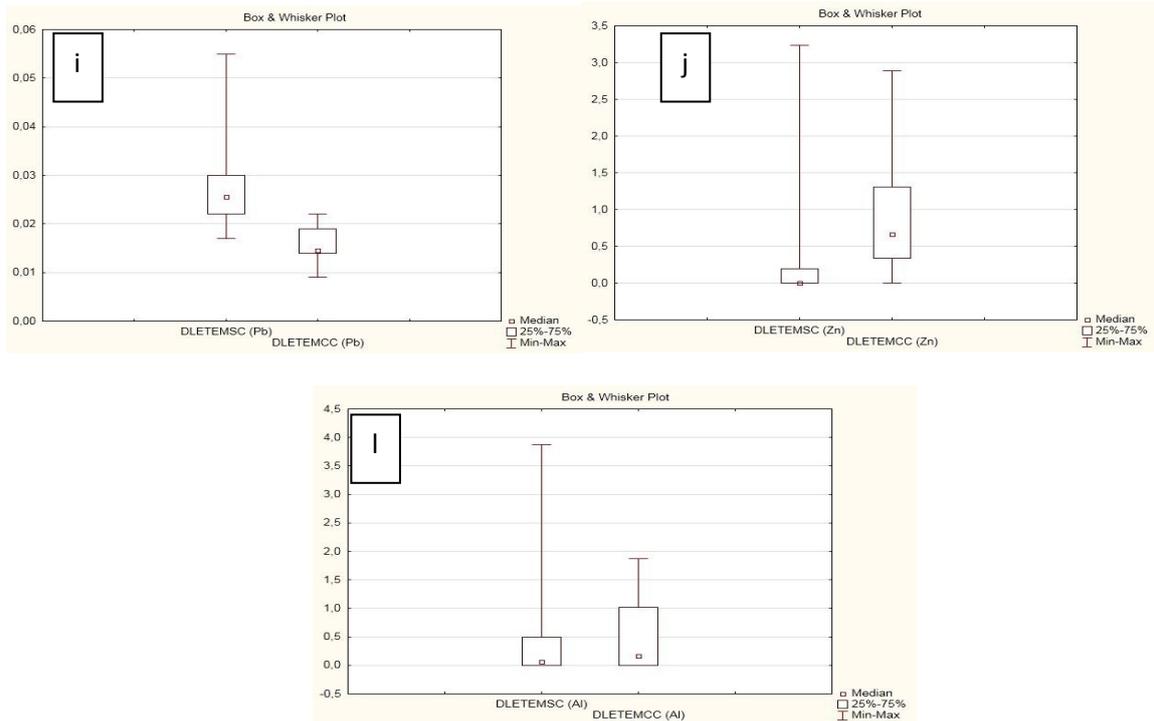


Figura 25: Resultados do Teste “u” de Mann Whitney: (i) chumbo, (j) zinco e (l) alumínio. (continuação)

4.6 Componentes Principais

4.6.1 Autovalores e Variância Total Explicada

As três primeiras componentes geradas explicam aproximadamente 78% da variância total, conforme Tabela 13. Verifica-se que a primeira (CP1), a segunda (CP2) e a terceira (CP3) explicaram respectivamente 46%, 21% e 10%.

Tabela 13: Autovalores e variância explicada.

Componentes	Autovalor	% Variância total	Autovalores acumulados	% Acumulado
CP1	5,094953	46,31775	5,09495	46,3178
CP2	2,328161	21,16510	7,42311	67,4829
CP3	1,182688	10,75171	8,60580	78,2346
CP4	0,969475	8,81341	9,57528	87,0480
CP5	0,700049	6,36408	10,27533	93,4121
CP6	0,450609	4,09644	10,72593	97,5085
CP7	0,132376	1,20342	10,85831	98,7119
CP8	0,106111	0,96465	10,96442	99,6766
CP9	0,032977	0,29979	10,99740	99,9763
CP10	0,002602	0,02365	11,00000	100,0000

4.6.2 Matriz de Loadings

A Tabela 14 abaixo destaca em negrito e sublinhado os pesos que mais contribuíram para a respectiva componente principal. Vale ressaltar que a CP1 explica cerca de 46% da variância total.

Na CP1 as variáveis mais significativas foram: cobre, ferro, zinco e alumínio com peso negativo, e o pH com peso positivo.

Na CP2 a variável de maior peso foi os sólidos totais e sólidos totais fixos com peso negativo, e o ferro com peso positivo. Enquanto que na CP3 há um equilíbrio nos pesos das variáveis, com exceção do chumbo que teve uma maior contribuição negativa para a CP3.

Tabela 14: Matriz de Loadings das variáveis nas CPs.

Variáveis	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
pH	0,689030	-0,487394	-0,178442	-0,193385	-0,213291
CE	-0,671826	-0,219173	-0,159978	-0,555421	-0,243243
ST	-0,416120	-0,858256	0,112634	0,212844	0,176162
STV	-0,511987	-0,413946	-0,010029	-0,424621	0,607606
STF	-0,232353	-0,819247	0,141595	0,482409	-0,108628
Fe	-0,785153	0,414907	0,008804	0,132681	0,053246
Cu	-0,872624	0,299415	-0,255657	0,230178	-0,004034
Pb	-0,301702	-0,316982	-0,870631	0,065221	-0,139357
Mn	-0,769444	-0,186687	0,334974	-0,271272	-0,340512
Zn	-0,906280	-0,007469	0,341671	0,031115	-0,186038
Al	-0,892870	0,257429	-0,200088	0,125952	0,102667

No gráfico dos pesos (CP1 x CP2) da Figura 7, observam-se os parâmetros que mais contribuíram para a CP1, positivamente temos o pH, enquanto que os parâmetros Ferro, Cobre, Zinco e Alumínio contribuíram negativamente para a CP1. A correlação negativa dos metais com o pH pode ser considerada a precipitação dos mesmos em presença de pH elevado.

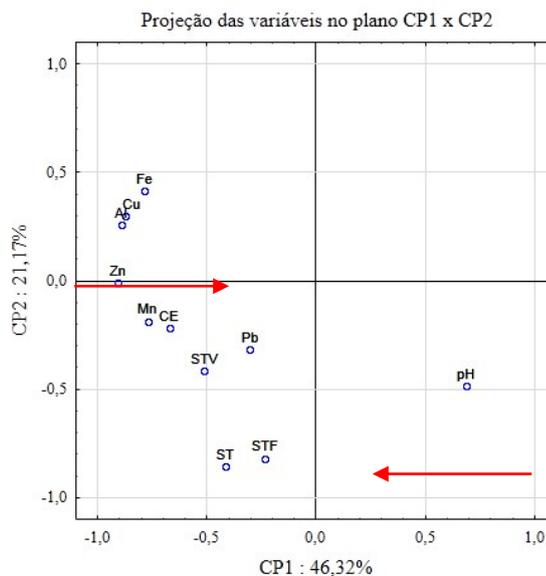


Figura 26: Gráfico dos Pesos (CP1 x CP2).

Pinheiro (2007) observou em seu trabalho que há uma correlação entre alguns metais e a precipitação pluviométrica, verificando assim que em períodos secos os metais zinco e cromo são inversamente proporcionais a pluviosidade, ou seja, quanto menor a precipitação, maior a concentração. Foi observado também que os processos erosivos associados à presença mais significativas de quartzo, devido à precipitação podem alterar na composição química dos metais, como por exemplo do alumínio, sódio e potássio.

No entanto a precipitação pluviométrica, alterando a concentrações dos metais, aumenta a precipitação química dos mesmos e consequentemente o pH. O que justifica a correlação negativa do pH com os metais.

4.6.3 Matriz de Correlação

A matriz de correlação obtida na Tabela 15, mostra altas correlações negativas entre o ferro, o cobre, o zinco e o alumínio com o pH. E altas correlações positivas entre manganês, zinco e alumínio com a condutividade elétrica; sólidos totais com sólidos totais fixos e sólidos

totais voláteis; cobre, manganês, zinco e alumínio com ferro; zinco e alumínio com cobre; Manganês com zinco e zinco com alumínio.

Tabela 15: Matriz de correlação entre os parâmetros.

	pH	CE	ST	STV	STF	Fe	Cu	Pb	Mn	Zn	Al
pH	1,000000										
CE	0,257595	1,000000									
ST	0,029393	0,296740	1,000000								
STV	0,157384	0,482112	0,580926	1,000000							
STF	0,118913	0,103727	0,902323	0,173319	1,000000						
Fe	0,653659	0,273845	0,011609	0,241191	0,113685	1,000000					
Cu	0,697993	0,395637	0,122726	0,240461	0,021151	0,851079	1,000000				
Pb	0,108181	0,378453	0,285833	0,193192	0,243539	0,112712	0,404673	1,000000			
Mn	0,329826	0,658639	0,395270	0,406417	0,263033	0,527223	0,498362	0,058771	1,000000		
Zn	0,636762	0,574149	0,392171	0,341063	0,293894	0,689554	0,708156	0,008844	0,860146	1,000000	
Al	0,769689	0,534939	0,174497	0,339260	0,031469	0,752203	0,931775	0,320810	0,449464	0,735539	1,000000

4.7 Análise do Material retido no bag

Essa etapa descreve as análises realizadas no material retido nos Bags, conforme detalhado no capítulo anterior, utilizou se de uma mistura de 12 pontos amostrais, e posterior obtenção de 3 amostras de 200g para análises de metais e sólidos.

Góis (2015), observou em seu estudo que não há diferença entre os blocos (pontos amostrais), o que justifica a mistura da massa para posterior análises.

Os resultados dos metais do material retido nos bags estão descritos na Tabela 16 abaixo:

Tabela 16: Resultados do material retido no bag.

Amostras	Elementos					
	Al	Fe	Mg	Mn	Ca	Zn
LETEMCC1	179,1474	228,6826	37,32523	32,05824	147,9019	177,7252
LETEMCC2	178,9352	230,0121	374,2178	32,21785	147,2278	177,9065
LETEMCC3	179,3596	227,353	372,2869	31,89863	148,576	177,5439
MEDIA	179,1474	228,6826	261,2766	32,05824	147,9019	177,7252
DESVPAD	0,212226	1,329536	193,95	0,159612	0,674102	0,18129

O Quadro 18 faz a comparação entre os valores permitidos de acordo com o CONAMA 375/06 e os resultados dos metais obtidos do material retido nos bags. Para atendimento dessa legislação, apenas o zinco foi avaliado, e se encontra abaixo do valor permitido por norma.

Quadro 18: Comparação da massa sólida com o CONAMA 375/06.

Substâncias Inorgânicas	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)	Material Retido no Bag (mg/kg)
Arsênio	41	-
Bário	1300	-
Cádmio	39	-
Chumbo	300	-
Cobre	1500	-
Cromo	1000	-
Mercúrio	17	-
Molibdênio	50	-
Níquel	420	-
Selênio	100	-
Zinco	2800	177,7252

Segundo Tsutiya (1999), as concentrações máximas permissíveis de metais nos biossólidos, para uso agrícola, foram estabelecidas em 17 países. Para o Estado de São Paulo, a CETESB propõe os mesmos valores adotados nos Estados Unidos. A Tabela 17 relaciona os valores obtidos dos metais pesados da massa sólida com a legislação dos Estados Unidos:

Tabela 17: Comparação da massa sólida com a legislação dos Estados Unidos.

Amostras	Elementos mg/kg (base seca)					
	Al	Fe	Mg	Mn	Ca	Zn
LETEMCC1	179,1474	228,6826	37,32523	32,05824	147,9019	177,7252
LETEMCC2	178,9352	230,0121	374,2178	32,21785	147,2278	177,9065
LETEMCC3	179,3596	227,353	372,2869	31,89863	148,576	177,5439
MEDIA	179,1474	228,6826	261,2766	32,05824	147,9019	177,7252
DESVPAD	0,212226	1,329536	193,95	0,159612	0,674102	0,18129
ESTADOS UNIDOS/CETESB	-	-	-	-	-	7500

Para fins de utilização agrícola, o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70. (CONAMA 375/06). O Quadro 19 abaixo faz a correlação entre os sólidos totais voláteis e os sólidos totais. Os tratamentos com e sem o uso do coagulante estão dentro do valor permitido.

Quadro 19: Correlação do STV/ST.

Varição das concentrações de Sólidos Totais e Sólidos Totais Voláteis			
Composição	ST (mg/L)(mg/L)	STV (mg/L)(mg/L)	Relação STV/ST
LETEMCC	672,88	387,34	0,575644989
LETEMSC	665,55	413,16	0,620779806

Guerdat *et al.* (2013) avaliaram o uso deste geotêxtil com o objetivo de reter sólidos em sistemas de aquicultura. Utilizaram dois sistemas: o primeiro utilizando água doce e o segundo utilizando água salobra. Nos dois sistemas foi utilizado um polímero catiônico (poliacrilamina) para auxiliarna retenção dos sólidos. E obtiveram desempenho similar ao presente estudo em cada um dos sistemas para eficiência de remoção de sólidos totais.

5.0 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

5.1. Conclusões

Observou-se que o desaguamento com o uso de geotêxtil é de aplicação simples, e possui eficiência no tratamento, visto que a concentração de metais do lodo bruto em comparação com o lodo tratado sem uso do polímero foi de 98% de Fe, 98% de Cu, 93% de Pb, 89% de Mn, 100% de Zn e 98% de Al. Já com a adição do polímero os resultados mostraram, 99% de Fe, 98% de Cu, 93% de Pb, 89% de Mn, 100% de Zn e 99% de Al.

Os resultados estatísticos indicaram que a utilização do polímero não influenciou na remoção dos metais quando se usa o deságue por geomembranas, admitindo a diferença de uso apenas para o Chumbo.

A correlação negativa dos metais com o pH pode ser considerada a precipitação dos mesmos em presença de pH elevado. Sugere-se que seja avaliados em trabalhos futuros medidas de controle do pH para lodo de ETE.

O dois tratamentos adotados nessa pesquisa atenderam aos parâmetros da Legislação do CONAMA 357/06 com relação a sólidos totais e sólidos totais voláteis para a massa sólida retida nos bags, que recomenda uma relação de 0,7 entre os Sólidos Voláteis e os Sólidos Totais Voláteis. Obtendo assim para o drenado sem coagulante e com o coagulante, 0,62 e 0,57 respectivamente. Recomenda-se estudos dos demais metais, pois nesse estudo só houve estudo do zinco como parâmetros inorgânicos. Como também, a avaliação da influência da variação dos metais com a pluviometria e o pH.

Recomenda-se que o uso dessa tecnologia pode ser aplicado em grande escala nas Estações de Tratamento de Esgoto. Porém deve ser avaliada a área em questão, pois a desvantagem desse sistema é a necessidade de grandes áreas para implantação.

5.2. Perspectivas

Com estudos futuros sugere-se a realização do estudo do efeito do tamanho do “bag” no uso do coagulante, contínuo ou apenas no primeiro deságue, o estudo do efeito da temperatura e umidade do ambiente, assim como da microbiota.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos Sólidos – Classificação** - NBR-10.004. 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Amostragem de Resíduos Sólidos** - NBR-10.007. 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Geossintéticos – Termos e Definições** - NBR-10.318. 2013.

AIRES, R.D. *et. al.* **PIRÓLISE**. III Fórum de Estudos Contábeis 2003. Disponível em: <http://observatorioambiental.iff.edu.br/publicacoes/publicacoes-cientificas/pirolise.pdf>. Acesso em: 25 de Jun. 2016.

APHA American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater**, 21^a ed., New York. 2005

Aplicabilidade da tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgotos domésticos. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabCarlos/Cap-1.pdf>. Acesso em: 22 de Fev. 2015.

BERTONINCI, E.I. **Tratamento de Efluentes e Reúso da Água no Meio Agrícola**. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária. Pólo APTA Centro Sul, Piracicaba, SP. Disponível em: http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/T%26IA/T%26IAv1n1/Revista_Apta_Artigo_118.pdf. Acesso em: 19 de Jul. 2016.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2014>. Acesso em: 30 de Jun. 2016.

BRITO, N.N., SILVA, V.B.M. **Processo oxidativo avançado e sua aplicação ambiental**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, n. 3, v. 1, p. 36-47, 2012.

CANTELMO, N. F. & FERREIRA, D. F. **Desempenho de testes de normalidade multivariados avaliado por simulação monte carlo**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Ferreira15/publication/262445993_Monte_Carlo_evaluation_of_the_performance_of_multivariate_normality_tests/links/544e2e2c0cf26dda088e5d79.pdf. Acesso em: 26 de Jun. 2016.

CIESLIK, B.M et al. **Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods**. Department of Analytical Chemistry, Gda_nsk University of Technology, Gda_nsk, Poland. journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro. 2015.

CORDI, Livia, *et al.* **Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: Parâmetros físico-químicos e biológicos.** Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v.5, n.1, p. 097 – 115, jan/abr 2008.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** – Volume 5: Reatores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 245 p., 1997.

CETESB. Norma técnica P4. 230. **Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: manual técnico. 1999.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/P4230.pdf>. Acesso em: 12 de mai. 2015.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem, 2008.** Disponível em <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>. Acesso em: 24 de Jul. 2016.

COMPESA. **Saneamento: Esgotamento Sanitário.** Disponível em: <http://www.compesa.com.br/saneamento/esgotamentosanitario>. Acesso em: 17 de Ago. 2015.

CONAMA 375/06. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.** Resolução nº 375 de Agosto de 2006. Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA.

FARRUGIA, B. **Sistemas biológicos para tratamento de efluentes. Revista Tratamento de Efluentes (TAE).** Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=3671>. Acesso em: 30 de Jun. 2016.

FONTES, C.M.A. **Potencialidades da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos como material suplementar para a produção de concretos com cimento portland.** Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.). Dezembro, 2003.

FRANÇA, Marianne Schaefer. **Análise Estatística Multivariada dos Dados de Monitoramento de Qualidade da Água da Bacia do Alto Iguaçu: Uma Ferramenta para a Gestão dos Recursos Hídricos.** Dissertação, 150 fls, Curitiba, 2009.

FREIRE, R.S. et al. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas.** Instituto de Química - Universidade Estadual de Campinas - CP 6154 - 13083-970 - Campinas – SP. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v23n4/2650.pdf>. Acesso em: 24 de Jun. 2016.

GEROTO, R. E. (2008). **Desempenho de camadas de proteção para Geomembranas.** 188p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

GODOY, L.C. **A Logística na Destinação de Lodo de Esgoto**. Revista Científica On Line. Faculdade de Tecnologia Americana. V.2.N.1 (2013). Disponível em: <http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCO-TGH/article/view/43/27>. Acesso em: 15 de Ag.2016.

GÓIS, T. M. L **Estudo da desidratação de lodo de lagoas de tratamento de lixiviado por sistemas de geomembranas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Brasil. 113p.2015.

GUERDAT, T.C., LOSORDO, T.M., DELONG, D.P., JONES, R.D. An evaluation of solid waste capture from recirculating aquacultures systems using a geotextile bag system with a flocculant-aid. **Aquacultural Engineering**, v.54, p.1-8, (2013).

HAIR JR., J. F. et al. **Análise Multivariada de Dados**. 5 ed. Tradução: Adonai SchlupSant'anna e Anselmo Chaves Neto. Porto Alegre: Bookman, 2005. Tradução de:

KOERNER, G. R. KOERNER, R. M. **Geotextile tube assessment using a hanging bag test**. Disponível em: http://ac.els-cdn.com/S0266114405000403/1-s2.0-S0266114405000403-main.pdf?_tid=6d96db72-5a70-11e6-aa8b-00000aab0f02&acdnat=1470335140_5b3d876df53268381a3e8ddb40accd2. Acesso em: 15 de Jun.2015.

KOZAK, C. *et.al.* **Comparação entre o tratamento biológico aeróbio e anaeróbio de esgotos domésticos**. Disponível em: <http://saeq.pg.utfpr.edu.br/site/artigos/2012/5.pdf>. Acesso em: 15 de Ag.2016.

LINS, G.A. **Avaliação de Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)**. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2010.

MARÔCO, J. **Análise estatística com o SPSS Statistic**. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=9d2XupSIDmUC&oi=fnd&pg=PR12&dq=Teste+de+Mann-Whitney&ots=mU1Y4-WFsJ&sig=iqhXonAD3fC7Phb_v4n6xxo3c4w#v=onepage&q=Teste%20de%20Mann-Whitney&f=true. Acesso em: 26 de Jun.2016.

METCALF & EDDY INC., TCHOBANOGLIOUS, G., STENSEL, H.D., TSUCHIHASHI, R., BURTON, F. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery**. 5th Edition. Metcalf&Eddy Inc. 2014.

MOGAMI, S.(2013). **Soluções para deságue e secagem do lodo**. Disponível em: <http://sindlav.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Solucoes-para-o-desaguamento-e-secagem-do-lodo1.pdf>. Acesso em: 12 de mai. 2015.

MONTEIRO, N. B. (2017) **Características de lodos de estações de tratamento desidratados por sistema geotêxtil: estudo de caso**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pernambuco. Recife, Brasil.81p.

OLIVEIRA, F.C. **Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 37, n. 4, p. 529-538, abr. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/0D/pab/v37n4/9087.pdf>. Acesso em: 24 de Jul. 2016.

PADILHA, J.C. **Aplicação de lodos de tratamentos de água e esgoto em latossolos cultivados com milho e soja**. 345p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PAULA, E.S.D. **Avaliação do desaguamento de resíduos de esgotamento de caminhão limpa-fossas através de técnica de deságue em geotêxtil e aplicação de polímeros. Dissertação de mestrado**. Fortaleza, 2012.

PEDROSA, M.M. *et al.* **Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, V.11, n 16, p. 89-XX, Jul. /dez.2010. Disponível em: [http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2011,%20n.%2016%20\(2010\)/5.%20Produ%20E3o%20e%20Tratamento%20de%20Lodo%20de%20Esgoto.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2011,%20n.%2016%20(2010)/5.%20Produ%20E3o%20e%20Tratamento%20de%20Lodo%20de%20Esgoto.pdf). Acesso em: 01 de Jul. 2016.

PESSOA, M. O. **Avaliação da produção de biogás a partir de efluentes lixiviados**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013.

PINHEIRO, C.H.R. **Zn, Ni, Cr, Cu, Fe, s S em lodo de esgoto: comportamento químico, adsorção e proposta de tratamento**. São Paulo, 2007. 220f. Tese de doutorado: IGc/USP.

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. LEI 9.433 DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 07 de Jul. 2016.

POLÍTICA NACIONAL DE SANEAMENTO. LEI 11445 DE 5 DE JANEIRO DE 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 01 de Jul. 2016.

PROSAB: Tratamento de Esgoto Sanitário por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo.Cap. 3. Configuração de Reatores Anaeróbios. Rio de Janeiro, 1999.PROSAB:

Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final / Cleverson Vitório Andreoli (coordenador). -- Rio de Janeiro :RiMa, ABES, 2001. 282 p. Disponível em: <http://finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/CLeverson.pdf>. Acesso em: 25 de Jun. 2016.

SANTOS H.R., et. al. **Coagulação/Precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de**

partículas por sedimentação ou flotação. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 216p.2006.

SILVA, R.J. Caracterização do Esgoto Tratado da ETE Mangueira e viabilidade de seu uso em mudas de eucalipto. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE. 61p. 2011.

SOUZA, S.N.D. Aplicação da Técnica de Análise Multivariada para Avaliação de Redes de Monitoramento de Qualidade da Água, Tese, 140 folhas, Recife, 2010.

TSUTIYA, M.T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Tratamento biológico aeróbio e anaeróbio de efluentes. Disponível em: <http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/340697/Tratamento-biologico-aerobio-e-anaerobio-de-efluentes>. Acesso em: 22 de Fev. 2015.

VALLADARES, G.S. et al. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/lgcs/producao/lucia/2008/8.pdf>. Acesso em: 26 de Jun.2016.

VAN HAANDEL, A. C. e MARAIS, G.O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações.1999.

VON SPERLING M.. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias– Volume 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 240 p., 1995-1996.

VON SPERLING M.. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias– Volume 3: Lagoas de Estabilização. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 140 p., 1996.

VON SPERLING M.. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias– Volume 4: Lodos Ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 416 p., 1997.

ANEXO

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DOS METAIS

Para a obtenção dos metais de interesse, todas as amostras foram digeridas em meio ácido segundo Método 3051A (USEPA, 1998), descrito abaixo:

Procedimento para amostras sólidas:

- Transferir 0,5g da amostra pulverizada para tubo de teflon;
- Adicionar 9mL de HNO₃ e 3mL de HCL.
- Manter o conjunto em sistema fechado, forno de microondas (MarsXpress), por 8'40" na rampa de temperatura, tempo necessário para atingir 175°C, mantendo-se esta temperatura por mais 4'30". Após resfriamento, as amostras foram transferidas para balões certificados (NBR ISO/IEC) de 50 mL, sendo o volume dos balões completado com água ultra pura e os extratos filtrados em papel de filtro lento.

Procedimento para mostras líquidas:

- Transferir 25 mL da amostra pulverizada para tubo de teflon;
- Adicionar 9mL de HNO₃ e 3mL de HCL.
- Manter o conjunto em sistema fechado, forno de microondas (MarsXpress), por 8'40" na rampa de temperatura, tempo necessário para atingir 175°C, mantendo-se esta temperatura por mais 4'30". Após resfriamento, as amostras foram transferidas para balões certificados (NBR ISO/IEC) de 50 mL, sendo o volume dos balões completado com água ultra pura e os extratos filtrados em papel de filtro lento.

As digestões foram realizadas em digestor MarsXpress com aquecimento por micro ondas da CEM CORPORATION.



Análise de dados

Seleção dos dados

Foram utilizados os dados resultantes das análises dos metais de todo o material drenado e da massa sólida durante todas as alimentações com adição de polímero e sem a adição deste.

Base de dados

A base de dados utilizada apresenta 6 variáveis contando com 30 casos, o que totaliza 180 registros de dados para os metais, e 5 variáveis contando 30 casos para os demais parâmetros (pH, Condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Totais Fixos (STF)), totalizando 300 registros.

Processamento dos dados

A base de dados foi inserida no worksheet (folha de trabalho) do software *Statsoft Statistica 10.0*, e processada para fornecer os resultados no módulo de estatística multivariada compreendendo a análise fatorial pelo método de extração de componentes principais.