



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRAULICA E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – ÁREA SANEAMENTO
AMBIENTAL**

KEYVE MAYANE BEZERRA

**CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO SANITÁRIO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA
VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA**

**FORTALEZA
2014**

KEYVE MAYANE BEZERRA

**CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO SANITÁRIO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA
VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota

**FORTALEZA
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- B469c Bezerra, Keyve Mayane.
Caracterização do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário da região metropolitana de Fortaleza visando sua utilização na agricultura / Keyve Mayane Bezerra. – 2014.
133 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2014.
Área de Concentração: Saneamento Ambiental.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.
1. Saneamento. 2. Lodo de esgoto. 3. Lodo - Reaproveitamento. 4. Concentração de nutrientes. 5. Reator UASB. 6. Águas residuais – Purificação. I. Título.

KEYVE MAYANE BEZERRA

**CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO SANITÁRIO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA
VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA**

Dissertação submetida à banca de defesa da pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Dissertação aprovada em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota - Orientador
Universidade Federal do Ceará/UFC

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti
Universidade Federal do Ceará/UFC

Dra. Maria Cléa Brito de Figueirêdo
EMBRAPA/CEARÁ

A Deus

*Com amor e gratidão, aos meus pais,
pelo incondicional apoio em todos os
momentos de minha vida.*

AGRADECIMENTOS

A *Deus*, por estar comigo todos os dias me protegendo e fortalecendo, especialmente nos dias mais difíceis em que a saudade da minha família aperta.

Aos meus pais, *Maria Lucilene Bezerra e Raimundo José Bezerra*, não somente pelo incondicional apoio neste trabalho, mas em todos os momentos em que foi preciso, pelo amor em todos os dias de minha vida, pelo carinho e preocupação, pelas orações e confiança de que eu seria capaz desta conquista e por todos os esforços que já realizaram para que eu pudesse chegar onde estou.

Ao meu orientador, Prof. Dr. *Francisco Suetônio Bastos Mota*, que me instruiu com calma e dedicação, e por ser exemplo de um profissional extremamente competente e determinado.

Ao Prof. Dr. *Ronaldo Stefanutti*, pelo apoio e contribuição para a realização deste trabalho.

A todos meus amigos, pelo apoio, incentivo e amizade.

Aos amigos e bolsistas do Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN), em especial a *Naiane Costa e Diego Oliveira* pela amizade, por proporcionar um agradável ambiente de trabalho e pela contribuição neste trabalho.

À equipe do Laboratório de Estudos em Química Aplicada (LEQA), pela a realização das análises de metais pesados.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, pelo acolhimento.

À Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) e seus funcionários, pelo apoio na pesquisa e sua contribuição ativa do desenvolvimento do projeto.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para esta conquista.

*“O importante não é onde você começa,
mas sim as decisões que toma sobre o lugar a
que está determinado a alcançar”*

(Anthony Robbins)

RESUMO

A elevada produção de lodo nos grandes centros urbanos, aliada à necessidade de destinação final adequada, tem gerado sérios problemas ambientais no país. A maior parte do lodo produzida no mundo é destinada à incineração, disposição em aterros e uso agrícola. Dentre as alternativas de reaproveitamento, uma técnica viável é a utilização como adubo orgânico, devido aos nutrientes contidos tornando-o um insumo com elevado valor econômico. O objetivo desse trabalho foi caracterizar o lodo proveniente de estações de tratamento de esgotos sanitários situadas na Região Metropolitana de Fortaleza, visando à utilização na agricultura e possibilitando rotas alternativas para seu destino final. Foram realizadas coletas mensais de lodo no período de agosto a novembro de 2013. Após a coleta, foi realizada a análise dos parâmetros: temperatura, pH, alcalinidade total, condutividade elétrica, Alcalinidade de Ácidos Voláteis (AAV), Ácidos Graxos Voláteis (AGV), peso específico, teor de umidade, série de sólidos e nitrogênio, fósforo total, Demanda Química de Oxigênio (DQO), além de Coliforme total e *Escherichia coli* e substâncias inorgânicas (metais pesados e alguns nutrientes). Os resultados obtidos indicam que os lodos contêm nutrientes, como nitrogênio e fósforo, necessários ao crescimento das plantas, podendo ser utilizados como forma de reciclagem na agricultura, proporcionando um destino ambientalmente favorável, desde que passe por um tratamento adequado para a remoção ou redução dos patógenos antes de sua aplicação. Todos os lodos apresentaram-se estáveis para fins de utilização agrícola, visto que no estudo foi encontrada uma relação SV/ST menor que 0,70. De acordo com a concentração de metais pesados, eles poderiam ser utilizados na agricultura, pois apresentaram baixos valores em relação aos limites estabelecidos na legislação brasileira, porém, há restrição, apenas, ao lodo séptico, devido à faixa de concentração do zinco exceder o limite máximo de concentração permitido pela Resolução CONAMA Nº 375/2006.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, lodo séptico, reúso agrícola, nutrientes, reator UASB.

ABSTRACT

The high production of sludge in large urban centers, coupled with the need for proper disposal has caused serious environmental problems in the country. Most of the sludge produced in the world is destined for incineration, landfilling and agricultural use. Among the alternatives to reuse a viable technique is to use as organic fertilizer because the nutrients contained making it an input with high economic value. The aim of this work was to characterize the sludge from the wastewater treatment plants located in the Metropolitan Region of Fortaleza order to use in agriculture and providing alternative routes to their final destination. Monthly samples of sludge were carried out from august to november 2013. After collecting, parameter analysis was performed: temperature, pH, total alkalinity, conductivity, Alkalinity of Volatile Acids (AVA), Volatile Fatty Acids (VFA), specific weight, moisture content, solids and nitrogen, total phosphorus, chemical oxygen demand (COD), and Total Coliform and *Escherichia coli* and inorganic substances (heavy metals and some nutrients). The results indicate that the sludge contains nutrients such as nitrogen and phosphorus necessary for the growth of plants and may be used as a form of recycling in agriculture, providing an environmentally favorable target, provided that pass through a suitable treatment for the removal or reduction of pathogens before its application. All sludges exhibited stable for agricultural use, whereas in one study SV / ST ratio less than 0.70 was found. According to the concentration of heavy metals, they could be used in agriculture, as had lower values than the limits established by Brazilian law, however, there restriction, just because of the septic sludge concentration range of zinc exceeds the limit maximum concentration permitted by CONAMA Resolution 375/2006.

Keywords: Sewage sludge, septic sludge, agricultural reuse, nutrients, UASB reactor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução percentual das principais variáveis do esgotamento sanitário no Brasil - 2000/2008	20
Figura 2 - Esquema representativo de um reator UASB	26
Figura 3 - Aspecto e coloração do lodo " <i>in natura</i> "	27
Figura 4- Distribuição dos sólidos do lodo segundo o tamanho e a fração orgânica	29
Figura 5 - Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos no processo de digestão anaeróbia.....	38
Figura 6 - Vista paronâmica da ETE - PEQUENO MONDUBIM/Cagece, Fortaleza, CE.....	54
Figura 7 - Mapeamento da ETE - ARACAPÉ III	56
Figura 8 - Vista panorâmica da ETE - PAJUÇARA, Maracanaú - CE.....	57
Figura 9 - Lodo de esgoto da ETE - PAJUÇARA.....	58
Figura 10 - Ilustração dos pontos de coleta das amostras de lodo.....	59
Figura 11 - Etapas da pesquisa	60
Figura 12 - Tratamento das amostras de lodo de esgoto para análises físico-químicas	62
Figura 13 – A: Seladora utilizada na selagem das cartelas, B: Incubadora utilizada para incubar as amostras.....	64
Figura 14 - Cartelas com resultados positivos.....	65
Figura 15 - Ilustração forno micro-ondas (Digestor MARS)	66
Figura 16 - Ilustração do espectrômetro utilizado para quantificação de metais	67
Figura 17 – Gráfico de Tukey para temperatura.....	71
Figura 18 – Gráfico de Tukey para pH.....	72
Figura 19 – Gráfico de Tukey para condutividade elétrica	73
Figura 20 – Gráfico de Tukey para Alcalinidade Total (Alc.T).....	74
Figura 21 – Gráfico de Tukey para AAV	75
Figura 22 – Gráfico de Tukey para AGV	76
Figura 23 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para temperatura em amostras de lodo da RMF.....	77
Figura 24 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para pH em amostras de lodo da RMF ...	78
Figura 25 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para condutividade elétrica em amostras de lodo da RMF	79
Figura 26 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para alcalinidade total em amostras de lodo da RMF.....	80

Figura 27 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Alcalinidade de Ácidos Voláteis (AAV) em amostras de lodo da RMF.....	81
Figura 28 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Ácidos Graxos Voláteis (AGV) em amostras de lodo da RMF.....	81
Figura 29 – Gráfico de Tukey para Sólidos Totais (ST) e Sólidos Totais Fixos (SF)	83
Figura 30 – Gráfico de Tukey para Sólidos Totais Voláteis (SV)	84
Figura 31 – Gráfico de Tukey para Teor de Umidade (TU) das amostras de lodo	85
Figura 32 – Gráfico de Tukey para Poder Específico do Lodo (PEL)	86
Figura 33 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para peso específico do lodo (PEL) e teor de umidade (TU) das amostras de lodo da RMF.....	87
Figura 34 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para sólidos totais fixos (SF) e sólidos totais voláteis (SV) das amostras de lodo da RMF.....	88
Figura 35 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Sólidos Totais (ST) das amostras de lodo da RMF.....	89
Figura 36 – <i>Box-plot</i> com percentis de 25% e 75% para relação entre sólidos voláteis (SV) e sólidos totais (ST) das amostras de lodo da RMF	90
Figura 37 – Frações voláteis e fixas dos sólidos nas amostras de lodo.....	91
Figura 38 – Gráfico de Tukey para Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	93
Figura 39 – Gráfico de Tukey para Nitrogênio Orgânico (Norg).....	94
Figura 40 – Gráfico de Tukey para Nitrogênio amoniacal (N.NH ₃)	95
Figura 41 – Gráfico de Tukey para Fósforo Total (Pt).....	96
Figura 42 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para NTK e Nitrogênio Orgânico em amostras de lodo da RMF.....	97
Figura 43 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Nitrogênio amoniacal (N.NH ₃) em amostras de lodo da RMF.....	98
Figura 44 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Fósforo Total (Pt) em amostras de lodo da RMF.....	99
Figura 45 – Gráfico de Tukey para DQO total.....	100
Figura 46 – Gráfico de Tukey para DQO filtrada	101
Figura 47 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para DQO total (DQOt) e filtrada (DQOf) das amostras de lodo da RMF.....	102
Figura 48 - Análise de Componente Principal dos atributos físico-químicos: diagrama de ordenação das amostras (<i>scores</i>) e formação de grupos de amostras semelhantes (a) e	

diagrama de ordenamento das variáveis (<i>loadings</i>) (b) levando-se em consideração as componentes principais 1 e 2.....	104
Figura 49 – Gráfico com variação nas concentrações médias de Coliformes Totais e <i>E.coli</i> nas amostras de lodo	107
Figura 50 – Gráfico de Tukey para metais pesados e nutrientes	109
Figura 51 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentrações de cobre e zinco em amostras de lodo da RMF.....	110
Figura 52 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentrações de macronutrientes (potássio e magnésio)	113
Figura 53 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentração de macronutriente (cálcio).....	114
Figura 54 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentrações de ferro, alumínio e vanádio	115
Figura 55 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentração de sódio.....	116
Figura 56 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentração de manganês	117
Figura 57 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentrações de substâncias inorgânicas.....	118
Figura 58 - Análise de Componente Principal para substâncias inorgânicas: diagrama de ordenação das amostras (<i>scores</i>) e formação de grupos de amostras semelhantes (a) e diagrama de ordenamento das variáveis (<i>loadings</i>) (b) levando-se em consideração as componentes principais 1 e 2.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de atendimento com água e esgotos dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2011, segundo a região geográfica e Brasil.....	21
Tabela 2 - Produção de lodo em diferentes tipos de tratamento de esgoto sanitário.....	23
Tabela 3 - Concentração de alguns microrganismos presentes no lodo de esgoto.....	35
Tabela 4 - Valor limite da concentração de metais pesados para uso agrícola segundo a Proposta do Paraná	49
Tabela 5 - Valor limite para ovos viáveis de helmintos e coliformes fecais	49
Tabela 6 - Concentração máxima aceitável de metais pesados (mg/ Kg base seca) permitida no lodo de esgoto a ser aplicado de acordo com Brasil, Estados Unidos e Europa	50
Tabela 7 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos de acordo com a Resolução CONAMA 375/2006	51
Tabela 8 - Parâmetros e metodologias de análises físico-químicas em amostras de lodo de esgoto.....	61
Tabela 9 – Parâmetros operacionais do ICP-OES	67
Tabela 10 – Resultado da análise de variância ANOVA para os parâmetros físico-químicos utilizando o programa R, com 3 graus de liberdade para os parâmetros e 8 para os resíduos .	69
Tabela 11 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de temperatura em amostras de lodo	70
Tabela 12 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de pH em amostras de lodo	71
Tabela 13 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de condutividade elétrica	72
Tabela 14 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias Alcalinidade Total (Alc.T)	73
Tabela 15 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias da Alcalinidade de Ácidos Voláteis (AAV)	75
Tabela 16 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para concentração de AGV	76
Tabela 17 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Sólidos Totais (ST) e Sólidos Totais Fixos (SF)	82
Tabela 18 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Sólidos Totais Voláteis (SV).....	83

Tabela 19 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Teor de Umidade (TU) das amostras de lodo.....	84
Tabela 20 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Poder Específico do Lodo (PEL).....	85
Tabela 21 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK).....	92
Tabela 22 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Nitrogênio Orgânico (Norg)	93
Tabela 23 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Nitrogênio amoniacal (N.NH ₃).....	94
Tabela 24 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Fósforo Total (Pt)	95
Tabela 25 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para DQO total	100
Tabela 26 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para DQO filtrada ..	101
Tabela 27 – Concentrações médias de Coliformes Totais e <i>E.Coli</i> nas amostras de lodo “ <i>in natura</i> “	106
Tabela 28 – Resultado da análise de variância ANOVA para todos os metais pesados e nutrientes utilizando o programa R, com 3 graus de liberdade para os parâmetros e 8 para os resíduos.....	108
Tabela 29 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de metais pesados e nutrientes em amostras de lodo	108
Tabela 30 – Concentração, em mg/kg, de molibdênio em amostras de lodo	111
Tabela 31 – Limites das concentrações de metais pesados preconizados por Brasil (2006a) e USEPA (1993).....	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAV	Alcalinidade de Ácidos Voláteis
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	Ácidos Graxos Voláteis
AT	Alcalinidade Total
Cagece	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAM – DF	Conselho do Meio Ambiente do Distrito Federal
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CT	Coliformes Totais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DD	Lodo de decanto-digestor da ETE – PEQUENO MONDUBIM
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
HPAs	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LABOSAN	Laboratório de Saneamento
LUA	Lodo de reator UASB da ETE – ARACAPÉ III
LUP	Lodo de reator UASB da ETE – PAJUÇARA
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NBR	Norma Brasileira
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
PCBs	Bifenilos Policlorados
PEL	Poder Específico do Lodo
PFCs	Compostos Perfluorados
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RAFA	Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e manda de lodo
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SS	Sólidos em Suspensão
ST	Sólidos Totais
STF/SF	Sólidos Totais Fixos ou Sólidos Fixos
STV/SV	Sólidos Totais Voláteis ou Sólidos Voláteis
TS	Lodo de Tanque Séptico
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 PANORAMA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL	19
3.2 TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS E GERAÇÃO DE LODO.....	21
3.2.1 <i>Decanto-digestores ou tanques sépticos</i>	23
3.2.2 <i>Reator UASB</i>	25
3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS LODOS	26
3.3.1 <i>Classificação quanto á formação</i>	27
3.3.2 <i>Classificação quanto ao teor de umidade</i>	28
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS	28
3.4.1 <i>Metais pesados</i>	33
3.4.2 <i>Características microbiológicas</i>	34
3.4.3 <i>Contaminantes orgânicos</i>	35
3.5 TRATAMENTO DO LODO DE ESGOTO.....	36
3.5.1 <i>Adensamento ou espessamento</i>	37
3.5.2 <i>Estabilização</i>	37
3.5.3 <i>Condicionamento</i>	39
3.5.4 <i>Desidratação ou desaguamento</i>	40
3.5.5 <i>Higienização</i>	41
3.6 ALTERNATIVAS PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DE LODOS GERADOS EM ETE'S.....	42
3.6.1 <i>Aterro Sanitário</i>	43
3.6.2 <i>Disposição oceânica</i>	43
3.6.3 <i>Reúso Industrial</i>	44
3.6.4 <i>Incineração</i>	44
3.6.5 <i>Recuperação de áreas degradadas</i>	45
3.6.6 <i>Reciclagem agrícola e florestal</i>	45

3.7	LEGISLAÇÃO APLICADA AO USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO	47
3.8	IMPACTOS AMBIENTAIS DO USO DE LODO NA AGRICULTURA.....	52
4	MATERIAL E MÉTODOS	54
4.1	LOCAIS DAS COLETAS	54
4.1.1	<i>Estação de Tratamento de Esgoto e Estação Elevatória – PEQUENO MONDUBIM</i>	<i>54</i>
4.1.2	<i>Estação de Tratamento de Esgoto e Estação Elevatória – ACARAPÉ III.....</i>	<i>55</i>
4.1.3	<i>Estação de Tratamento de Esgoto – PAJUÇARA</i>	<i>56</i>
4.1.4	<i>Estação de Tratamento de Esgoto - NOVA METRÓPOLE.....</i>	<i>58</i>
4.2	COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	59
4.3	METODOLOGIAS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	60
4.4	METODOLOGIA DE ANÁLISE MICROBIOLÓGICA	62
4.5	METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS.....	66
4.6	ANÁLISE DOS DADOS	68
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
5.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	69
5.1.1	<i>Temperatura, pH, condutividade elétrica (CE), alcalinidade total, Alcalinidade de Ácidos Voláteis (AAV) e Ácidos Graxos Voláteis (AGV)</i>	<i>70</i>
5.1.2	<i>Série de Sólidos, teor de umidade e peso específico do lodo</i>	<i>82</i>
5.1.3	<i>Série de nitrogênio e fósforo total</i>	<i>92</i>
5.1.4	<i>Demanda Química de Oxigênio (DQO).....</i>	<i>100</i>
5.2	CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA	106
5.3	CARACTERIZAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	108
5.3.1	<i>Metais pesados contidos na CONAMA 375</i>	<i>109</i>
5.3.2	<i>Metais pesados não inseridos na CONAMA 375</i>	<i>113</i>
6	CONCLUSÕES.....	121
7	RECOMENDAÇÕES.....	122
	REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

Como subproduto do tratamento do esgoto, o lodo é considerado um dos maiores problemas de saneamento no Brasil, em virtude da dificuldade de disposição final adequada deste resíduo pelas estações de tratamento dos esgotos. É crescente a produção de lodo em consequência da ampliação da cobertura de coleta e do tratamento de esgotos, nos centros urbanos, dada a pressão da comunidade por melhores condições ambientais e de vida.

O destino final do lodo tem se tornado uma preocupação mundial, pois exige uma alternativa segura em termos de saúde pública e ambientalmente aceitável. Embora sua gestão seja bastante complexa e corresponda entre 20 e 60% dos custos operacionais de uma ETE, o planejamento e execução do destino final têm sido negligenciados nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

A importância do gerenciamento do lodo de esgoto foi reconhecida pela Agenda 21, principal instrumento aprovado na Conferência Mundial de Meio Ambiente - Rio 92, que incluiu no seu capítulo 21 o tema “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos”. Este capítulo define quatro programas prioritários: a redução da produção de resíduos, o aumento ao máximo da reutilização e reciclagem, a promoção de depósitos e tratamento ambientalmente saudável e finalmente a ampliação do alcance dos serviços que se ocupam com os resíduos.

A elevada produção de lodo aliada à necessidade de destinação final adequada tem gerado sérios problemas ambientais no país. Mais de 90% do lodo produzido no mundo tem três principais formas de disposição final: incineração, disposição em aterros e uso agrícola (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). No Brasil, a maior parte do lodo gerado é disposta em aterro sanitário.

A Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e preconiza o tratamento e o reaproveitamento dos resíduos sólidos, permitindo somente a disposição em aterros sanitários de resíduos considerados inservíveis, que não é o caso do lodo proveniente de esgotos sanitários. Assim, numa perspectiva de realizar estudos que viabilizem alternativas de tratamento e/ou disposição final sanitária e ambientalmente adequada para o lodo de esgoto, realiza-se esta pesquisa.

Assim, o presente trabalho consiste em caracterizar o lodo de esgoto visando à utilização na agricultura, possibilitando rotas alternativas para seu destino final, que não seja o aterro sanitário, visto que esta prática estará comprometida de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Realizar a caracterização física, química e microbiológica de lodo proveniente de estações de tratamento de esgotos sanitários da Região Metropolitana de Fortaleza – CE e do lodo de fossa séptica, visando à utilização na agricultura.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar os parâmetros físico-químicos de lodo de fossa séptica e lodo gerado em estações de tratamento de esgoto coletados na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF);
- Quantificar os parâmetros microbiológicos por meio da presença de coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*) para lodo de fossa séptica e lodo gerado em estações de tratamento de esgoto coletados na RMF;
- Verificar a presença de metais pesados em lodo de fossa séptica e em lodo gerado em estações de tratamento de esgoto coletados na RMF;
- Avaliar os lodos citados acima quanto a sua adequação para aplicação na agricultura, mediante os limites preconizados na legislação brasileira.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Panorama do Saneamento Básico no Brasil

O crescimento contínuo da população e das necessidades de consumo têm gerado problemas em termos de disponibilidade e qualidade da água, visto que a rápida urbanização resulta em aumento dos volumes de águas residuais. A atual situação brasileira em relação aos serviços de saneamento básico ainda é bastante deficiente, contribuindo para agravar os problemas decorrentes da industrialização, urbanização e aumento populacional.

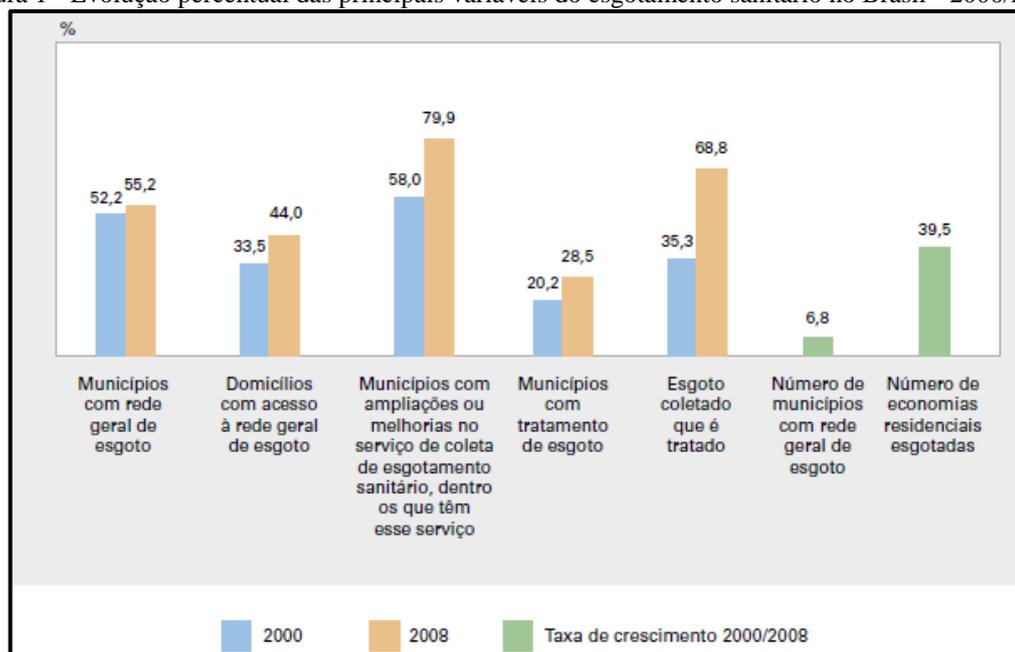
O acesso ao saneamento básico é uma ferramenta primordial para uma boa qualidade de vida, visto que sua ausência resulta em poluição dos recursos hídricos, contribuindo para o aumento de doenças de veiculação hídrica e tornando-se um problema de saúde pública. Segundo a Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio (PNAD) de 2012, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), 85,4% dos domicílios têm acesso à rede geral de abastecimento de água e 88,8% possui serviço de coleta de lixo. Em contrapartida, os domicílios com serviço de rede coletora ou fossa séptica ligada à rede representam 63,2%, apresentando precariedade em relação aos demais setores do saneamento e demonstrando a necessidade de investimentos na área de saneamento para ampliar a oferta de esgotamento sanitário visando melhorar a qualidade de vida.

De acordo com a pesquisa mencionada, as regiões Norte e Nordeste apresentaram menores índices de domicílios com acesso à rede de coleta de esgoto sanitário ou fossa séptica ligada à rede de coleta, com 18,3% e 40,9%, respectivamente. Já as regiões Sul e Sudeste apresentaram maiores percentuais de domicílios atendidos com sistemas de esgotamento sanitários ou fossa séptica, sendo, respectivamente, 61% e 87,8%. Enquanto que os domicílios da região Centro-Oeste são atendidos em 46,1% com relação à coleta de esgoto ou fossa séptica ligada à rede de coleta.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008, realizada pelo IBGE, foi possível constatar o avanço dos serviços de saneamento básico oferecidos à população brasileira em relação aos dados obtidos pela PNSB de 2000, porém com relação ao sistema de esgotamento sanitário feito por rede coletora, a situação revelou-se ainda bastante preocupante, pois se verificou a ausência de rede coletora em 2495 municípios brasileiros, sendo o Nordeste a região mais crítica com relação à falta de rede de coleta de esgoto sanitário, atingindo aproximadamente 15,3 milhões de habitantes (IBGE, 2010).

Diante desse cenário, construíram-se fossas sépticas como principal medida alternativa para suprir a inexistência de rede coletora de esgoto. Essa medida corretiva implicou na redução do lançamento dos dejetos em fossas secas, valas a céu aberto e em corpos d'água minimizando os impactos ambientais decorrentes da falta desse serviço, porém estando, ainda, longe do desejável. A Figura 1 mostra a evolução, em termos percentuais, das principais variáveis do esgotamento sanitário no Brasil entres os anos de 2000 a 2008.

Figura 1 - Evolução percentual das principais variáveis do esgotamento sanitário no Brasil - 2000/2008



Fonte: IBGE (2010).

Os dados da Figura 1 mostram o avanço em diversos seguimentos do sistema de esgotamento sanitário com aumento do número de municípios com acesso a esse serviço, representando um acréscimo de 6,8% no período de 2000 a 2008.

De acordo com os dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), é possível perceber, na Tabela 1, que os índices médios nacionais de atendimento da população total, identificados pelo SNIS em 2011, foram de 82,4% para abastecimento de água e de 48,1% para coleta de esgotos (SNIS, 2013).

Tabela 1 - Níveis de atendimento com água e esgotos dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2011, segundo a região geográfica e Brasil

Região	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos gerados (%)
	Água		Coleta de esgotos		
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	54,6	67,9	9,6	11,8	12,7
Nordeste	71,2	89,4	21,3	28,4	30,1
Sudeste	91,5	96,7	73,8	78,8	41,2
Sul	88,2	96,8	36,2	42,0	34,6
Centro-Oeste	87,3	96,0	47,5	52,0	44,0
Brasil	82,4	93,0	48,1	55,5	37,5

Fonte: SNIS (2013).

Considerando somente a população urbana, os dados evidenciaram um elevado atendimento pelos serviços de água, com índice médio nacional igual a 93,0%, enquanto que na coleta de esgotos esse índice foi de 55,5%. Em contrapartida, apenas 37,5% dos esgotos gerados são tratados, afetando negativamente a qualidade dos recursos hídricos e contribuindo para aumentar o índice de doenças por veiculação hídrica (SNIS, 2013).

Em relação aos indicadores médios nacionais de esgotamento sanitário, houve, em comparação com 2010, oscilação positiva no índice de coleta de esgotos, igual a 1,9%. Por sua vez, o indicador médio nacional de tratamento dos esgotos gerados sofreu, em 2011, uma pequena queda de 0,4%, quando comparado a 2010 (SNIS, 2013).

3.2 Tratamento de esgotos sanitários e geração de lodo

Os esgotos domésticos ou domiciliares provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização de água para fins domésticos (JORDÃO; PESSOA, 2005).

De maneira geral, a produção de esgoto corresponde aproximadamente ao consumo de água. No entanto, a fração de esgoto que adentra a rede coletora pode variar devido a vários fatores como ligações clandestinas na rede de esgoto e infiltração (NUVOLARI, 2011; VON SPERLING, 2005).

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos, podendo conter organismos patogênicos, dependendo da saúde da população contribuinte. Podem ainda conter poluentes tóxicos, em especial fenóis e metais pesados, decorrentes da mistura com efluentes industriais (NUVOLARI, 2011; VON SPERLING, 2005).

De acordo com Nuvolari (2011), o tratamento de esgoto visa à prevenção, o controle e a erradicação de doenças de veiculação hídrica, além de promover a melhoria da qualidade de vida da população, através da eliminação de odores desagradáveis e de fatores que prejudicam o aspecto visual e a estética das águas naturais.

O processo de tratamento dos esgotos é formado por uma série de operações unitárias que são empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis, ou para a transformação destas substâncias em outras de forma aceitável (JORDÃO; PESSOA, 2005). Segundo Von Sperling (2005), ele é classificado através dos níveis preliminar, primário, secundário e eventualmente terciário.

O tratamento preliminar remove apenas sólidos grosseiros e areia, no qual o gradeamento promove a remoção de sólidos grosseiros e os desarenadores removem a areia pelo processo de sedimentação, nos quais os grãos de areia vão para o fundo do tanque, ocorrendo à separação da areia contida nos esgotos.

O tratamento primário visa à remoção dos sólidos em suspensão, materiais flutuantes e parte da matéria orgânica. O esgoto flui através de decantadores, permitindo que os sólidos que possuem uma densidade maior que a da massa líquida sedimente, gradualmente, no fundo. As partículas que sedimentam, ao se acumularem no fundo do decantador, formam o chamado lodo primário. Esse lodo apresenta-se com grande percentagem de matéria orgânica ainda não estabilizada (putrescível), necessitando passar por processos de digestão (NUVOLARI, 2011; VON SPERLING, 2005).

O tratamento secundário tem como objetivo a remoção da matéria orgânica que pode apresentar-se na forma de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos ou particulados, que se dá por processos biológicos de estabilização da matéria orgânica. Lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, lodos ativados e disposição sobre o solo, são exemplos desse tipo de tratamento. Nessa etapa é formado o lodo secundário ou lodo biológico.

O tratamento terciário promove a remoção de poluentes específicos ou ainda, a remoção complementar de poluentes que não foram suficientemente removidos no tratamento secundário.

Basicamente, as fontes de geração de lodo em uma estação de tratamento de esgoto são as unidades de operações primárias, secundárias ou biológicas e os processos de tratamento de lodo. A Tabela 2 mostra a produção de lodo nos diversos tipos de tratamento.

Tabela 2 - Produção de lodo em diferentes tipos de tratamento de esgoto sanitário

Tipo de tratamento	Quantidade de lodo produzido ($m^3 \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$)
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	0,01 a 0,04
Lagoa aerada facultativa	0,03 a 0,08
Filtro biológico (baixa e alta carga)	0,4 a 1,5
Reator anaeróbio de manta de lodo	0,07 a 0,1
Fossa séptica – filtro anaeróbio	0,07 a 0,1
Lodos ativados convencionais	1,1 a 1,5

Fonte: Ferreira; Andreoli; Jürgensen (1999).

3.2.1 *Decanto-digestores ou tanques sépticos*

A ausência de serviços públicos de esgotos sanitários nas áreas urbanas e rurais exige a implantação de algum meio de disposição dos esgotos locais visando evitar a contaminação do solo e da água.

Atualmente, o uso de tanques sépticos é bastante comum nas regiões brasileiras, não somente em comunidades rurais como também nos grandes centros urbanos. Nestes, o seu uso está associado à inexistência de sistemas coletivos para coleta, tratamento e disposição final de esgotos sanitários (LEITE; INGUNZA; ANDREOLI, 2006).

O decanto-digestor foi concebido em 1872, na França, por Jean Louis Mouras, o qual consistia em um tanque hermético no qual os esgotos entravam e saíam através de tubulações submersas na massa líquida. Através desse sistema era possível reter a matéria sólida contida nos esgotos, evitando colmatar e impermeabilizar o solo. Após 12 anos percebeu-se que o volume de sólidos acumulado no tanque era menor do que ele havia imaginado. Em 1896, o engenheiro Donald Cameron, na Grã-Bretanha, patenteou um decantado-digestor que denominou “tanque séptico” (LEITE; INGUNZA; ANDREOLI, 2006; JORDÃO; PESSOA, 2005).

De acordo com Von Sperling (2005), os tanques sépticos são basicamente decantadores, no qual os sólidos sedimentáveis são removidos para o fundo, constituindo o lodo, o qual permanece no fundo dos tanques por um tempo suficiente para sua estabilização, que se dá em ambiente anaeróbio. Assim os tanques sépticos são também chamados de decanto-digestores.

Os decanto-digestores ou tanques sépticos são unidades de tratamento primário físico e biológico, que detêm os esgotos domésticos por um período que permita a decantação dos sólidos e a retenção do material graxo, transformando-o em compostos mais estáveis. Eles, geralmente, consistem em uma câmara cuja função é permitir a sedimentação, armazenamento de sólidos sedimentáveis (lodo) e a sua digestão (LEITE; INGUNZA; ANDREOLI, 2006; NUVOLARI, 2011). No tanque ocorre a degradação da matéria orgânica, formando nitritos, nitratos, carbonatos, sulfetos, sulfatos e fosfatos que são depositados no fundo do tanque de digestão na forma de lodo.

Segundo Jordão e Pessoa (2005), os decanto-digestores têm como principais objetivos impedir a poluição de mananciais, águas subterrâneas e de cursos d'água; alterações das condições de vidas aquáticas e não prejudicar as condições de balneabilidade de locais de recreio e esporte.

A grande vantagem dos tanques sépticos é a simples construção e operação, além de baixos custos. Sua eficiência situa-se entre 40 e 70% na remoção da demanda bioquímica (DBO) ou química (DQO) de oxigênio e 50 a 80% na remoção dos sólidos suspensos (HARTMANN *et al.*, 2009). De acordo com Batalha (1986), a eficiência situa-se em 40 a 60% na remoção de DBO, 30 a 60% na remoção de DQO, 50 a 70% de remoção de sólidos sedimentáveis e 70 a 90% de remoção de óleos e graxas. Vieira e Sobrinho (1983) mostraram que a eficiência de remoção de DBO é em torno de 62%, a remoção de DQO é aproximadamente 57%, a remoção de sólidos sedimentáveis é 56% e a remoção de coliformes totais (CT) é em torno de 55%. Devido a essas reduzidas taxas de remoção, os efluentes finais possuem mau cheiro, grande quantidade de sólidos, organismos patogênicos, nutrientes e DBO ainda elevada.

De acordo com a norma brasileira NBR 13969 de 1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as alternativas para tratamento complementar aos sistemas de tanques sépticos são: filtro anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente; filtro aeróbio submerso; valas de filtração e filtros de areia; lodo ativado por batelada; e lagoa com plantas aquáticas. Podem ser utilizados, também, filtros anaeróbios, que são uma das associações mais vantajosas para pós-tratamento dos efluentes dos tanques sépticos (VON SPERLING, 2005).

No entanto, a disposição inadequada de lodo séptico implica na contaminação do solo e dos recursos hídricos, devido à presença de nutrientes, matéria orgânica, poluentes inorgânicos e organismos patogênicos. Favorecendo, também, a criação de locais adequados para a proliferação de vetores e a disseminação de doenças (HARTMANN *et al.*, 2009).

3.2.2 Reator UASB

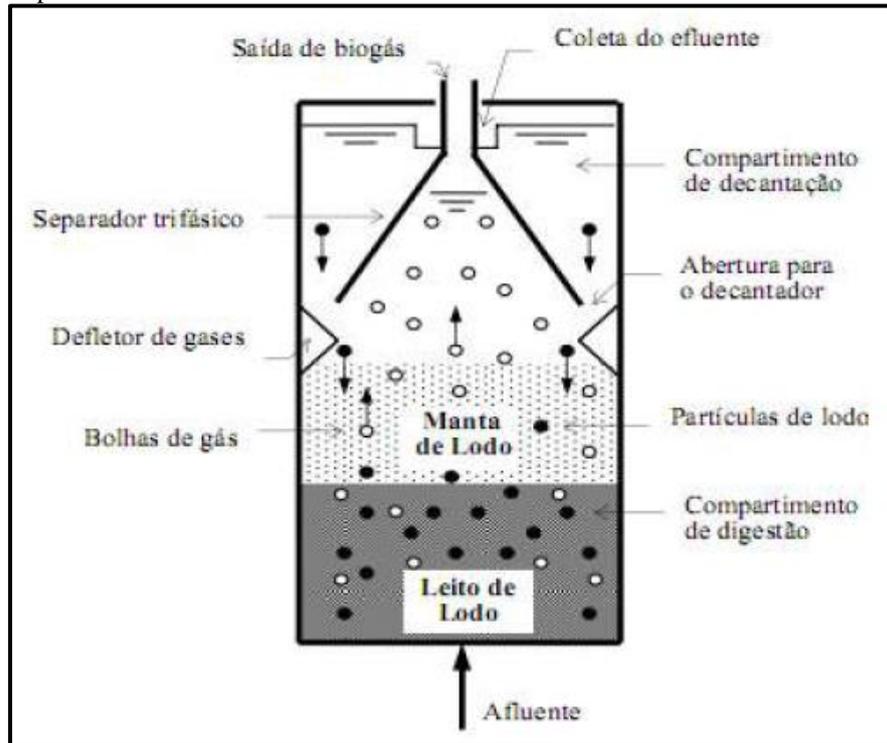
O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) - reator anaeróbio de manta de lodo, é também denominado de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e de Manta de Lodo (RAFA). Esse reator foi inicialmente desenvolvido e aplicado largamente na Holanda e atualmente é considerada a principal tendência de tratamento de esgotos no Brasil, seja como unidades únicas ou seguidas de formas de pós-tratamento. O processo consiste em um fluxo ascendente de esgotos por meio de um leito de lodo denso e de elevada atividade (CHERNICHARO, 1997; VON SPERLING, 2005).

Segundo Sobrinho (2001), o reator UASB possui uma câmara de reação em sua parte inferior onde se desenvolve uma manta de lodo com elevada concentração de microrganismos anaeróbios onde a matéria orgânica é, normalmente, utilizada por esses microrganismos. Nesses sistemas, a biomassa cresce aderida ao meio, formando flocos ou grânulos densos suspensos.

Conforme é observado na Figura 2, o esgoto entra no fundo do reator, de forma ascendente, e se encontra com o leito de lodo, causando adsorção de grande parte da matéria orgânica pela biomassa, e o efluente é eliminado do reator através de um decantador interno localizado na parte superior. Como resultado da atividade anaeróbia, são formados gases (principalmente metano e gás carbônico). A parte superior dos reatores UASB apresenta um separador trifásico que possibilita a separação e acúmulo de gás e de separação e retorno da biomassa impedindo que ela saia com o efluente. O gás é coletado no compartimento de gases localizado na parte superior, de onde pode ser retirado para ser reaproveitado ou queimado (CHERNICHARO, 1997; VON SPERLING, 2005). Os sólidos sedimentam no compartimento de decantação, localizado na parte superior.

A contínua entrada e alimento no reator UASB favorece o contínuo crescimento de lodo, porém sua produção nesses reatores é consideravelmente baixa e o mesmo já sai digerido, podendo simplesmente ser desidratado.

Figura 2 - Esquema representativo de um reator UASB



Fonte: Chernicharo (1997).

A eficiência de reatores UASB situa-se, segundo Von Sperling (2005), em remoção da DBO, em torno de 70%. De acordo com Chernicharo (1997), a eficiência de remoção de DQO situa-se entre 40 a 80%, enquanto que para remoção de DBO varia de 40 a 90%. Segundo pesquisa realizada por Passamani *et al.* (1999), a eficiência de remoção de DQO foi de 79%, enquanto que a remoção de DBO encontrada foi de 79%, remoção de 76% de sólidos suspensos totais e eficiências médias de remoção de coliformes fecais em torno de 84,3%. Em relação à análise parasitológica, apresentou eficiência de remoção da ordem de 87,5%.

3.3 Classificação dos lodos

Os sistemas de tratamento de esgotos sanitários geram duas fases: uma denominada fase líquida, que corresponde ao efluente líquido tratado, e outra que se constitui de uma mistura de sólidos com água, denominada lodo, que sofre posterior tratamento e estabilização.

O lodo que sai da estação de tratamento de esgoto, também denominado lodo “*in natura*”, constitui-se de forma praticamente líquida, o qual corresponde a aproximadamente 1% do esgoto sanitário, constituindo entre 98% a 99% de água e apresentando coloração semelhante ao petróleo cru (Figura 3). A denominação de lodo é genérica para os sólidos que

se acumulam no sistema de tratamento de esgoto, sendo uma mistura de matéria orgânica e inorgânica (GEYER, 2001).

Figura 3 - Aspecto e coloração do lodo "in natura"



Fonte: A autora (2014).

3.3.1 Classificação quanto á formação

Os lodos podem ser classificados, quanto a sua formação, em quatro tipos: lodos primários, secundários ou biológicos, mistos e químicos.

Os lodos removidos nos decantadores primários ou em flotadores são denominados lodos primários. O lodo secundário corresponde aos sólidos em suspensão formados na etapa biológica de tratamento e os microrganismos gerados nos reatores biológicos nas estações de tratamento de esgoto de lodo ativado e filtração biológica, sendo, geralmente, removidos nos decantadores secundários, fazendo jus ao nome (GEYER, 2001; LESSA, 2005).

O lodo misto é gerado pela mistura do lodo secundário com o lodo primário. Em sistemas de tratamento onde se utiliza etapa físico-química para melhorar o desempenho do decantador primário ou para dar um polimento ao efluente secundário, tem-se o lodo químico (GEYER, 2001; MUSSE, 2007).

3.3.2 Classificação quanto ao teor de umidade

De acordo com a Companhia de Saneamento do Paraná (GEYER, 2001), os lodos são classificados, de acordo com o grau de umidade, em quatro grupos: lodos “*in natura*”, lodo parcialmente desidratado, lodo seco e lodo incinerado. O lodo “*in natura*” corresponde ao lodo retirado logo após o processo de tratamento de esgoto e que apresenta um teor de umidade médio de 98%.

O lodo parcialmente desidratado é aquele que passa por um processo de desidratação, seja mecânico ou natural, como, por exemplo, centrifugação e secagem em leito de secagem, respectivamente. Nessa fase, o lodo tem aspecto seco, porém apresenta, ainda, elevado teor de umidade (30% a 50%).

Segundo Lessa (2005), o lodo seco constitui-se um material formado por mais de 99% de sólidos, o qual pode ser obtido somente através de processo de secagem artificial em estufas. O lodo incinerado, também denominado cinza de lodo, é a cinza proveniente do processo de incineração do lodo seco e lodo desidratado, que ocorre normalmente em temperaturas que variam entre 550°C e 950°C (GEYER, 2001).

3.4 Caracterização dos lodos

De maneira geral, o lodo de esgoto apresenta uma composição variável, suas características dependem do tipo, processo e grau de tratamento de esgoto e do seu caráter sazonal, do tipo de lodo e de seu processo de tratamento (ALVAREZ *et al.*, 2008).

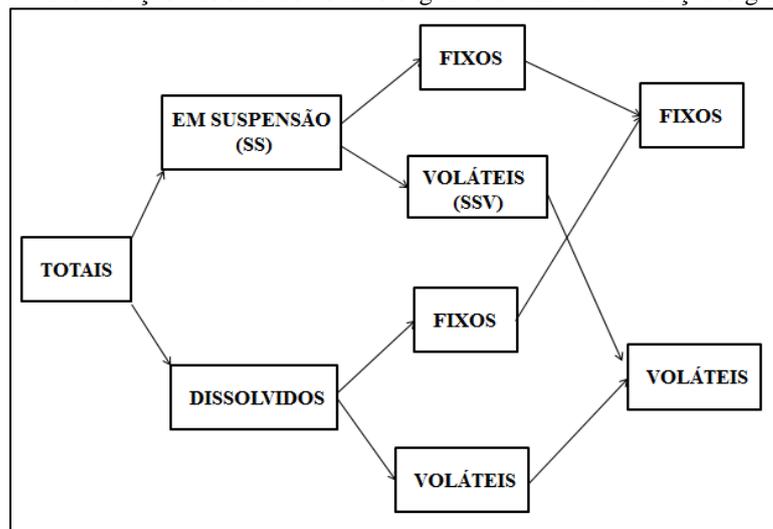
O lodo de esgoto é constituído por água e sólido. De acordo com o Journal of the Institution of Water Environmental Management (1989), possui, normalmente, 98 % de água. Dos sólidos contidos, 70 a 80 % é matéria orgânica, incluindo óleos e graxas. Podem ser encontradas quantidades consideráveis de contaminantes, refletindo as características do esgoto bruto do qual ele foi derivado. O volume de lodo gerado depende de alguns fatores, tais como composição da água residual a ser tratada, do tipo de tratamento, do grau de estabilização ou mineralização, e tipo de processo (VAN VOORNEBURG; VAN VEEN, 1993).

A água presente no lodo pode ser dividida em água livre (parcela de água que fica separada quando os flocos de lodo sofrem sedimentação ou adensamento), água inter-flocos (parcela de água que permanece presa entre os flocos após o término do período de

sedimentação), água adsorvida nos flocos (água adsorvida sobre a superfície do floco e que só pode ser retirada aplicando-se pressão ou vácuo), água inter-partículas (água presa dentro das partículas que pode ser eliminada por ruptura dos flocos de lodo), água adsorvida nas partículas (parcela de água adsorvida sobre a superfície da partícula por tensão superficial, sendo difícil ser eliminada mecanicamente) e água de partícula (corresponde à água quimicamente ligada às partículas orgânicas e só pode ser retirada por combustão) (TSUTIYA, 2001).

Os sólidos totais (ST) presentes no lodo dividem-se em sólidos em suspensão (SS) e sólidos dissolvidos, sendo a maior parcela dos sólidos representada pelos sólidos em suspensão. Com relação à matéria orgânica, os sólidos dividem-se em sólidos fixos ou inorgânicos (SF) e sólidos voláteis ou orgânicos (SV). A Figura 4 ilustra a distribuição dos sólidos segundo suas diversas formas.

Figura 4- Distribuição dos sólidos do lodo segundo o tamanho e a fração orgânica



Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001).

Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), a relação entre os sólidos voláteis e os sólidos totais indica a fração orgânica dos sólidos presentes no lodo, bem como o nível de digestão do lodo. Em lodos não digeridos, a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais (SV/ST) fica entre 0,75 e 0,80, enquanto que em lodos digeridos esses valores encontram-se entre 0,6 e 0,65.

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

doenças. Quanto mais estabilizado é um resíduo menor é a quantidade de sólidos voláteis, reduzindo o valor da relação SV/ST. Lodos mais estabilizados geram menos odor e atraem menos vetores (LEITE; INGUNZA; ANDREOLI, 2006). A amônia é um indicador da estabilidade do resíduo, sendo que quanto maior o seu teor, menor é a degradação que o material sofreu. O tempo em que o lodo fica dentro do decanto-digestor antes de ser removido é o principal responsável pela estabilização do mesmo.

A densidade do lodo depende da distribuição relativa entre as partículas de sólidos fixos, sólidos voláteis e da água no lodo. A temperatura dos lodos pode variar de acordo com o clima, sendo importante a sua medição para definir e ter ideia do tipo de microrganismo presente.

O pH é importante parâmetro de qualidade e de controle operacional de ETE, pois afeta a atividade biológica (sobrevivência de patógenos), a solubilidade das substâncias, a corrosão do material e o grau de toxicidade de certas substâncias e metais presentes no lodo (MENDOZA, 2004). Valores afastados da neutralidade (pH =7) afetam a vida aquática e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico do esgoto (ALMEIDA, 2008). Os valores de pH do lodo de decanto-digestores variam de 6 a 9; os mais recentemente encontrados estiveram na faixa de 7,1 a 7,8. Valores muito extremos de pH podem indicar uma contaminação com efluentes industriais (LEITE; INGUNZA; ANDREOLI, 2006).

Além disso, o pH fornece uma boa informação sobre o estado de decomposição da matéria orgânica; seu aumento favorece a atividade microbiana, aumenta a mineralização da matéria orgânica e conseqüentemente aumenta a disponibilidade de micronutrientes (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2009). O pH alcalino é um importante fator para inativação de microrganismo no lodo (BARROS; COSTA; ANDREOLI, 2006), enquanto que a acidez do lodo implica na necessidade de correção do pH para favorecimento da decomposição.

A composição química do lodo de esgoto é variável, devido a uma série de fatores, como processos de tratamento e pós-tratamento, tipo de composição da matéria orgânica contida no esgoto, das atividades agroindustrias ou atividades misturadas que podem agregar organismos patogênicos e materiais húmicos (SCHOWANEK *et al.*, 2004).

O lodo séptico é composto por diferentes substâncias, dependendo do tipo de resíduo tratado no sistema séptico. Sua composição inclui água, em maior parte, esgoto, material inorgânico, como areia e matéria orgânica fecal, podendo existir menores quantidades de surfactantes, provenientes da limpeza caseira (LEITE; INGUNZA; ANDREOLI, 2006). Ele possui coloração escura e odor característico resultante da presença de gás sulfídrico e outros gases.

Em associação com seu alto teor de matéria orgânica, os lodos contêm consideráveis quantidades de macro e micronutrientes e sais minerais que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (CUKJATI *et al.*, 2012; SHAHEEN *et al.*, 2012). Além disso, a matéria orgânica presente no lodo pode aumentar o conteúdo de húmus, proporcionando melhora na capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão, por estabilizar a estrutura do solo (TSUTIYA, 2001).

A maioria da matéria orgânica é de origem da excreta humana e é uma mistura complexa de gorduras, proteínas, carboidratos, lignina, aminoácidos, açúcares, celulose, material húmico e ácidos graxos, além de muitos microrganismos. Seu aspecto depois de seco se assemelha a terra preta e seu cheiro, quando úmido, é pronunciado e desagradável (SAITO, 2007).

Os lodos possuem cerca de 1 a 6% de nitrogênio (base seca) na forma orgânica e inorgânica. O nitrogênio é composto por nitrogênio amoniacal (NH_4) e nitrogênio na forma de nitrato e nitrito. A disponibilidade de nitrogênio total e de suas formas no lodo pode ser influenciada por vários tipos de processos de estabilização.

A digestão anaeróbia produz um lodo com altos níveis de amônio e pouco nitrato. Para os lodos digeridos anaerobiamente, cerca de 30 a 60% do nitrogênio total está presente na forma de nitrogênio amoniacal, entretanto, para lodo digerido aerobiamente esse valor corresponde a cerca de 5 a 20%. A maior parte do nitrogênio inorgânico em lodo digerido é associada com o sobrenadante e é removida durante a desidratação (WEBBER, 1984 *apud* TSUTIYA, 2001).

A digestão aeróbia produz altos níveis de nitrato. E o processo de desidratação reduz tanto o nitrato quanto o nitrito. Uma boa estabilização é capaz de converter a maior parte do nitrogênio orgânico em nitrogênio inorgânico disponível, deixando apenas o que é relativamente inerte e resistente a mineralização futura (USEPA, 1994).

O nitrogênio orgânico está associado com os sólidos suspensos no tratamento de esgoto e é removido por sedimentação e filtração. Parte do nitrogênio orgânico é hidrolisado a aminoácidos solúveis que pode reduzir-se futuramente a amônia ionizada (METCALF; EDDY, 2003).

O fósforo está presente no lodo em quantidades menores que o nitrogênio, sendo oriundo dos dejetos dos corpos microbianos do esgoto e dos detergentes e sabões que utilizam fosfatos como aditivos. Além disso, o fósforo pode originar-se da decomposição da matéria

orgânica e fazer parte de algumas proteínas existentes nas fezes humanas. O nitrogênio e fósforo são os principais nutrientes presentes no lodo séptico.

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

A concentração de potássio no lodo é muito pequena, pois esse elemento é bastante solúvel na água, não sendo muito citado como uma boa fonte de potássio, devido ao seu baixo teor, não sendo capaz de suprir as necessidades das plantas em relação ao elemento.

O lodo de esgoto sanitário apresenta, ainda, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Dos três macronutrientes, o cálcio encontra-se em maiores concentrações, sendo proveniente das etapas de condicionamento químico usado no tratamento do esgoto ou de processos de higienização do lodo por meio da adição de cal, enquanto que o magnésio provém dos detergentes (CORREIA, 2009; TSUTIYA, 2001).

Um aumento gradual na disponibilidade de Ca e Mg, no solo, tem sido observado pela aplicação do lodo de esgoto. Os solos tropicais e subtropicais, em geral, são tipicamente ácidos, provocando perdas de bases de elementos como Ca, Mg e K (LUCHESE, FAVERO e LENZI, 2002).

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

3.4.1 Metais pesados

Metais pesados são elementos químicos que possuem peso específico maior que 5g/cm^3 ou apresentam número atômico superior a 22 (PIVELI; KATO, 2006). Entretanto, do ponto de vista ambiental, o metal pesado corresponde ao metal que, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferece risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). De acordo com a saúde pública, metais pesados são aqueles que apresentam efeitos adversos à saúde humana. Eles não são degradáveis, podendo acumular-se no ambiente, onde manifestam sua toxicidade. A fixação final dos metais pesados ocorre nos solos e nos sedimentos (BAIRD; CANN, 2011).

A concentração de metais no lodo é muito variável de local para local, tendo em vista os diversos fatores de influência. O lodo de esgoto proveniente do tratamento de esgotos predominantemente domésticos tende a apresentar baixos teores de metais pesados (MELO *et al.*, 2000). Geralmente, os lodos sépticos possuem baixa quantidade de metais e demais poluentes.

Os metais presentes no lodo têm a sua disponibilidade influenciada por reações como adsorção, complexação, precipitação, oxidação e redução. Com exceção do Mo e do Se, a solubilidade dos metais pesados diminui com o aumento do pH. Além disso, a concentração total, a biodisponibilidade e mobilidade dos mesmos são fatores limitantes ao uso do lodo de esgoto na agricultura.

Alguns metais pesados são considerados micronutrientes para as plantas, sendo classificados como essenciais (cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco), benéficos (cobre, níquel e vanádio) e não essenciais ou sem função (alumínio, cádmio, cromo, mercúrio, chumbo etc) (TSUTIYA, 2001).

A aplicação de lodo de esgoto ao solo pode alterar suas propriedades físicas, químicas e biológicas, afetando o desenvolvimento das plantas, podendo melhorar sua nutrição e disponibilidade de água, ou afetar negativamente, quando possui altas concentrações de metais pesados e outros agentes fitotóxicos (MELO *et al.*, 2000).

De acordo com Fernandes (1999), nos lodos de esgotos os metais apresentam-se em diferentes formas, estando predominantemente ligados à fração sólida do resíduo, como, por exemplo, óxidos e matéria orgânica. Portanto, vários estudos têm sido conduzidos para investigar o comportamento dos metais pesados contidos no lodo de esgoto e determinar os seus efeitos nas culturas agrícolas.

3.4.2 Características microbiológicas

Os microrganismos encontrados no lodo podem ser saprófitas, comensais, simbiontes ou parasitos. Dentre os organismos patogênicos presentes no lodo, destacam-se os helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Esses microrganismos ficam absorvidos às partículas sólidas do esgoto sanitário e tendem a precipitar na fase de decantação, concentrando-se no lodo de esgoto (TSUTIYA, 2001).

De acordo com Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), estudos epidemiológicos têm mostrado que bactérias, vírus, ovos de helmintos e cistos de protozoários representam riscos à saúde humana e animal devido à alta frequência de parasitismo encontrada na população, ao longo tempo de sobrevivência no meio externo para os helmintos e à dose infectante.

A quantidade de patógenos presentes no lodo é bastante variável e depende das condições socioeconômicas da população, das condições sanitárias da região, da presença de indústrias agroalimentares e do tipo de tratamento submetido ao lodo (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Nos países mais desenvolvidos, a densidade de alguns patógenos no lodo, como ovos de helmintos, é mais baixa do que em países em desenvolvimento (GODINHO, 2003; TSUTIYA, 2001).

Dentre os helmintos mais comuns nas águas residuais e, conseqüentemente, no lodo, incluem-se os *Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*, ancilostomídeos, *Hymenolepis*, e *Taenia*. Desses, os três primeiros são bastante resistentes a uma ampla variedade de condições físicas e químicas adversas, sendo capazes de sobreviverem por vários anos no solo (USEPA, 1992). Em leito de secagem, a rápida sedimentação destes ovos pode funcionar como fator de proteção e permanência destes microrganismos no lodo. As concentrações de ovos de helmintos em lodos sépticos podem chegar a dez vezes mais que em águas residuais.

Embora existam dificuldades na detecção de patógenos específicos, numa amostra de lodo, eles podem ser pesquisados a partir de indicadores de contaminação fecal. Esses indicadores são microrganismos que coexistem com os patógenos nas fezes, pois estão presentes no intestino do homem e dos animais de sangue quente. A família *Enterobacteriaceae*, com os gêneros *Salmonellas spp.* e *Enterococcus spp.*, e o grupo dos coliformes são considerados bons indicadores de contaminação fecal (VON SPERLING, 2005). Entretanto, as bactérias coliformes termotolerantes existem em grandes números (VON

SPERLING, 2005), assim, a pesquisa de bactérias deste grupo é um dado que deve ser analisado no monitoramento do lodo e viabilidade bacteriana neste resíduo.

A Tabela 3 apresenta a concentração de alguns microrganismos presentes no lodo de esgoto citados em estudos conduzidos no Brasil.

Tabela 3 - Concentração de alguns microrganismos presentes no lodo de esgoto

Parâmetro	¹ Vasconcelos (2012)	¹ Borges (2009)	² Fogolari, Reis e Philippi (2012)	³ Almeida <i>et al.</i> (2006)	⁴ Bastos <i>et al.</i> (2007)
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1,8 x 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	8,18 x10 ⁶	1,4 x 10 ⁷	1,44 x 10 ⁹
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	6,06 x 10 ⁶	10 ⁵ - 10 ⁷	2,6 x10 ⁶	1,4 x 10 ⁷	6,48 x 10 ⁷

Fonte: Almeida *et al.* (2006); Borges (2009); Fogolari, Reis e Philippi (2012); Vasconcelos (2012).

¹Lodo de caminhões limpa-fossa; ²Lodo de tanque séptico; ³Lodo produzido por digestão anaeróbia, em um Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF); ⁴Lodo de reator UASB + biofiltro aerado submerso.

3.4.3 Contaminantes orgânicos

Durante o tratamento do esgoto, muitos contaminantes acumulam-se nos sólido, resultando no aumento da concentração dos poluentes orgânicos no lodo de esgoto.

Até recentemente, pouca importância era dada à presença de compostos orgânicos perigosos em sistemas de esgotamento sanitário. Em geral, no Brasil, as análises destes compostos muitas vezes não fazem parte da rotina de monitoramento (SAITO, 2007).

Os hormônios esteroides sexuais, produtos farmacêuticos, compostos perfluorados (PFCs) e produtos de cuidados pessoais são considerados contaminantes emergentes ambientais. Essas substâncias, liberadas como consequência das atividades humanas, entram na rede de águas residuais após o uso em residências e da indústria, assim, devido às suas propriedades físico-químicas tendem a acumular-se no lodo de esgoto durante o tratamento de águas residuais (DÍAZ-CRUZ *et al.*, 2009).

Vários poluentes perigosos são voláteis, o que representa um risco potencial à saúde da população e dos operadores que ficam expostos. Outros poluentes ficam adsorvidos, concentram-se no floco biológico e podem causar inibição na digestão do lodo ou gerar lodo com características perigosas, que, se não for adequadamente disposto, pode contaminar a água subterrânea (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Pesquisas da composição dos contaminantes orgânicos no lodo de esgoto têm indicado presença de centenas de substâncias orgânicas que são resíduos de origem sintética e seus produtos de decomposição (SAITO, 2007).

Em decorrência da aplicação de lodos de esgoto no solo, uma variedade de compostos orgânicos está recebendo maior atenção como potencial poluente do solo, plantas e águas. Inicialmente, hidrocarbonetos clorados, pesticidas e bifenils policlorados eram os mais estudados. Segundo Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), em estudos de 25 cidades dos Estados Unidos foram indicados que vários esteres ftalatos, tolueno, fenol e naftaleno estão presentes em lodos.

No Brasil, Paraíba *et al.* (2011) investigaram a presença de 16 hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) em lodo de esgoto e em solo com aplicação de lodo como fertilizante agrícola e os resultados evidenciaram que os níveis de concentração de HPAs encontrados em lodos de esgoto podem elevar os riscos de contaminação potenciais para o solo. No entanto, mais pesquisas são necessárias para conhecer melhor o consequente impacto desses poluentes no ecossistema, antes de usá-los como fertilizantes na agricultura.

3.5 Tratamento do lodo de esgoto

O tratamento da fase sólida do lodo de esgoto tem adquirido cada vez mais expressão no Brasil, devido à sua instabilidade biológica, baixa qualidade higiênica e ao grande volume, sendo necessário admitir medidas que visem corrigir essas características indesejáveis (AISSE *et al.*, 2000).

A instabilidade biológica está relacionada com a elevada fração de material orgânico biodegradável existente nos lodos primários e aeróbios. A baixa qualidade higiênica do lodo é oriunda da grande variedade de vírus, bactérias e parasitas (protozoários, ovos de nematóides e helmintos) presentes no esgoto sanitário, representando uma ameaça à saúde pública. No entanto, como a concentração de sólidos nos lodos é relativamente baixa, seu volume é elevado, sendo necessário reduzir o teor de água (AISSE *et al.*, 2000).

O gerenciamento do lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto é uma atividade complexa e de alto custo, correspondendo a 40% dos custos de implantação, 50% dos custos de operação e por 90% dos problemas operacionais de uma ETE (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001; MIKI; ANDRIGUETI; SOBRINHO, 2001).

As principais etapas do gerenciamento do lodo são: adensamento ou espessamento, estabilização, condicionamento, desaguamento ou desidratação e higienização. A implantação de cada uma dessas etapas depende das características do lodo gerado, ou seja, do tipo de tratamento utilizado para o esgoto, além dos custos operacionais da ETE e do destino final deste produto (VON SPERLING, 2005).

3.5.1 Adensamento ou espessamento

O adensamento do lodo consiste no aumento da concentração de sólidos nele contidos, através da remoção parcial da quantidade de água que caracteriza o seu grau de umidade (FERREIRA; ANDREOLI; JÜRGENSEN, 1999; TSUTIYA, 2001), sendo mais utilizado nos processos de tratamento primário, lodos ativados e filtros biológicos percoladores, cujos principais processos utilizados são adensadores por gravidade, flotadores por ar dissolvido, centrífugas e prensas desaguadoras.

A remoção da água é realizada pela ação gravitacional ou por flotação, através do processo de adensamento, podendo produzir lodos com teor de sólidos aproximadamente de 5%. A eficiência do processo pode resultar em uma redução de volume do lodo na ordem de 60% com relação ao volume original (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

3.5.2 Estabilização

O lodo de esgotos é rico em organismos patogênicos, facilmente putrescível e rapidamente desenvolve odores ofensivos, sendo necessário realizar estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica presente, reduzindo-se, assim, o risco de putrefação e proporcionando a diminuição da concentração de patógenos (LUDUVICE, 2001).

O grau de estabilização do lodo depende da tecnologia de tratamento utilizada. As tecnologias mais recentes que utilizam reatores UASB retêm o lodo dentro do reator por cerca de 2 a 3 meses, realizando, assim, sua estabilização.

Os processos de estabilização são classificados em três tipos: estabilização biológica, onde se utilizam bactérias específicas para promover a estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica; estabilização química, que visa à estabilização mediante oxidação química da matéria orgânica e estabilização térmica obtida a partir da ação do calor sobre a fração volátil em recipientes hermeticamente fechados (LUDUVICE, 2001).

Na estabilização biológica utilizam-se mecanismos naturais de biodegradação que transformam a parte mais putrescível do lodo, sendo os principais processos a digestão anaeróbia, digestão aeróbia, digestão aeróbia autotérmica e compostagem.

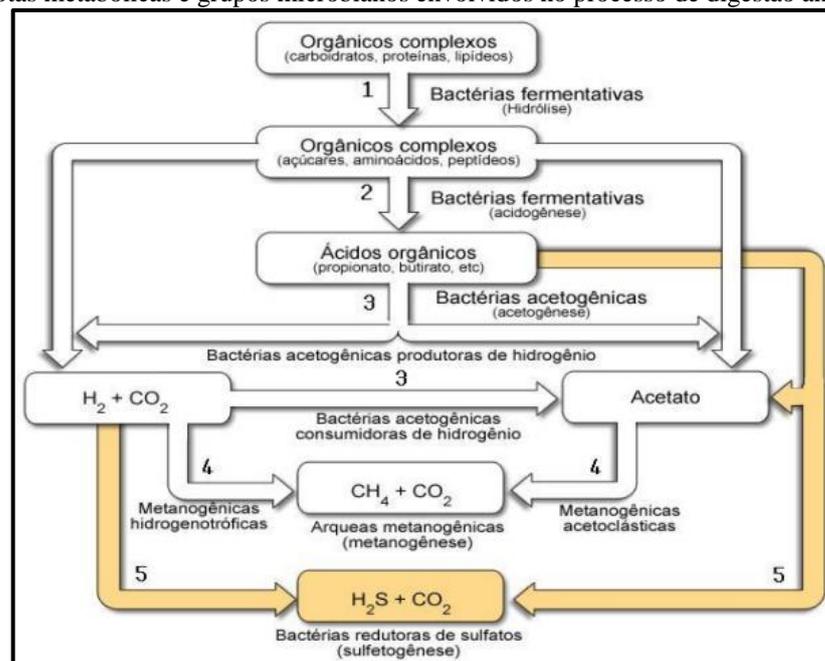
A digestão anaeróbia é o principal processo de estabilização de lodos utilizado no Brasil, enquanto que processos de compostagem são comuns em usinas de tratamento de resíduos sólidos urbanos, sendo encontrados em número limitado de ETEs de pequeno porte. A digestão aeróbia, ainda pouco difundida no Brasil, é utilizada para a estabilização do excesso de lodo ativado oriundo de ETEs com remoção biológica de nutrientes.

3.6.2.1 Digestão anaeróbia

Digestão anaeróbia é um processo biológico tecnologicamente simples e eficaz para o tratamento de lodo de esgoto (LUO; WANG; ANGELIDAKI, 2013), sendo o mais antigo processo usado para estabilização de sólidos, que envolve a decomposição de matéria orgânica e inorgânica na ausência de oxigênio molecular. Uma das maiores aplicações da digestão anaeróbia é a estabilização de lodos produzidos através do tratamento de águas residuais (METCALF; EDDY, 2003).

O processo de digestão anaeróbia é composto por três etapas principais: hidrólise; acidogênese e acetogênese; e metanogênese (Figura 5).

Figura 5 - Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos no processo de digestão anaeróbia



Fonte: Chernicharo (1997).

A primeira fase consiste na hidrólise de polímeros em materiais dissolvidos de moléculas menores, os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas. (CASSINI, 2003; CHERNICHARO, 1997). Cálcio, magnésio e bicarbonato de amônio são exemplos de substâncias tamponantes encontradas numa digestão. O processo de digestão produz bicarbonato de amônio a partir da quebra de proteínas encontradas no lodo bruto (METCALF; EDDY, 2003).

Os produtos solúveis, resultantes da fase de hidrólise são metabolizados através da fermentação, onde as bactérias fermentativas acidogênicas fermentam açúcares, aminoácidos e ácidos graxos e produzem compostos mais simples, como ácidos orgânicos, álcoois, cetonas e dióxido de carbono. Na etapa seguinte, acetogênese, ocorre a conversão dos produtos da acidogênese, pelas bactérias sintróficas acetogênicas, em compostos que formam os substratos para a produção de metano (acetato, dióxido de carbono e hidrogênio) (CASSINI, 2003; CHERNICHARO, 1997). Na metanogênese, etapa final, os ácidos voláteis são consumidos como alimento pelas bactérias metanogênicas e são produzidos metano e gás carbônico.

A digestão anaeróbia do lodo é um processo de estabilização eficiente para reduzir o problema do mau odor, porém a redução de patógenos é pequena, o que impõe limites ao uso do lodo por questões de segurança sanitária.

3.5.3 Condicionamento

Condicionamento é um processo para melhorar as características de separação das fases sólido-líquida de lodo, que consiste na neutralização ou desestabilização das forças químicas ou físicas que atuam nas partículas coloidais e no material particulado em suspensão imerso no líquido. Essa desestabilização permite que as partículas pequenas se unam para formar agregados maiores, formando os flocos.

De acordo com Miki, Sobrinho e Van Haandel (2006), o condicionamento é composto por uma etapa de coagulação seguida de uma etapa de floculação. A coagulação objetiva a desestabilização das partículas através da redução das forças eletrostáticas de repulsão entre elas, enquanto que a floculação permite a aglomeração dos coloides e dos sólidos finos por meio de baixos gradientes de agitação.

O condicionamento do lodo é uma etapa prévia ao desaguamento e influencia diretamente na eficiência dos processos mecanizados. Segundo Miki, Sobrinho e Van Haandel (2006), o condicionamento químico seguido do desaguamento pode promover a redução da umidade do lodo de 90 a 99% para 65 a 80%, dependendo da natureza dos sólidos tratados. Porém, o condicionamento físico pode produzir teores menores de umidade (MIKI; ANDRIGUETI; SOBRINHO, 2001; MIKI; SOBRINHO; VAN HAANDEL, 2006).

3.5.4 Desidratação ou desaguamento

O processo de desidratação tem como principais objetivos a redução do custo de transporte para o local destinado; melhoria nas condições de transporte; aumento do poder calorífico do lodo; redução do volume para disposição em aterro sanitário ou reúso agrícola (VON SPERLING, 2005).

De acordo com Metcalf e Eddy (2003), a redução de volume do lodo através da desidratação mostra-se favorável à operação da ETE, pois proporciona redução nos custos de transporte do lodo para o local de disposição final; pode ser mais facilmente manipulado que o lodo adensado ou líquido; garante certa redução na geração de maus odores; entre outros.

Os processos de desidratação podem ser divididos em métodos de secagem natural e métodos mecânicos. Os métodos de secagem natural mais comuns são os leitos de secagem e lagoas de secagem de lodo, enquanto que os métodos mecânicos mais utilizados são os filtros prensa de esteira, centrífuga, filtros prensa de placas e prensa parafuso.

Segundo Ferreira, Andreoli e Jürgensen (1999), o sistema de secagem deve ser selecionado de acordo com o tipo de destinação final. Os processos naturais são bastante utilizados para sistemas pequenos, enquanto os processos mecânicos são vantajosos para sistemas onde a produção de lodo é elevada e com área disponível restrita. Os sistemas naturais dependem do clima, aspecto que favorece a adoção em regiões quentes.

Os leitos de secagem são os métodos mais antigos usados para desidratação do lodo, sendo normalmente usados para desaguar lodos já estabilizados, como, por exemplo, lodo proveniente de reator UASB, sendo utilizados para comunidades de pequeno e médio porte (TSUTIYA *et al.*, 2001). Eles têm importantes vantagens quando comparados com métodos mecânicos, por serem mais simples, ter menor custo de instalação e operação, porém possuem a desvantagem de requerer uma demanda de área superior à área destinada para os reatores biológicos de sistemas de tratamento (ANDREOLI *et al.*, 2006).

Em estudos realizados por Correia (2009) e Almeida *et al.* (2006), nas condições estudadas, os autores concluíram que o processo anaeróbico, seguido por desaguamento em leitos de secagem, é insuficiente para reduzir os patógenos presentes no lodo de esgoto a níveis considerados seguros para uso agrícola.

3.5.5 Higieneização

O gerenciamento da sanidade do lodo, caracterizada pelos patógenos presentes no lodo, é realizado através de métodos de higienização, que devem ser econômicos, seguros e de fácil aplicação (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001; FERNANDES, 1999).

Os níveis de patogenicidade do lodo podem ser reduzidos através do processo de estabilização, como a digestão anaeróbia ou anaeróbia, porém muitos parasitas intestinais e seus ovos não são efetivamente afetados pelos processos de digestão convencional, havendo a necessidade de realizar a higienização como uma etapa complementar para a sua completa inativação (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

O processo de higienização visa garantir um nível de patogenicidade no lodo que, ao ser disposto no solo, não cause riscos à saúde da população, aos trabalhadores ao manuseá-lo e impactos negativos ao meio ambiente (PINTO, 2001; VON SPERLING, 2005). Os processos mais importantes de higienização do lodo são: compostagem, digestão aeróbia autotérmica, caleação ou estabilização alcalina, pasteurização e secagem térmica.

A compostagem é um processo biológico aeróbio de decomposição da matéria orgânica efetuada através de condições controladas de temperatura, umidade, oxigênio e nutrientes. Os microrganismos degradam a matéria orgânica contida no lodo puro ou em mistura com outros resíduos orgânicos, em processos exotérmicos, gerando calor. A inativação dos microrganismos patogênicos ocorre principalmente através da via térmica, ocasionada pelo aumento da temperatura na fase de maior atividade do processo. O produto resultante deste processo tem grande valor agrônomo com condicionador de solos (FERNANDES; SILVA, 1999; VON SPERLING, 2005).

Estudo realizado por Medeiros (2009) mostrou que o processo de compostagem é eficiente na remoção de ovos viáveis de helmintos em lodos provenientes de tanques sépticos. Backes *et al.* (2013) atestaram que a compostagem permitiu a inviabilização dos ovos de helmintos presentes no lodo e reduziu a quantidade de coliformes termotolerantes. Teixeira (2012) concluiu que a compostagem termofílica foi capaz de reduzir as concentrações de genomas virais do lodo e eliminar coliformes termotolerantes.

A estabilização alcalina ou caleação é utilizada para tratar lodos primários, secundários ou digeridos e consiste na mistura de cal ao lodo para aumentar o pH para 12, resultando em uma redução de microrganismos e da ocorrência de odores. A cal entra em contato com a água contida no lodo, resultando em uma reação exotérmica e proporcionando a estabilização da mistura (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001; FERNANDES, 1999). Um dos problemas existente é a liberação de odores do lodo, causada pela volatilização da amônia com a elevação do pH, sendo mais frequente em lodos digeridos anaerobiamente.

No tratamento térmico o lodo é submetido a uma fonte de calor, de modo a provocar a evaporação da umidade existente e, conseqüentemente, alcançar a inativação térmica dos microrganismos (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Estudos efetuados por Almeida *et al.* (2006) mostraram que a mistura de cal ao lodo reduziu a concentração de coliformes termotolerantes e totais. Fernandes *et al.* (2001) concluíram que o tratamento alcalino removeu 99,95% de coliforme total, 100% de coliforme fecal, de cistos de protozoários e de estreptococos, além de remover 98% de ovos de helmintos. Passamani, Keller e Gonçalves (2002) verificaram a inviabilização de 100% dos ovos de helmintos do lodo de um reator UASB através do tratamento com cal e da pasteurização. No entanto, Lima (2010) confirmou o recrescimento de coliformes termotolerantes com a diminuição do pH para valores inferiores a 11,5, requerendo atenção especial à adição de cal nos lodos.

3.6 Alternativas para a disposição final de lodos gerados em ETE's

Diante do aumento populacional, os problemas resultantes da geração de resíduos da atividade humana exigem ações que viabilizem o equilíbrio entre consumo e reúso. Nesse contexto, o lodo de esgoto pode deixar de ser apenas um problema quanto a sua destinação final para se tornar um produto capaz de reduzir o uso de recursos naturais em processos produtivos, beneficiar solos degradados, entre outras aplicações que vão agregar valor a algo que até então gerava custos para ser dispensado (GODOY, 2013).

A avaliação de alternativas para o tratamento e destino final do lodo de esgoto é normalmente complexa por envolver aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais, que ultrapassam os limites da estação de tratamento.

Atualmente, os destinos que se tem dado ao lodo de esgotos, em diversos países, são os aterros, a incineração e aplicação na agricultura. Como a incineração é uma prática muito cara e ambientalmente indesejada, restam as demais opções de descarte.

A escolha por qualquer uma das alternativas de disposição final do lodo é produto da situação local de tecnologia e recursos disponíveis.

3.6.1 Aterro Sanitário

No Brasil, o descarte do lodo de esgoto ainda é normalmente realizado em aterros sanitários, agravando o problema do lixo urbano e indo contra a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que prevê a redução de resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários. Infelizmente, o lodo gerado pelas ETE's visa principalmente a sua retirada por caminhões que geralmente os transportam para aterros sanitários sem maiores critérios de segurança (SOBRINHO, 2001).

Na disposição do lodo em aterro não há qualquer preocupação em se recuperar nutrientes ou se utilizar o lodo para qualquer finalidade útil. O lodo confinado em células previamente impermeabilizadas e recoberto com terra passa por processo de biodegradação anaeróbia, gerando vários subprodutos, como o metano. Essa prática apresenta o inconveniente de concorrer com os resíduos sólidos urbanos e torna-se ambientalmente insustentável visto que a mistura do lodo com resíduos urbanos tende a reduzir a vida útil dos aterros em situações onde a quantidade de lodo a ser disposto é significativa.

3.6.2 Disposição oceânica

Até a década de 70, a disposição de lodo no oceano foi bastante utilizada nos Estados Unidos da América e no Reino Unido, porém, a partir de fortes pressões de Organizações Não Governamentais para proteção do meio ambiente contra essa forma de disposição, tem-se abandonado esta prática (GEYER, 2001).

Essa alternativa foi muito comum em países ou áreas urbanas costeiras, como Nova Iorque, Los Angeles, Londres, Sidney, entre outras, as quais lançavam grande parte de seus lodos no mar. Até 1993, Sidney, na Austrália, lançava 60% do lodo no mar, 10% era utilizado no reúso agrícola e 30% destinado para produzir composto. O Congresso dos Estados Unidos determinou, em 1988, a proibição do lançamento do lodo, pelo *Ocean Dumping Ban Act*, forçando a cidade de Nova Iorque a adotar nova postura (TSUTIYA, 2001).

Segundo a *Surfrider Foundation* Brasil, estudos internacionais comprovam que o mar não é uma estação natural de tratamento de esgoto. Assim, o emissário submarino, sem uma política de tratamento adequado do esgoto produzido, ameaça não apenas o litoral, mas, também, a fauna e flora atingidas pelas águas contaminadas.

3.6.3 Reúso Industrial

O aproveitamento do lodo de esgotos sanitários na produção de insumos para a construção civil surgiu da dificuldade que muitos países enfrentavam para dar destinação aos lodos gerados, resultante do aumento do volume de lodo (GEYER, 2001). Apesar das vantagens e benefícios proporcionados pela reciclagem do lodo de esgoto para fabricação de materiais de construção, não se deve negligenciar a presença de poluentes orgânicos, metais pesados e organismos patogênicos inerentes à constituição desse resíduo.

Em estudos, Pires *et al.* (2012) concluíram que a aplicação do lodo de esgoto em tijolos cerâmicos é uma possibilidade viável de destinação correta desse resíduo. Feitosa (2009) evidenciou que o acréscimo de lodo ao concreto reduz a resistência à compressão e a absorção de água em relação ao concreto de referência como agregado convencional. No entanto, ainda que preliminares, os resultados indicam que o uso do lodo de esgoto, como parte do agregado moído ao concreto, mesmo para edificações de pequeno porte, deve ser restrito e estudos mais detalhados devem ser realizados.

3.6.4 Incineração

A incineração é um método de tratamento que se utiliza da decomposição térmica via oxidação, com o intuito de tornar um resíduo menos volumoso, reduzir a toxicidade, ou ainda eliminá-lo, convertendo-o em gases ou resíduos incombustíveis. Através da incineração os sólidos voláteis do lodo são queimados na presença de oxigênio, convertendo-os em dióxido de carbono e água. Toda a matéria orgânica é destruída, incluindo organismos patogênicos (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001), porém, os metais não são eliminados, concentrando-se nas cinzas (TSUTIYA, 2001).

De acordo com Ferreira, Andreoli e Jürgensen (1999), essa alternativa apresenta elevado custo por tonelada de lodo e problemas secundários de poluição atmosférica, restando ainda nesse processo a necessidade de um destino final para as cinzas produzidas. As emissões atmosféricas resultantes da incineração variam com o conteúdo de poluentes, sendo

os materiais particulados, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e dioxinas e furanos os mais importantes (BORGES, 2008).

3.6.5 Recuperação de áreas degradadas

A aplicação de lodos em áreas agrícolas, florestas e em áreas degradadas traz benefícios às propriedades físicas do solo, facilitando a formação de agregados, melhorando a infiltração, a retenção da água e a aeração do solo. A adição de lodo a áreas degradadas apresenta uma série de características que favorecem a recuperação e o reaparecimento da vegetação, visto que a área degradada não fornece condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação, em função da falta de matéria orgânica e de nutrientes no solo e da atividade biológica (TSUTIYA, 2001).

Segundo Bezerra *et al.* (2006), o procedimento para recuperação dessas áreas é lento e está relacionado com a capacidade do solo em se reestabelecer. Visser (1995) obteve melhora imediata nas condições físico-químicas do solo, acelerando o estabelecimento das plantas e seu crescimento. Resultados de pesquisas de Tamanini *et al.* (2005) mostraram elevados teores de carbono no solo, com teores proporcionais à dose de lodo aplicada e aumento na produção de matéria seca em solos que receberam tratamento com lodo.

No Brasil, vários outros autores comprovaram a eficácia da aplicação de lodo de esgotos nos solos. Dentre alguns dos benefícios estão: aumento dos teores de carbono orgânico, nitrogênio, fósforo, magnésio, potássio e cálcio, da capacidade de troca catiônica, além do aumento dos micronutrientes ferro, zinco e cobre com a aplicação do lodo (BEZERRA *et al.*, 2006). A aplicação de lodo proporciona rápido estabelecimento e crescimento de gramíneas e leguminosas em áreas degradadas (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006); influencia as propriedades físicas do solo, proporcionando maior crescimento vegetal, além disso, a aplicação de lodo em solo reflete positivamente na densidade, porosidade e macro porosidade do solo (CAMPOS; ALVES, 2008).

3.6.6 Reciclagem agrícola e florestal

Uma alternativa viável e promissora para o uso do lodo de esgoto tratado (biossólido) seria sua aplicação em plantações florestais, que se destinam apenas à produção de madeira e que não afetaria a cadeia alimentar humana (ANDREOLI *et al.*, 2006). A vantagem da aplicação do biossólido em plantações florestais consiste no fato de que os principais produtos

destas culturas não se destinam à alimentação humana ou animal, possibilitando maior segurança quanto à dispersão de eventuais contaminantes (Tsutiya, 2001).

A aplicação de lodo de esgoto na agricultura apresenta um panorama mundial variado, de acordo com as condições econômicas, infraestrutura e a legislação de cada país (BASTOS, 2012). Segundo Tsutiya (2001), países desenvolvidos e industrializados destinam uma grande proporção dos resíduos resultantes do tratamento de esgoto para áreas agrícolas e florestais. No Brasil, estima-se que apenas 5% do lodo de esgoto sejam destinados para a agricultura (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

A reciclagem agrícola alia baixo custo e impacto ambiental positivo quando é realizada dentro de critérios seguros. Ambientalmente é a solução mais correta, pois promove o retorno dos nutrientes ao solo, colaborando para o fechamento no ciclo dos elementos (FERNANDES, 1999; ZULOAGA *et al.*, 2012). O material orgânico presente nesses resíduos aumenta a resistência dos solos à erosão, além de ser excelente fonte de nutrientes, constituindo-se em boa alternativa para regiões agrícolas (GOMES *et al.*, 2006).

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

Apesar de todas as vantagens citadas, o lodo de esgoto pode conter elementos tóxicos, como poluentes orgânicos persistentes. Assim, é necessário conhecer os efeitos desses poluentes no solo, quando utilizados na agricultura. Muitas questões ainda não foram respondidas pela pesquisa e esse é um fator ponderável a ser levado em consideração para seu uso na agricultura.

Muitas pesquisas vêm sendo conduzidas no Brasil evidenciando o uso do lodo como insumo agrícola, de modo a garantir a minimização dos riscos sobre o ambiente e a saúde do ser humano. A ETE Franca, no estado de São Paulo, em 1998 implementou um programa de utilização de lodo na agricultura, denominado Sabesfertil, com o objetivo de orientar o usuário do lodo, os operadores de estações de tratamento e os tomadores de decisões sobre os procedimentos de geração de lodo, métodos de higienização adequados ao uso agrícola, além de orientação para elaboração de Plano de Distribuição de Lodo e monitoramento da atividade (SABESP, 2013).

Mobricci (2006) e Nascimento *et al.* (2004) comprovaram a eficiência do lodo de esgoto no fornecimento de nutrientes às plantas e na redução da acidez ativa e potencial dos solos. De acordo com Araújo, Gil e Tiritan (2009), a aplicação de lodo de esgoto aumentou o teor de fósforo no solo, em cerca de 70%. Oliveira *et al.* (2002) evidenciaram acúmulo relativo de carbono orgânico no solo e o aumento da capacidade de troca de cátions do solo. Bovi *et al.* (2007) e Marques *et al.* (2007) evidenciaram que o incremento de lodo melhorou as condições gerais de fertilidade do solo, mantendo-se a produtividade e as características do solo. Além disso, Franco, Marques e Melo (2008) perceberam que a aplicação de lodo de esgoto proporcionou maior acúmulo de nitrogênio na planta e maior teor residual de nitrogênio no solo.

Em estudo sobre a mobilidade de metais pesados em solo tratado com lodo de esgoto, Oliveira e Mattiazzo (2001) verificaram que para os metais Cu e Cr, não houve evidências de mobilidade ao final do estudo, porém o Zn se mostrou um elemento móvel no perfil do solo. Galdos *et al.* (2009) perceberam que a aplicação do resíduo aumentou a concentração de metais na água e no sedimento, especialmente do zinco que estava presente em alta concentração no lodo de esgoto utilizado.

No entanto, a utilização de lodo de esgoto para fins agrícolas pode ser uma boa prática quando existe controle dos níveis de contaminação e taxas de aplicação do lodo, sendo necessários mais estudos para avaliar os riscos de contaminação de águas subterrâneas e de superfície (ELJARRAT, 2002). Assim, nas zonas beneficiadas pela utilização de lodo, a fertilidade do solo, níveis de nitrato, metais pesados e outros contaminantes devem ser monitorados a fim de evitar impactos negativos (BETTIOL; GHINI, 2011).

Embora com tantas alternativas de reúso e disposição do lodo de esgoto, a escolha deve ser acompanhada de criteriosa análise de características físico-química e microbiológica do lodo, além das condições ambientais locais, considerando-se normas e padrões preestabelecidos. Assim, o tratamento e descarte adequado do lodo tornam-se elementos importantes na cadeia de proteção ambiental (BLANDON, 2010).

3.7 Legislação aplicada ao uso agrícola do lodo de esgoto

Desde que o lodo de esgoto começou a ser usado na agricultura em escala mais intensa, a ausência de normas para o seu uso correto passou a ser uma preocupação, devido, principalmente, a presença de patógenos e metais pesados (TSUTIYA, 2001). Nesse contexto, o gerenciamento do destino dos bio sólidos deve ser apoiado num programa de

monitoramento de sua qualidade para garantir a segurança ambiental e sanitária (SANTOS, 2001).

Em 1986, o Conselho Diretor da Comunidade Econômica Europeia promulgou a Directiva 86/278/EEC para a proteção do ambiente e, em particular, do solo, quando o lodo de esgoto é utilizado na agricultura, estabelecendo limites de concentração dos metais pesados no solo e no lodo de esgoto, bem como a dose máxima de aplicação anual baseada em média de 10 anos, além de metodologia para amostragem e análise do lodo e do solo (COUNCIL, 1968).

Nos EUA, a EPA (*Environmental Protection Agency*) publicou, em 1993, a norma 40 CFR (Part 503, conhecida como Seção 503; EPA, 1993) que regulamenta o uso de lodo de esgoto no solo usado para fins agrícolas. Esta regulamentação estabelece normas que consistem em requisitos gerais, limites de poluentes, práticas de gerenciamento e normas operacionais para o uso ou disposição final do lodo gerado durante o tratamento de esgotos domésticos, além de incluir normas para o lodo de esgoto aplicado ao solo, colocado em áreas de disposição superficial ou incinerado, e requisitos para patógenos e redução de atração de vetores mecânicos de doenças, como roedores e moscas. Essa norma estabeleceu como lodo Classe A aqueles que sofreram algum tratamento para eliminar agentes patogênicos e lodos Classe B aqueles que foram submetidos a algum tipo de redução de agentes patogênicos, porém ainda presentes.

Diante da necessidade de estabelecer-se regulamentação para o uso agrícola do lodo de esgoto, alguns estados brasileiros desenvolveram normas e/ou manuais técnicos que fornecem orientações sobre o uso do lodo, como por exemplo, a Norma Técnica P-4.230, elaborada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), em 1999, para o Estado de São Paulo, e manuais técnicos da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) (COSCIONE; NOGUEIRA; PIRES, 2010).

A norma Aplicação de Lodos de Sistemas de Tratamento Biológico em Áreas Agrícolas – Critérios para Projeto e Operação (Manual Técnico) é a Norma Técnica P4.230, homologada pela Diretoria Plena da CETESB em 28/10/99 (CETESB, 1999). Esta norma estabelece os procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas, visando atendimento de exigências ambientais.

Essa norma aplica-se a todos os sistemas operados no Estado de São Paulo e refere-se exclusivamente a lodos oriundos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos

sanitários e industriais. Porém, não se aplica a lodos de tanques sépticos, resíduos do gradeamento, resíduos de caixas de areia e lodos contendo PCBs, dioxinas e furanos, nem ao tratamento do lodo por landfarming definidos na norma NBR 13.894. Essa norma é fundamentada principalmente na legislação ambiental norte-americana (40 CFR Part 503). Com relação à patogenicidade do biossólido, esse manual conceitua exatamente as mesmas classes A e B da norma norte-americana, com idênticos limites de aceitação e limites idênticos, também, para a concentração limite de metais pesados.

O Paraná procurou disciplinar o uso agrícola do lodo através da “Proposta de Licenciamento Ambiental da Gestão Agrícola do Biossólido”, desenvolvida pelo Programa Interdisciplinar de Pesquisas em Reciclagem Agrícola de Biossólidos, a qual exige que todas ETE’s apresentem ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP um plano para destino final dos seus biossólidos. A proposta na norma paranaense é bastante específica quanto à forma de higienização do biossólido (prevendo exclusivamente os processos de caleação ou compostagem) e quanto à necessidade de estocar o produto (ANDEOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

O valor limite de concentração de metais pesados para a reciclagem agrícola, segundo a Proposta do Paraná, e o valor limite para ovos viáveis de helmintos e de coliformes fecais encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Valor limite da concentração de metais pesados para uso agrícola segundo a Proposta do Paraná

Elemento	Teor limite no biossólido (mg/Kg de matéria seca)
Cádmio	20
Cobre	1000
Níquel	300
Chumbo	750
Zinco	2500
Mercúrio	16
Cromo	1000

Fonte: Andreoli; Von Sperling; Fernandes (2001).

Tabela 5 - Valor limite para ovos viáveis de helmintos e coliformes fecais

Parâmetros	Limites
Contagem de ovos viáveis de helmintos	0,25 ovos/g M.S
Coliformes fecais	10 ³ NMP/g M.S

Fonte: Andreoli; Von Sperling; Fernandes (2001).

Em 2006, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de julho de 2006, regulamentou o registro de fertilizantes orgânicos para serem produzidos, importados ou comercializados no Brasil e, definiu parâmetros agronômicos, limites de metais e patógenos nos fertilizantes orgânicos de classe “D”, permitindo a mistura de lodo de esgoto com outros resíduos para a formulação do fertilizante (BRASIL, 2006b).

O Conselho do Meio Ambiente do Distrito Federal (CONAM-DF) aprovou, em 2006, a Resolução Nº 03/2006, de 18 de Julho de 2006, que estabelece normas, padrões e procedimentos para distribuição e uso de lodo de esgoto na agricultura, reflorestamento, recuperação de áreas degradadas, processamento e pesquisa no Distrito Federal.

Atualmente, a resolução federal vigente no Brasil é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA Nº 375, de 29 de agosto de 2006, que estabelece critérios e procedimentos para o uso agrícola, de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente. Estabelece, ainda, que a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir os seguintes aspectos: potencial agronômico, substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas, indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos e a estabilidade.

As concentrações máximas aceitáveis dos metais potencialmente tóxicos podem variar entre os países (Tabela 6).

Tabela 6 - Concentração máxima aceitável de metais pesados (mg/ Kg base seca) permitida no lodo de esgoto a ser aplicado de acordo com Brasil, Estados Unidos e Europa

	Brasil – CONAMA	Brasil - MAPA	EUA – EPA	Directiva 86/278/EEC
Cd	39	3	85	20 - 40
Cr	1000	200	-	-
Cu	1500	-	4300	1000 - 1750
Hg	17	1	57	16 - 25
Ni	420	70	420	300 -400
Pb	300	150	840	750 - 1200
Zn	2800	-	7500	2500 - 4000
As	41	20	75	-
Ba	1300	-	-	-
Mo	50	-	75	-
Se	100	80	100	-

Fonte: Brasil (2006a), Brasil (2006b), COUNCIL (1986), USEPA (1993).

Devido à preocupação com a saúde pública e contaminação do meio ambiente, Brasil (2006a) também estabelece critérios de limitação à concentração máxima de patógenos (Tabela 7), classificando-o em lodo Classe A e Classe B. Lodos de esgoto enquadrados como classe A poderão ser utilizados para quaisquer culturas, respeitadas as restrições previstas nos arts. 12 e 15, e a utilização de lodo classe B é restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, respeitando as restrições previstas no art. 15 e no inciso XI, do art. 18 da resolução.

Tabela 7 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos de acordo com a Resolução CONAMA 375/2006

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

Fonte: Brasil (2006a).

ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável.

A Resolução CONAMA 375 de 2006 ressalta que, decorridos 5 anos a partir da data de sua publicação, será permitida apenas a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado classe A, exceto sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto classe B. Esta resolução delimita, ainda, concentrações de substâncias orgânicas permitidas em solos agrícolas.

3.8 Impactos ambientais do uso de lodo na agricultura

O estudo de caracterização do lodo de esgoto, além da sua aplicação na agricultura é bastante precário no estado do Ceará e conseqüentemente não há considerável prática de uso do lodo na agricultura, sendo a maior parte disposta em aterro sanitário.

Vasconcelos (2012) realizou estudos de toxicidade de lodo proveniente de fossas sépticas, o qual era destinado à Cagece e tratado junto com o esgoto doméstico coletado pela companhia, sendo um dos primeiros estudos realizados no Ceará sobre lodos de fossas sépticas.

Entretanto, este é o primeiro trabalho realizado no estado do Ceará sobre a caracterização de lodos provenientes de estações de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de Fortaleza visando sua utilização da agricultura.

De acordo com Bettiol e Camargo (2006), a utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas tem como principais benefícios, a incorporação de micro e macronutrientes, melhora nas condições físicas do solo através do aumento da retenção de água em solos arenosos e na permeabilidade e infiltração nos solos argilosos e, por determinado tempo, mantém uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície.

Apesar de todas as vantagens, a falta de conhecimento sobre os efeitos do lodo de esgoto nas comunidades de microrganismos, na dinâmica de carbono e nitrogênio, nas propriedades físico-químicas, no comportamento dos metais, dos compostos orgânicos persistentes e dos patógenos humanos nos solos tropicais é o principal problema relacionado com a utilização agrícola. Como a aplicação do lodo de esgoto causa alterações nesses compartimentos, há a necessidade de identificá-las para verificar se não serão deletérias para os agroecossistemas, organismos, para o desenvolvimento de culturas e para o ambiente, contaminando o solo, o ar e a água (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Nas condições de solos tropicais praticamente não existem trabalhos que avaliem o efeito do lodo de esgoto na agricultura e seus impactos ambientais nos agroecossistemas, assim, é fundamental que tais estudos sejam realizados.

Nas discussões sobre a disposição do lodo de esgoto em solos, os efeitos sobre o ambiente e saúde pública vêm se destacando no cenário internacional. No Brasil, além desses aspectos, as discussões para o estabelecimento de normas mais completas vêm ocorrendo em todo o território nacional, pois a falta de resoluções mais completas e restritivas possibilita a utilização indiscriminada e inadequada do lodo de esgoto.

Diante do cenário atual tem-se a necessidade de realizar estudos quanto à mobilidade de metais pesados presentes no lodo de esgoto com a finalidade de evitar riscos de contaminação do agroecossistema.

Entretanto, a quantidade de lodo aplicado deve ser controlada, pois o excesso de nitrogênio presente no lodo na forma de nitrato e amônio pode alcançar e contaminar o lençol freático. Além disso, a decomposição do lodo de esgoto pode provocar a elevação da condutividade elétrica da solução do solo acima dos níveis aceitáveis para as plantas, em especial em regiões de baixa pluviosidade como o Nordeste.

Dentre os sais provenientes da decomposição do lodo, os de sódio podem causar problemas, pois este elemento pode substituir o cálcio e o magnésio do complexo de troca, dispersando a argila, destruindo os agregados e a estrutura dos solos e reduzindo a permeabilidade e a infiltração da água.

No geral, a utilização agrícola do lodo deve ser frequentemente monitorada para verificar os riscos potenciais ao solo, plantas e saúde pública.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Locais das coletas

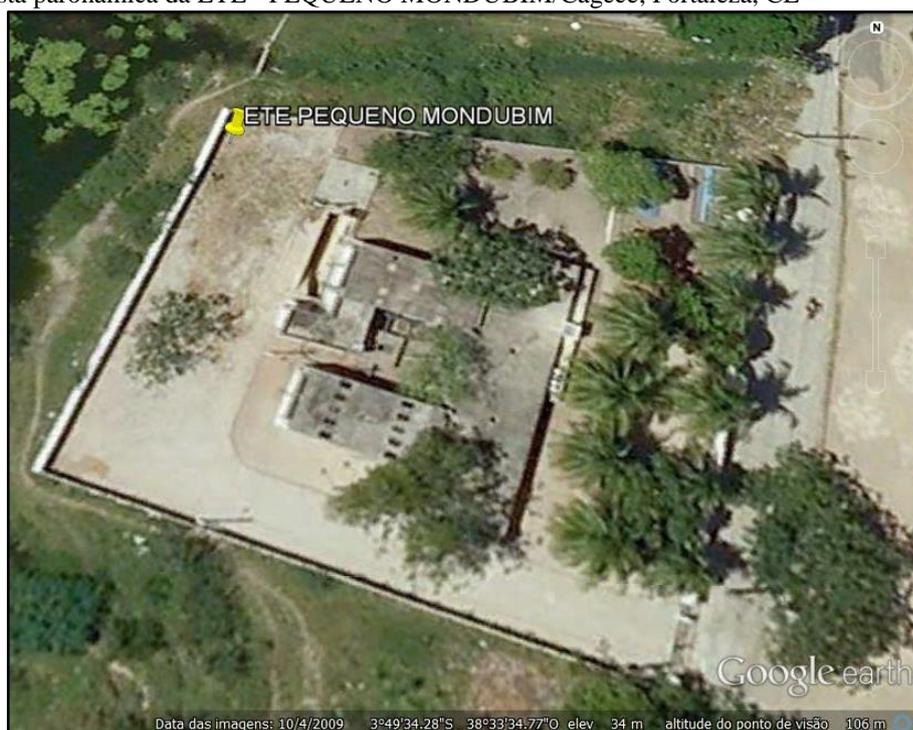
Foram utilizadas, neste estudo, amostras de lodo “in natura” provenientes de Estações de Tratamento de Esgotos da Região Metropolitana de Fortaleza, gerenciadas pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) e de lodo de fossa séptica.

As amostras de lodo de esgoto foram retiradas de reatores anaeróbios da ETE – ARACAPÉ III e ETE – PAJUÇARA, e de decanto-digestor da ETE – PEQUENO MONDUBIM. As amostras de lodo séptico foram encaminhadas á tanque de armazenamento presente na ETE – NOVA METRÓPOLE, de onde foram realizadas as coletas.

4.1.1 Estação de Tratamento de Esgoto e Estação Elevatória – PEQUENO MONDUBIM

A Estação de Tratamento de Esgoto – PEQUENO MONDUBIM (Figura 6) localiza-se em Fortaleza – CE, na Avenida Bernardo Manuel, nº 12.138, localizada no bairro Conjunto José Walter, a qual foi construída numa área de 2060,80 m² em terreno retangular e atende o bairro Conjunto Pequeno Mondubim e unidades habitacionais.

Figura 6 - Vista paronâmica da ETE - PEQUENO MONDUBIM/Cagece, Fortaleza, CE



Fonte: Google (2009).

A ETE - PEQUENO MONDUBIM consiste em uma Estação de Tratamento e Elevatória de pequeno porte que possui tecnologia de tratamento composta por gradeamento e desarenador como tratamento preliminar, utiliza calha parshall como medidor da vazão de entrada, além de elevatória composta por poço de sucção e duas bombas submersíveis. O tratamento biológico funciona com dois módulos de tratamento na seguinte situação: um decanto-digestor seguido de dois filtros anaeróbios em paralelo. O efluente final sofre desinfecção por cloração e, posteriormente, é lançado no seu destino final.

A ETE, atualmente, trata uma vazão média diária de $6,2 \text{ L s}^{-1}$ com tempo de detenção hidráulico de 2h, sendo operada 24h.

O lodo biológico excedente produzido no decanto-digestor é retirado por um caminhão a vácuo e encaminhado para o aterro sanitário.

4.1.2 Estação de Tratamento de Esgoto e Estação Elevatória – ACARAPÉ III

A Estação de Tratamento de Esgoto – ACARAPÉ III situa-se na Rua Ferdinando Alves de Sousa, nº 1.001 no Conjunto Residencial Aracapé e possui aproximadamente 798 m^2 , sendo construída em terreno irregular.

A Estação de Tratamento e Elevatória - ACARAPÉ III é considerada uma ETE de pequeno porte, que efetua seu tratamento através de sistema de reator UASB com operação composta pelas seguintes unidades de tratamento: elevatória contendo poço de sucção e duas bombas submersíveis, tratamento preliminar (grade e caixa de areia), além de tratamento biológico a partir de dois reatores anaeróbios de fluxo ascendente ou reatores UASB em paralelo e desinfecção por cloração. O lodo em excesso produzido no processo biológico nos reatores UASB é destinado a leitos de secagem para promover o desague e em seguida é encaminhado e disposto em aterro sanitário (Figura 7).

O controle da vazão de entrada é monitorado por intermédio de uma calha parshall. Atualmente, esta ETE possui vazão média diária de $8,9 \text{ L s}^{-1}$ e tempo de detenção de 6,63h, é operada 24h e atende, apenas, o bairro Conjunto Residencial Aracapé III.

Figura 7 - Mapeamento da ETE - ARACAPÉ III



Fonte: Adaptado de Google (2009).

1 e 2: Reatores UASB; 3: tanques de cloração; 4: leitos de secagem.

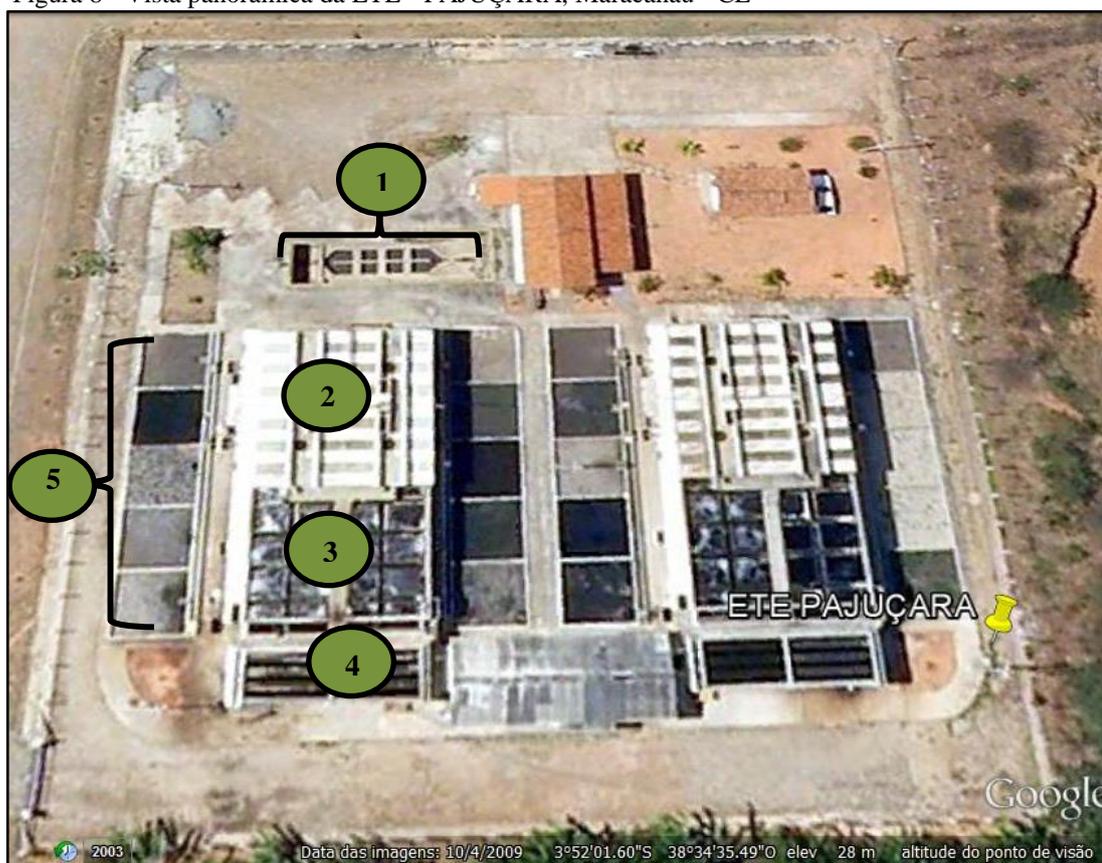
4.1.3 Estação de Tratamento de Esgoto – PAJUÇARA

A estação de tratamento de esgotos domésticos, ETE – PAJUÇARA, localiza-se no município de Maracanaú – CE, na Rua Argemiro Carvalho, s/n, bairro Pajuçara, sendo construída numa área de 4.225 m² (65 m x 65 m) em terreno quadrangular.

Atualmente, esta ETE possui vazão média diária de 55,28 L s⁻¹ e tempo de detenção de 8h, sendo operada 24h e trata o esgoto doméstico, apenas, do bairro Pajuçara.

A ETE - PAJUÇARA é considerada de grande porte com tratamento preliminar que possui as operações unitárias de gradeamento e desarenação através da utilização, respectivamente, de grade e caixa de areia. O controle da vazão de entrada é monitorado por intermédio de uma calha parshall. O tratamento biológico da fase líquida é realizado por dois módulos de tratamento biológico, sendo um digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA), seguido de um filtro submerso aerado (FSA) acoplado a um decantador lamelar (DL). O efluente clarificado é destinado ao processo de desinfecção por cloração e lançado no seu destino final (Figura 8).

Figura 8 - Vista panorâmica da ETE - PAJUÇARA, Maracanaú - CE



Fonte: Adaptado de Google (2009).

1: grade, caixa de areia e calha parshall; 2: digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA); 3: filtro submerso aerado (FSA); 4: decantador lamelar (DL); 5: leitos de secagem.

A quantidade de lodo produzido em função da carga de DQO (carga orgânica volumétrica) é em torno de $1,94 \text{ kg DQO/m}^3 \cdot \text{dia}$, enquanto que a carga afluyente em DQO é 384 kg/dia . O desaguamento do lodo produzido no processo biológico é realizado em leitos de secagem existentes na ETE, e em seguida é destinado ao aterro sanitário (Figura 9).

Figura 9 - Lodo de esgoto da ETE - PAJUÇARA



Fonte: A autora (2014).

A: Lodo “in natura” sendo despejado em leito de secagem; B: Lodo em processo de desaguamento.

4.1.4 Estação de Tratamento de Esgoto - NOVA METRÓPOLE

A Cagece disponibiliza o serviço de recebimento de efluentes domésticos de locais onde não há rede de esgotamento sanitário e que necessitam realizar a manutenção das fossas sépticas através da retirada do lodo.

A descarga do lodo proveniente das fossas sépticas é realizada em estações de tratamento de esgoto da Cagece por meio de caminhões limpa – fossas, previamente autorizados pela Companhia. Esses resíduos são tratados junto com o esgoto sanitário coletado pelas redes de esgoto antes de lançá-los no seu destino final.

O lodo coletado nas fossas sépticas é transportado por caminhões limpa – fossas à ETE – NOVA METRÓPOLE, não sendo misturado com o esgoto proveniente das redes de coleta. Esse resíduo ficou armazenado em tanques antes de serem retiradas as amostras de lodo em estudo.

4.2 Coleta e preservação das amostras

Foi realizada amostragem mensal de lodo em cada ETE descrita anteriormente, no período de agosto a novembro de 2013, sendo coletadas três amostras de cada ponto, totalizando 12 amostras.

Nas ETEs ARACAPÉ III e PAJUÇARA foram coletadas amostras de lodo na saída do reator UASB localizada na parte inferior. As amostras de lodo séptico foram coletadas na saída do tanque de armazenamento presente na ETE – NOVA METRÓPOLE e as amostras da ETE – PEQUENO MONDUBIM foram coletadas na saída do cano de descarga do decanto-digestor (Figura 10).

A coleta das amostras foi realizada por meio de amostragem simples, variando entre períodos de manhã e tarde. As amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno de 5 litros e o transporte foi realizado, sob temperatura ambiente, dentro de caixas plásticas até a Universidade Federal do Ceará – UFC.

Figura 10 - Ilustração dos pontos de coleta das amostras de lodo

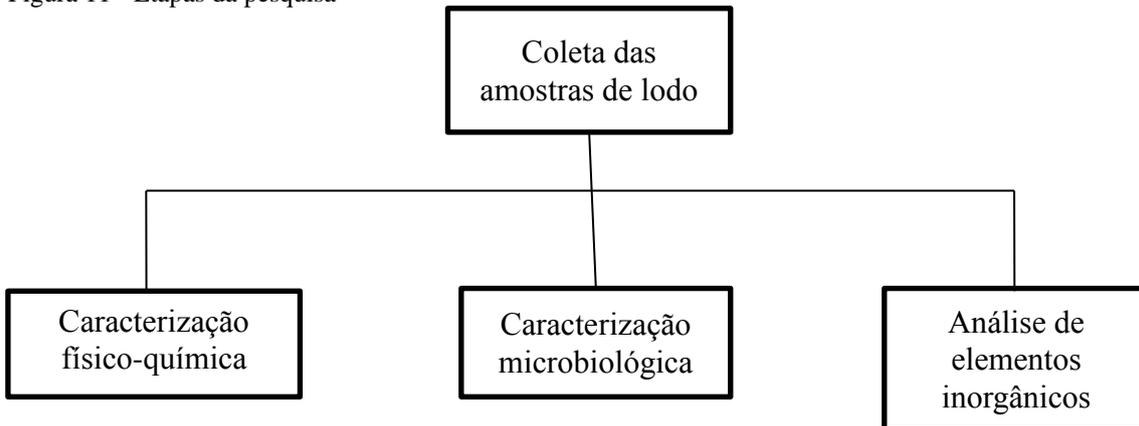


Fonte: A autora (2014).

A: Reator UASB da ETE – ARACAPÉ III; B: Reator UASB da ETE – PAJUÇARA; C: Cano da saída do tanque de armazenamento de lodo séptico; D: Tanque com acesso a saída do decanto-digestor onde foi coletado o lodo da ETE – PEQUENO MONDUBIM.

Simultaneamente á coleta foram obtidos alguns dados, como data, hora e local onde foi realizada a coleta, e dados sobre precipitação pluviométrica no período da amostragem. A Figura 11 apresenta um esquema com as principais etapas da pesquisa.

Figura 11 - Etapas da pesquisa



Fonte: A autora (2014).

4.3 Metodologias de análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará – LABOSAN/UFC. Para a caracterização física e química das amostras de lodo, foram utilizadas as metodologias descritas em Embrapa (2009), Brasil (2006a) e Brasil (2007), apresentadas na Tabela 8, a qual mostra as análises realizadas e seu respectivo método analítico e referência. A maioria das análises físico-químicas foi realizada de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 21th (2005).

Tabela 8 - Parâmetros e metodologias de análises físico-químicas em amostras de lodo de esgoto

Variável	Método Analítico	Referência
Temperatura (°C)	Termômetro de haste de mercúrio	-
pH	Potenciométrico	APHA, 2005
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Condutivimétrico – Sonda Multiparâmetros	-
Umidade (%)	Gravimétrico	APHA, 2005
PEL ¹ (g.L ⁻¹)	Gravimétrico	APHA, 2005
Sólidos Totais (%)	Gravimétrico - Secagem a 103 – 105°C	APHA, 2005
Sólidos Totais Fixos (%)	Gravimétrico – Ignição a 500 – 550°C	APHA, 2005
Sólidos Totais Voláteis (%)	Gravimétrico – Ignição a 500 – 550°C	APHA, 2005
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	Titulação potenciométrica	APHA, 2005
Ácidos Graxos Voláteis (mg.L ⁻¹)	Titulação potenciométrica	KAPP, 1984 <i>apud</i> Ribas, Moraes e Foresti, 2007
Nitrato (mg N.L ⁻¹)	Espectrofotométrico	APHA, 2005
Nitrito (mg N.L ⁻¹)	Espectrofotométrico	APHA, 2005
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg.L ⁻¹)	Kjeldahl	APHA, 2005
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ .L ⁻¹)	Destilação Preliminar	APHA, 2005
Fósforo Total (mgP.L ⁻¹)	Espectrofotométrico (Digestão – ácido ascórbico)	APHA, 2005
DQO ² (mgO ₂ .L ⁻¹)	Colorimétrico por refluxo fechado	APHA, 2005

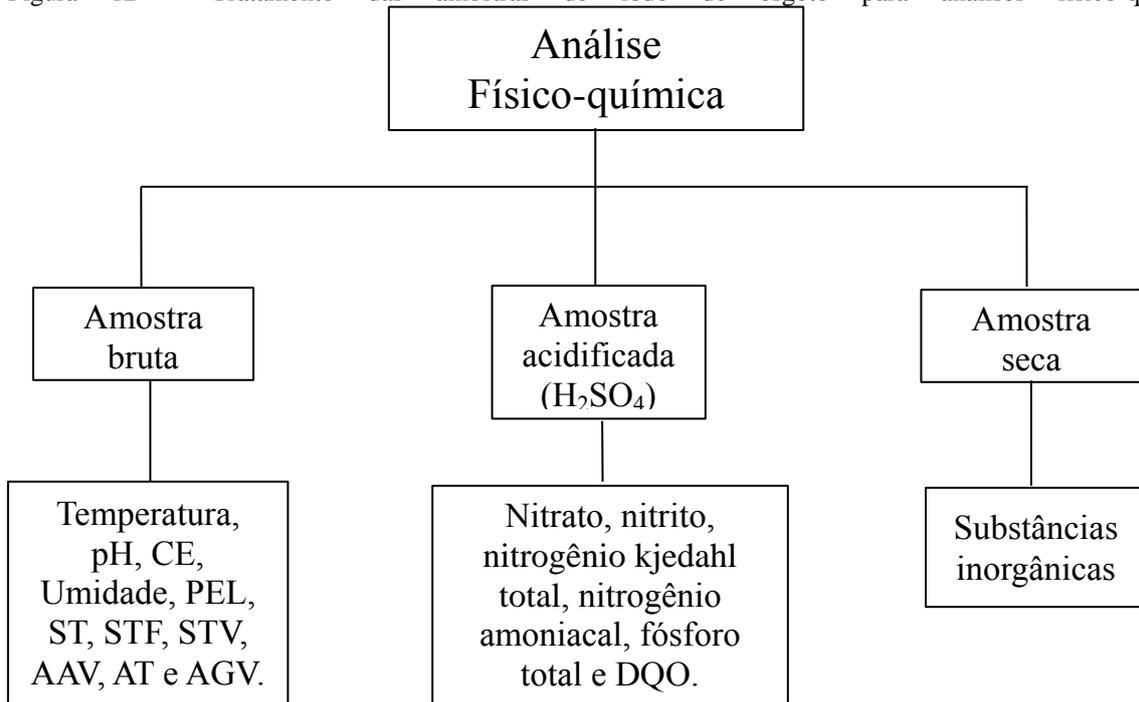
Fonte: A autora (2014).

¹Peso Específico do Lodo (PEL); ²DQO: Demanda química de oxigênio.

A temperatura das amostras de lodo foi medida em campo, logo após a coleta. As análises de pH, condutividade elétrica e série de sólidos foram realizadas no mesmo dia da coleta, ou no dia seguinte. Posteriormente, para realizar as demais análises foi necessário preparar sub amostras e armazená-las sob refrigeração a 4°C e, de acordo com a necessidade de cada ensaio, as amostras foram utilizadas “*in natura*”, base seca ou acidificada. Foi necessário realizar diluições devido à elevada concentração das amostras de lodo.

As amostras para análises físico-químicas foram homogeneizadas e fracionadas em três partes, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Tratamento das amostras de lodo de esgoto para análises físico-químicas



Fonte: A autora (2014).

CE: Condutividade Elétrica; ST: Sólidos Totais; STF: Sólidos Totais Fixos; STV: Sólidos Totais Voláteis; AT: Alcalinidade Total; AGV: Ácidos Graxos Voláteis; AAV: Alcalinidade de Ácidos Voláteis; DQO: Demanda Química de Oxigênio; PEL: Poder Específico do Lodo.

Como mostra a Figura 12, a determinação da temperatura, pH, condutividade elétrica, umidade, peso específico, série de sólidos, alcalinidade total, AAV e ácidos graxos foi realizada com a amostra "in natura", enquanto que para realizar a análise da série de nitrogênio, de fósforo total e DQO foi necessário acidificar a amostra até pH menor que 2, de acordo com APHA (2005) para inibir o crescimento dos microrganismos presentes no lodo de esgoto.

Para quantificar as substâncias inorgânicas existentes foi necessário realizar a secagem térmica das amostras de lodo, deixando-as em estufa por 48h à temperatura de 60°C.

4.4 Metodologia de análise microbiológica

Para a caracterização das amostras de lodo quanto à presença de indicadores bacteriológicos, foram analisados os parâmetros Coliformes Totais e *E. coli* pelo método de Substrato Cromogênico (kit Colilert®). Os ensaios foram realizados no LABOSAN - UFC.

De acordo com a empresa IDEXX Laboratories (2008), a base do ensaio é a tecnologia de substrato definido *Defined Substrate Technology* (DST). O método consiste em misturar o reagente DST com 100 mL de amostra e incubar em um ensaio tipo número mais

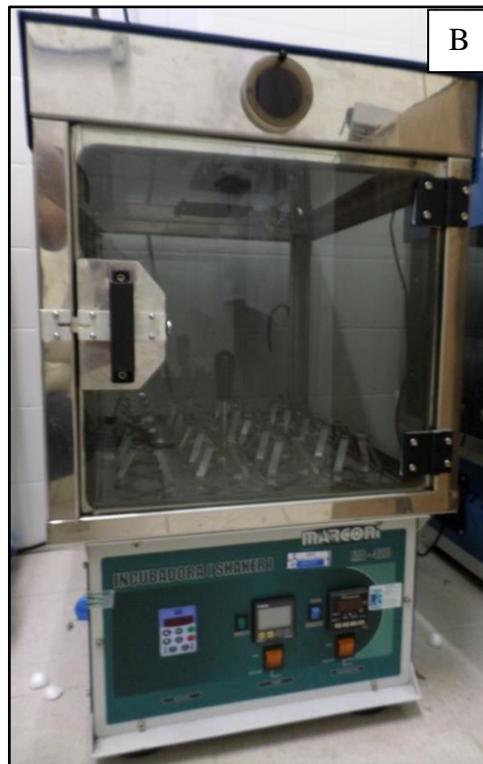
provável (NMP). A amostra adquire cor amarela quando as bactérias coliformes metabolizam o ONPG (o-nitrofenil-Beta-D-galactopiranosídeo), que serve como nutriente e indicador, e fluoresce sob luz UV quando a *E. coli* metaboliza o MUG (4-metil-umbeliferil-Beta-D-glucoronídeo), um outro nutriente e indicador.

Para realizar as análises foram utilizadas vidrarias esterilizadas em autoclave e a água de diluição foi autoclavada.

Para a realização dessas análises foram necessárias diluições seriadas da amostra. Nesse processo, 1g de amostra foi adicionada em 100 mL de água de diluição, constituindo a diluição inicial 1:10 (10^{-1}). Em seguida, foi retirada 1 mL dessa diluição que foi adicionada em um volume de 100 mL de água de diluição, formando a diluição 10^{-2} . As diluições subsequentes foram obtidas da mesma maneira. Após as diluições foi adicionado o reagente DST ao frasco de 100 mL, agitando até completa diluição dos grânulos.

Para quantificação, usou-se a técnica de número mais provável (NMP), desenvolvida em cartelas plásticas estéreis e descartáveis. A amostra foi colocada na cartela, selada com o selador Quanti-Tray Sealer e depois incubada a temperatura em torno de 35 a 37°C durante 24 horas numa incubadora (shaker) modelo MA – 420 (Figura 13). Essa cartela é projetada de forma a conter 97 concavidades com a mistura reagente-amostra após a selagem, possibilitando a distribuição automática da amostra nas concavidades de dois tamanhos diferentes, que proporciona uma faixa de contagem acima de 2000 colônias, com um nível de confiança de 95% (Figura 13). O selador é uma ferramenta motorizada de selagem por calor.

Figura 13 – A: Seladora utilizada na selagem das cartelas, B: Incubadora utilizada para incubar as amostras



Fonte: A autora (2014).

Após este período, promoveu-se à contagem das cavidades positivas, ou seja, células que desenvolveram coloração amarelo intenso e/ou fluorescência (Figura 14) e, com o auxílio de uma tabela fornecida pela COLILERT[®], obteve-se o NMP de colônias de bactérias coliformes e/ou *E. coli* a partir das equações 1 e 2.

Figura 14 - Cartelas com resultados positivos



Fonte: A autora (2014).

$$E. Coli \left(\frac{\text{NMP}}{100\text{mL}} \right) = \frac{\text{N}^\circ \text{ encontrado (cartela} \rightarrow \text{tabela)}}{\text{Diluição}} \quad (1)$$

$$C. T \left(\frac{\text{NMP}}{100\text{mL}} \right) = \frac{\text{N}^\circ \text{ encontrado (cartela} \rightarrow \text{tabela)}}{\text{Diluição}} \quad (2)$$

4.5 Metodologia para análise de substâncias inorgânicas

Para a caracterização do lodo de esgoto quanto à presença de substâncias inorgânicas, foram determinadas, de acordo com os Anexos II e IV da Resolução CONAMA Nº 375 de 2006, as seguintes substâncias: Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Selênio (Se) e Zinco (Zn).

Além disso, foi delimitada a concentração de Cálcio (Ca), Sódio (Na), Potássio (K), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Vanádio (V) e Cobalto (Co), pois são elementos inorgânicos que funcionam como nutrientes para as plantas.

A abertura das amostras foi realizada no Labosan/UFC, enquanto a quantificação das substâncias inorgânicas foi realizada no Laboratório de Estudos em Química Aplicada (LEQA) do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da Universidade Federal do Ceará – LEQA/UFC.

Antes de determinar os teores desses elementos, realizou-se a abertura das amostras de lodo por meio da digestão ácida com aquecimento assistido por radiação micro-ondas em frascos fechados para garantir a retenção de elementos voláteis e eliminar e/ou minimizar contaminações.

O método utilizado foi digestão com água régia invertida (3 HNO₃: 1 HCl), que consistiu em digerir 1g da amostra em 10 mL de água régia invertida, seguida pelo aquecimento em Digestor MARS (Figura 15). Posteriormente, esperou-se a amostra esfriar e realizou-se as diluições necessárias.

Figura 15 - Ilustração forno micro-ondas (Digestor MARS)



Fonte: A autora (2014).

Por fim, as concentrações totais dos metais extraídos da amostra foram determinadas por meio de espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), utilizando-se um espectrômetro de marca Perkin Elmer, modelo Optima 4300 DV com visão dupla (Figura 16).

Figura 16 - Ilustração do espectrômetro utilizado para quantificação de metais



Fonte: A autora (2014).

A amostra foi introduzida por um nebulizador de fluxo cruzado com uma câmara de spray de dupla passagem. Os parâmetros operacionais estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros operacionais do ICP-OES

Parâmetros	ICP-OES
Câmara de spray	Dupla passagem
Nebulizador	Fluxo cruzado
Potência RF (Kw)	1,1
Vazão de ar principal (L min ⁻¹)	15,00
Vazão de ar auxiliar (L min ⁻¹)	0,50
Vazão de ar nebulização (L min ⁻¹)	0,8
Taxa de aspiração (mL min ⁻¹)	1,4
Visão	Axial

Fonte: A autora (2014).

4.6 Análise dos dados

Em muitos tipos diferentes de experimentos, com um ou mais de um fator, um dos procedimentos estatísticos mais utilizados é a análise de variância (ANOVA), sendo um procedimento utilizado para comparar três ou mais tratamentos (MINGOTI, 2005).

Os resultados obtidos a partir da pesquisa experimental foram ordenados e classificados em três categorias: parâmetros físico-químicos, microbiológicos e substâncias inorgânicas. Os dados físico-químicos e de substâncias inorgânicas foram submetidos à análise de variância ao nível de significância de 5% para comparação entre os quatro grupos estudados, sendo avaliados por ANOVA e, quando apresentaram efeitos significativos, foram submetidos ao teste de comparação múltipla de médias, Teste de Tukey, para identificar onde ocorreu diferença.

Ao realizar-se uma análise de variância, a hipótese nula considerada é que não há diferença na média dos tratamentos (MINGOTI, 2005), assim, uma vez rejeitada a hipótese nula, para saber quais tratamentos se diferenciam, realizou-se o Teste de Tukey.

Realizou-se, também, o diagrama de caixa ou *box-plot* como ferramenta para visualizar a variação e dispersão dos resultados entre os lodos das diferentes ETE's. O *box-plot* representa a distribuição de um conjunto de dados com base em alguns de seus parâmetros descritivos (TRIOLA, 2008).

Para avaliar os parâmetros simultaneamente, foi utilizada a análise multivariada através do método Análise por Componentes Principais (PCA), que possibilita a representação de conjuntos de dados multivariados em um novo sistema de referência, caracterizado por um número menor de variáveis ortogonais em relação ao conjunto original, chamado de Componentes Principais (*Principal Component – PC*). Essa análise é importante, pois os dados envolvem um grande número de variáveis. Esse método gera uma representação gráfica, que permite a identificação de grupos de amostras que apresentam comportamentos similares ou características distintas (MINGOTI, 2005).

Os testes foram realizados no programa estatístico R versão 3.1.1 (10/07/2014). *Copyright (C) 2014 The R Foundation for Statistical Computing*. Plataforma: i386-w64-mingw32/i386 (32-bit).

Segundo R Core Team (2014), o programa R está disponível como software livre sob os termos da GNU *General Public License* em forma de código-fonte da *Free Software Foundation*. Ele compila e roda em uma ampla variedade de plataformas UNIX e sistemas similares, Windows e MacOS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química

As médias dos resultados de cada parâmetro analisado foram comparadas entre os lodos dos quatro locais diferentes, através da ANOVA, para verificar se existe diferença entre elas. O resultado estatístico após aplicação da análise de variância encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultado da análise de variância ANOVA para os parâmetros físico-químicos utilizando o programa R, com 3 graus de liberdade para os parâmetros e 8 para os resíduos

Tabela da ANOVA	Soma quadrado	Quadrado médio	Estatística F	p-valor
Temperatura	4,2500	14,1670	4,2500	0,0452
Resíduo	2,6670	0,3333		
pH	0,2299	0,0766	0,8840	0,4890
Resíduo	0,6937	0,0867		
CE	2.476.744	825.581	2.316	0,1520
Resíduo	2.852.120	356.515		
TU	85,72	28,572	19,22	0,000515
Resíduo	11,89	1,487		
PEL	2,752	917,3	2,718	0,115
Resíduo	2,700	337,5		
ST	95,40	31,80	34,77	6,15E-05
Resíduo	7,32	0,91		
SF	95,40	31,80	34,77	6,15E-05
Resíduo	7,32	0,91		
SV	25,431	8,477	29,91	1,07E-04
Resíduo	2,267	0,283		
AlcT	25,431	8,477	29,91	1,07E-04
Resíduo	2,267	0,283		
AAV	16776	5592	4,45	0,0406
Resíduo	10059	1257		
AGV	77826	25942	5,979	0,0193
Resíduo	34714	4339		
NTK	2528297	842766	4,062	0,0501
Resíduo	1659756	207469		
Norg	2753070	917690	4,327	0,0433
Resíduo	1696579	212072		
N.NH3	63129	21043	6,049	0,0187
Resíduo	27832	3479		
Pt	159593	53198	2,280	0,1560
Resíduo	186685	23336		
DQOt	168123632	56041211	1,184	0,3750
Resíduo	378801512	47350189		
DQOf	1144165	381388	0,347	0,793
Resíduo	8796130	1099516		

Fonte: A autora (2014).

CE: Condutividade Elétrica; TU: Teor de Umidade; PEL: Peso Específico do Lodo; ST: Sólidos Totais; SV: Sólidos Voláteis; SF: Sólidos Fixos; AlcT: Alcalinidade Total; AAV: Alcalinidade de Ácidos Voláteis; AGV: Ácidos Graxos Voláteis; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl; Norg: Nitrogênio orgânico; N.NH₃: Nitrogênio amoniacal; Pt: Fósforo total; DQOt e DQOf: Demanda Química de Oxigênio total e filtrada, respectivamente.

De acordo com a Tabela 10, considerando-se um nível de significância de 5%, percebe-se que não é possível rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias dos parâmetros: pH, CE, PEL, fósforo total, DQOt e DQOf, enquanto que para teor de umidade, série de sólidos (sólidos totais, fixos e voláteis), alcalinidade total, ácidos graxos voláteis e nitrogênio amoniacal é possível rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias, apresentando assim alguma diferença entre as mesmas. Porém, para as médias de temperatura, Alcalinidade de Ácidos Voláteis (AAV), nitrogênio orgânico e Kjeldahl não se tem tanta certeza quanto à rejeição de igualdade entre as médias, sendo necessário realizar um teste para confirmar essa hipótese. Assim, a partir desses resultados realizou-se o teste de Tukey para verificar onde estão as diferenças para cada parâmetro analisado.

5.1.1 *Temperatura, pH, condutividade elétrica (CE), alcalinidade total, Alcalinidade de Ácidos Voláteis (AAV) e Ácidos Graxos Voláteis (AGV)*

Aplicou-se o teste de Tukey individualmente para cada parâmetro, com intervalo de confiança de 95%, e obtiveram-se os resultados constantes da Tabela 11.

Tabela 11 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de temperatura em amostras de lodo

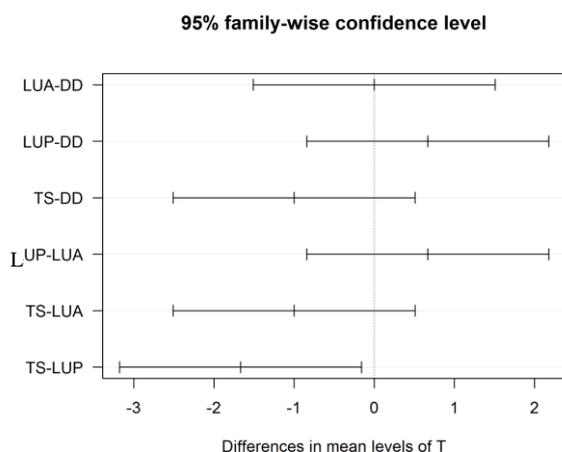
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	0,0000000	-1,5096032	1,5096032	1,0000000
LUP-DD	0,6666667	-0,8429365	2,1762699	0,5252407
TS-DD	-1,0000000	-2,5096032	0,5096032	0,2252476
LUP-LUA	0,6666667	-0,8429365	2,1762699	0,5252407
TS-LUA	-1,0000000	-2,5096032	0,5096032	0,2252476
TS-LUP	-1,6666667	-3,1762699	-0,1570635	0,0313874

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Tabela 11 indica que a diferença no intervalo TS-LUP é significativa, ou seja, há diferença nas médias de temperatura entre o lodo de tanque séptico e o oriundo da ETE-PAJUÇARA, ao passo que LUA-DD, LUP-DD, TS-DD, LUP-LUA e TS-LUA não são significativas, não havendo diferença entre as temperaturas médias dos demais lodos. Esses resultados são mais fáceis de interpretar visualizando os intervalos de confiança para as diferenças das médias constantes do gráfico de Tukey (Figura 17).

Figura 17 – Gráfico de Tukey para temperatura



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A partir da Figura 17 pode-se observar que os intervalos de confiança para LUA-DD, LUP-DD, TS-DD, LUP-LUA e TS-LUA contêm o 0, sendo que se o zero pertence ao intervalo de confiança a hipótese de igualdade entre as médias não é rejeitada. Assim, verifica-se que não há diferença significativa entre as médias de temperatura para esses intervalos. Entretanto, apenas o intervalo de confiança para TS-LUP não contém o 0, assim verifica-se que há diferença significativa entre as médias de temperatura do lodo séptico e lodo da ETE-PAJUÇARA. Portanto, há diferença estatística, apenas, entre as temperaturas médias do lodo de tanque séptico e lodo da ETE-PAJUÇARA.

Na Tabela 12 mostra-se o resultado do teste de Tukey para o pH.

Tabela 12 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de pH em amostras de lodo

Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	0,3000000	-0,4699716	1,0699716	0,6168980
LUP-DD	0,3233333	-0,4466383	1,0933050	0,5629944
TS-DD	0,0833333	-0,6866383	0,8533050	0,9846603
LUP-LUA	0,0233333	-0,7466383	0,7933050	0,9996438
TS-LUA	-0,2166667	-0,9866383	0,5533050	0,8048271
TS-LUP	-0,2400000	-1,0099716	0,5299716	0,7548132

Fonte: A autora (2014).

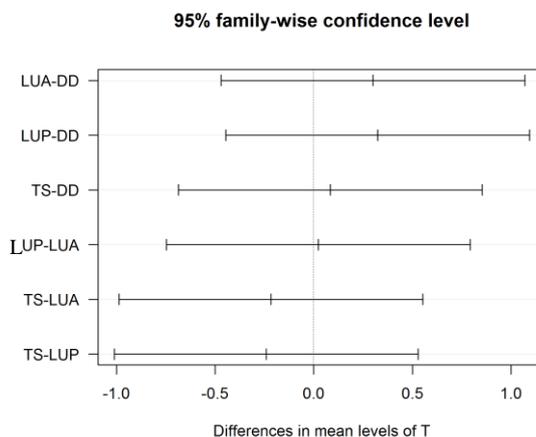
LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Tabela 12 indica que não houve diferença significativa entre as médias de pH dos lodos estudados. Visualizando os intervalos de confiança para as diferenças das médias através do gráfico para o teste de Tukey do pH (Figura 18), é possível perceber que todos

sobrepõem a diferença igual a zero, indicando, assim, que as médias são semelhantes, e, não havendo, portanto, diferença entre as médias de pH nos lodos.

Na Figura 18 apresenta-se o gráfico de Tukey para o pH.

Figura 18 – Gráfico de Tukey para pH



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Na Tabela 13 consta o resultado do teste de Tukey para a condutividade elétrica.

Tabela 13 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de condutividade elétrica

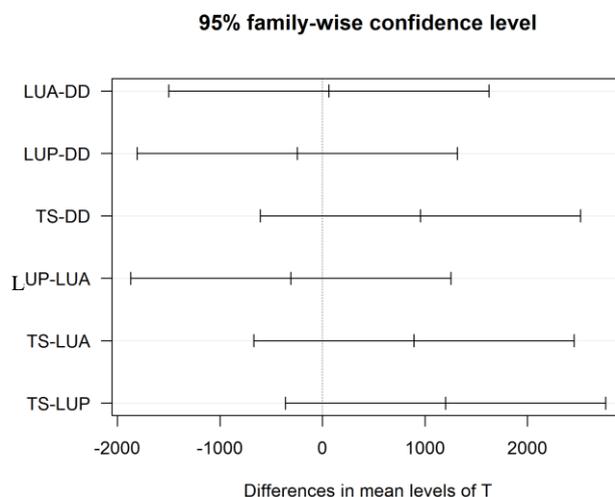
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	62,66667	-1498,5471	1623,880	0,9991752
LUP-DD	-245,00000	-1806,2137	1316,214	0,9562037
TS-DD	954,25000	-606,9637	2515,464	0,2789433
LUP-LUA	-307,66667	-1868,8804	1253,547	0,9191303
TS-LUA	891,58333	-669,6304	2452,797	0,3278782
TS-LUP	1199,25000	-361,9637	2760,464	0,1421189

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

O gráfico de Tukey para condutividade elétrica encontra-se na Figura 19.

Figura 19 – Gráfico de Tukey para condutividade elétrica



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

De acordo com a Tabela 13 e a Figura 19 tem-se que não houve diferença significativa entre as médias de condutividade elétrica para as amostras de lodo coletadas, visto que todos os intervalos de confiança sobrepõem à diferença igual à zero. Isso confirma o que foi concluído na ANOVA.

Na Tabela 14 apresenta-se o resultado do teste de Tukey para a alcalinidade total.

Tabela 14 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias Alcalinidade Total (Alc.T)

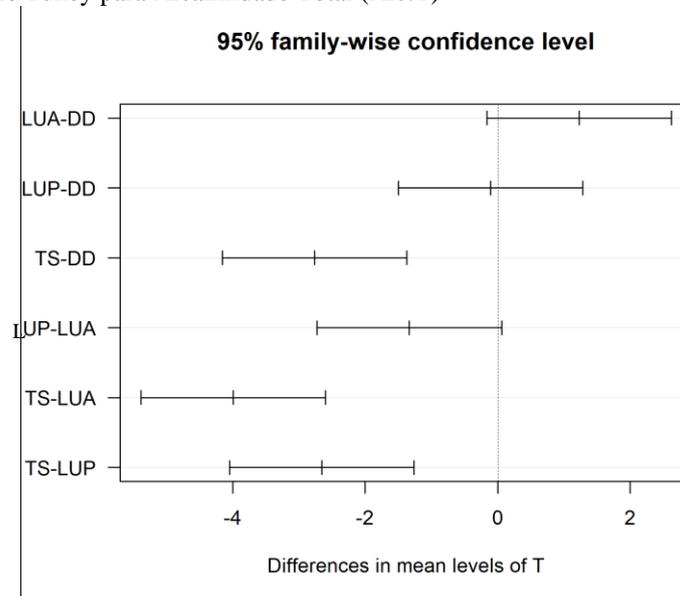
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	1,2266667	-0,1653234	2,61865672	0,0855292
LUP-DD	-0,1066667	-1,4986567	1,28532339	0,9943881
TS-DD	-2,7633333	-4,1553234	-1,37134328	0,0009904
LUP-LUA	-1,3333333	-2,7253234	0,05865672	0,0604745
TS-LUA	-3,9900000	-5,3819901	-2,59800995	0,0000744
TS-LUP	-2,6566667	-4,0486567	-1,26467661	0,0012875

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Figura 20 contém o gráfico de Tukey para a alcalinidade total.

Figura 20 – Gráfico de Tukey para Alcalinidade Total (Alc.T)



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Segundo os dados da Tabela 14 e Figura 20, verifica-se que para os intervalos de confiança LUA-DD, LUP-DD e LUP-LUA a hipótese nula de igualdade entre os níveis (médias) é aceita, ou seja, as médias são semelhantes, enquanto que os intervalos TS-DD, TS-LUA e TS-LUP apresentaram diferença entre as médias. No entanto, as médias das concentrações de alcalinidade total do lodo de tanque séptico possui diferença em relação aos demais tipos de lodo (lodo de decanto-digestor e de reator UASB das ETEs – ARACAPÉ III e PAJUÇARA).

Na Tabela 15 mostra-se o resultado do teste de Tukey para alcalinidade de ácidos voláteis, enquanto a Figura 21 contém o gráfico.

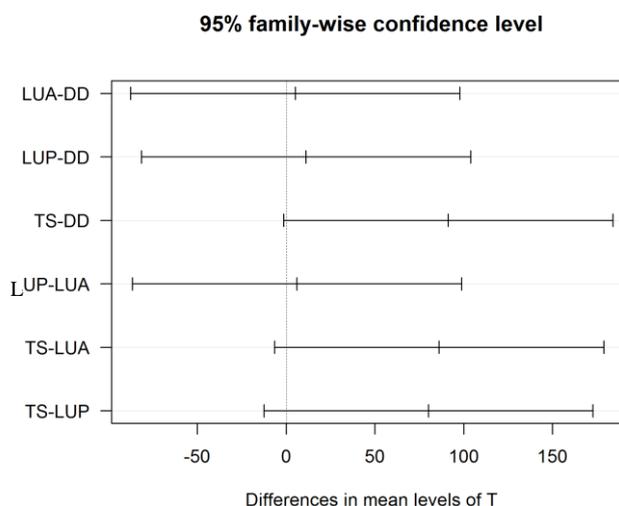
Tabela 15 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias da Alcalinidade de Ácidos Voláteis (AAV)

Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	5,103333	-87,613203	97,81987	0,9978890
LUP-DD	11,146667	-81,569870	103,86320	0,9792680
TS-DD	91,283333	-1,433203	183,99987	0,0536092
LUP-LUA	6,043333	-86,673203	98,75987	0,9965168
TS-LUA	86,180000	-6,536537	178,89654	0,0687512
TS-LUP	80,136667	-12,579870	172,85320	0,0923220

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Figura 21 – Gráfico de Tukey para AAV



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Figura 21 confirma que não há diferença significativa entre as médias do resultado de AAV para os lodos em estudo, visto que todos os intervalos de confiança sobrepõem à diferença igual a zero. De acordo com o resultado da ANOVA ($p\text{-valor} = 0,0406$) fica difícil tomar uma decisão quanto à rejeição da igualdade entre as médias, pois o valor de p é próximo ao nível de significância. Assim, de acordo com o resultado do teste de Tukey, confirma-se que não há diferença significativa entre as médias.

Na Tabela 16 mostra-se o resultado do teste de Tukey para a concentração de ácidos graxos voláteis.

Tabela 16 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para concentração de AGV

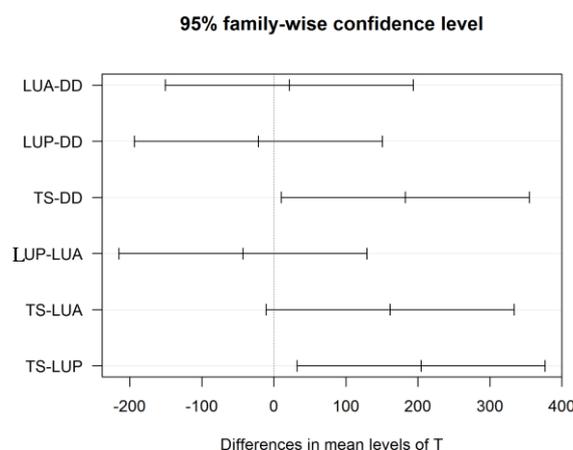
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	21,38000	-150,85806	193,6181	0,9772912
LUP-DD	-21,60333	-193,84140	150,6347	0,9766108
TS-DD	182,56667	10,32860	354,8047	0,0381979
LUP-LUA	-42,98333	-215,22140	129,2547	0,8530125
TS-LUA	161,18667	-11,05140	333,4247	0,0668081
TS-LUP	204,17000	31,93194	376,4081	0,0219401

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

O Gráfico de Tukey para AGV consta na Figura 22.

Figura 22 – Gráfico de Tukey para AGV



Fonte: A autora (2014).

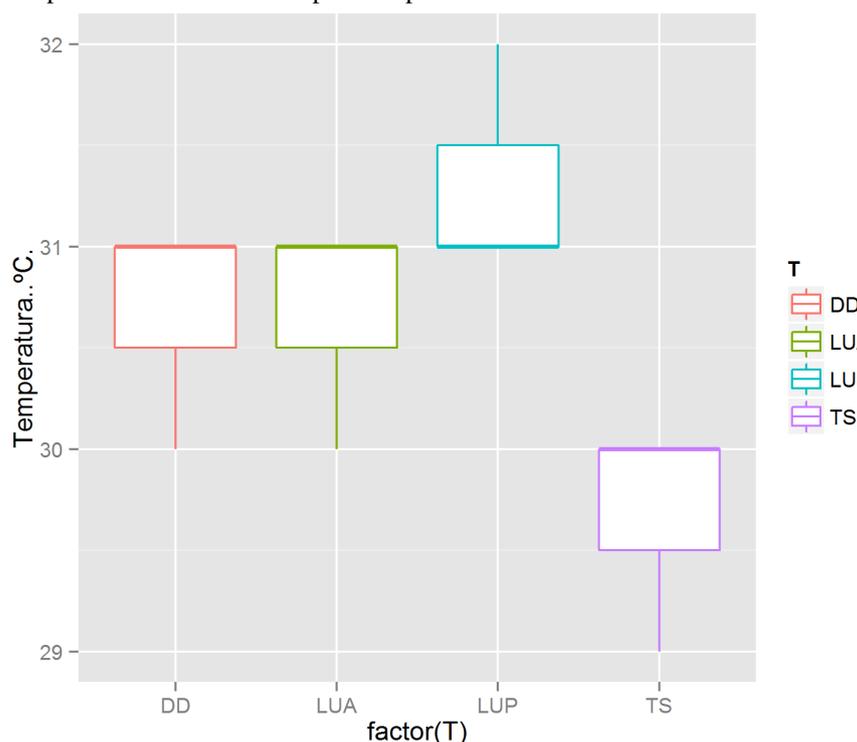
LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

O gráfico de Tukey para AGV (Figura 22) mostra que os intervalos de confiança para LUA-DD, LUP-DD, LUP-LUA e TS-LUA não apresentaram diferença significativa entre as médias, não havendo diferença entre as concentrações de AGV para o lodo da ETE-ARACAPE III, lodo de decanto-digestor e lodo da ETE-PAJUÇARA e nem entre as amostras de lodo séptico (tanque séptico) e o lodo da ETE-ARACAPÉ III. No entanto, o lodo de tanque séptico possui concentrações médias de AGV estatisticamente diferentes do lodo de decanto-digestor e da ETE-PAJUÇARA.

Com a finalidade de observar a posição, dispersão e simetria dos dados e compará-los entre os quatro grupos de lodo das diferentes ETE's, construiu-se o diagrama de caixas ou *box-plot* para cada parâmetro.

Na Figura 23 encontra-se o diagrama de caixas para a temperatura.

Figura 23 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para temperatura em amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

Para a temperatura, não houve diferença entre as medianas para DD, LUA e LUP. De acordo com a Figura 23 é possível visualizar claramente a posição e distribuição de cada lodo no que diz respeito à temperatura. Lodo de decanto-digestor e lodo da ETE-ARACAPÉ III têm a mesma distribuição por percentis, ocupando posição com mediana igual a 31°C. O lodo da ETE-PAJUÇARA não apresentou a mesma distribuição dos anteriores, porém, também, possui mediana igual a 31°C, enquanto que o lodo de tanque séptico (ETE-NOVA METRÓPOLE) apresentou mediana igual a 30°C.

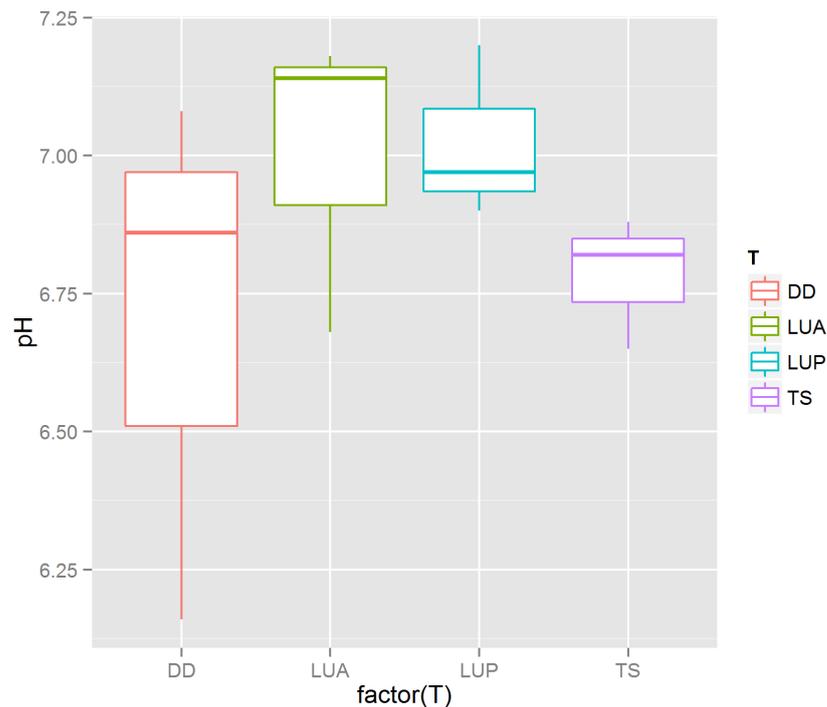
É possível perceber, ainda, que existe uma distribuição assimétrica dos dados, pois a mediana não se localiza relativamente próxima ao centro. Assim, os dados de temperatura para o lodo de decanto-digestor, de tanque séptico e da ETE-ARACAPÉ III apresentaram

assimetria à esquerda, enquanto o lodo da ETE-PAJUÇARA apresentou distribuição assimétrica à direita (Figura 23).

Ainda, de acordo com a Figura 23 tem-se que os valores de temperatura determinados nos lodos são favoráveis ao desenvolvimento biológico, visto que, de acordo com Jordão e Pessoa (2005), a temperatura ótima para a atividade biológica é entre 25 e 35°C e a faixa geral de temperatura dos lodos ficou entre 29 e 32°C.

Na Figura 24 encontra-se o *box-plot* para o pH.

Figura 24 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para pH em amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

Para o pH, de acordo com a Figura 24 é possível perceber que houve maior dispersão nos resultados para o lodo proveniente da ETE-PEQUENO MONDUBIM e ARACAPÉ III, enquanto que houve menor dispersão para os valores de pH de lodo séptico e da ETE-PAJUÇARA. Os dados apresentam, ainda, distribuição assimétrica à esquerda para o lodo de decanto-digestor, tanque séptico e da ETE-ARACAPÉ III, enquanto os dados do lodo proveniente da ETE-PAJUÇARA apresentaram assimetria à direita.

Observa-se que o valor de pH para os lodos se encontra dentro do intervalo considerado normal para lodo de esgoto doméstico, pois permanece numa faixa próxima ao pH neutro, variando de, aproximadamente, 6,0 a 7,25 e assim conferindo, aos lodos, melhores

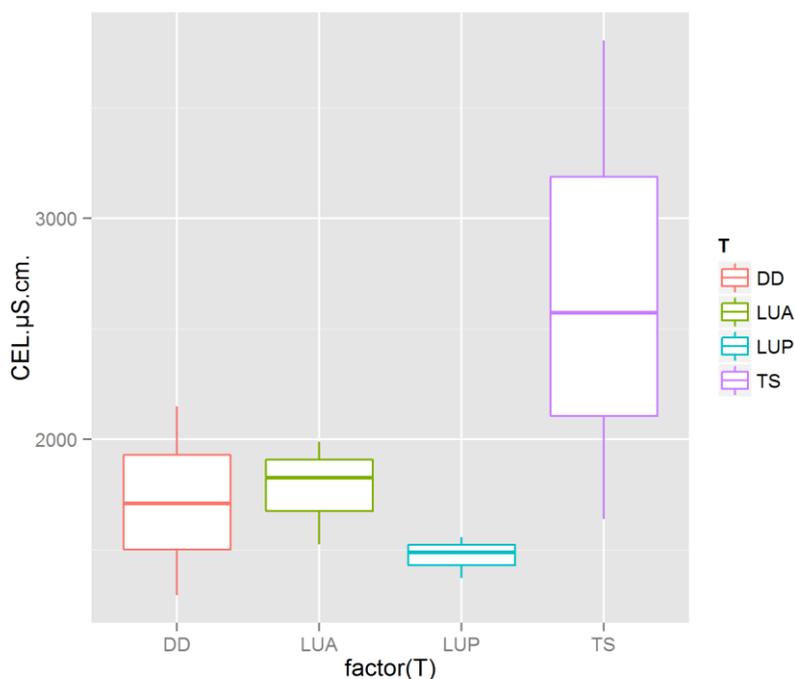
condições para que a atividade microbiológica se desenvolva, visto que grande parte dos microrganismos atuam em pH próximo da neutralidade (CORREIA, 2009).

Estudos de caracterização de lodo realizados por Gonçalves (2005), Correia (2009), Feitosa (2009) e Santos (2012) também encontraram pH na faixa da neutralidade, sendo essa característica comum nesse tipo de material.

O pH é um fator determinante para aplicação agrícola do lodo, devido a capacidade de alterar o pH do solo e da sua influência sobre a absorção de metais pelo solo e pelas plantas. No entanto, de acordo com os resultados é possível perceber que os lodos podem favorecer a percolação de metais pesados eventualmente presentes na massa de lodo, pois, segundo Correia (2009), isso ocorre em lodo contendo baixo pH (menor que 6,5). No entanto, é necessário verificar a presença de metais pesados no lodo como medida preventiva de analisar os possíveis riscos com a aplicação desses lodos.

Na Figura 25 apresenta-se o diagrama de caixas para a condutividade elétrica.

Figura 25 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para condutividade elétrica em amostras de lodo da RMF



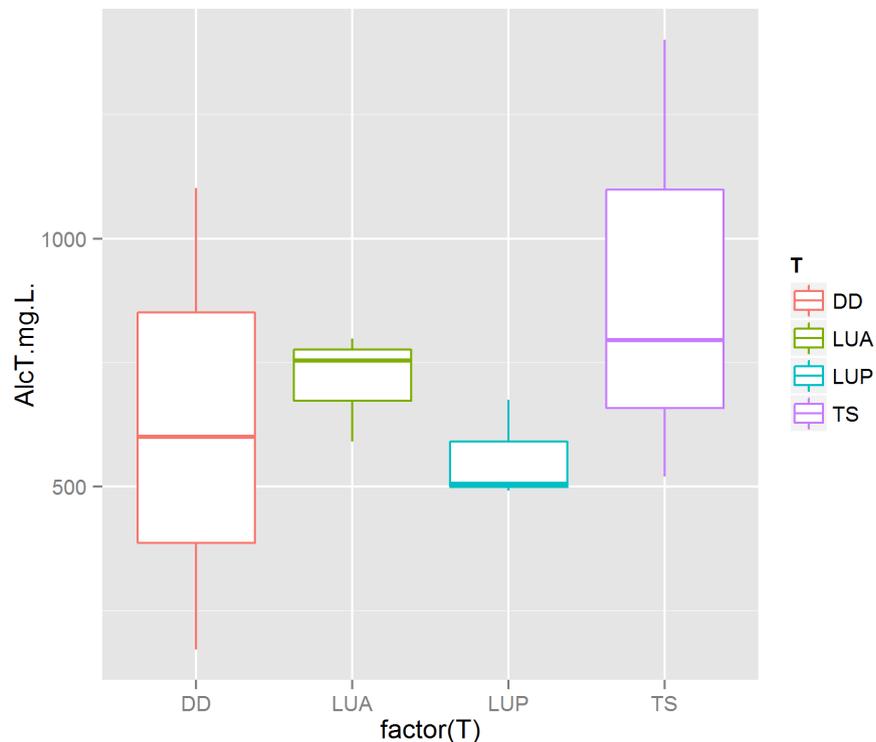
Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

Analisando a Figura 25 conclui-se que os lodos de tanque séptico e de decanto-digestor possuem maior dispersão e simetria para os resultados de condutividade elétrica, enquanto o lodo da ETE-PAJUÇARA e ARACAPÉ III apresentou menor dispersão e maior assimetria.

A Figura 26 apresenta o gráfico *box-plot* para a alcalinidade total.

Figura 26 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para alcalinidade total em amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

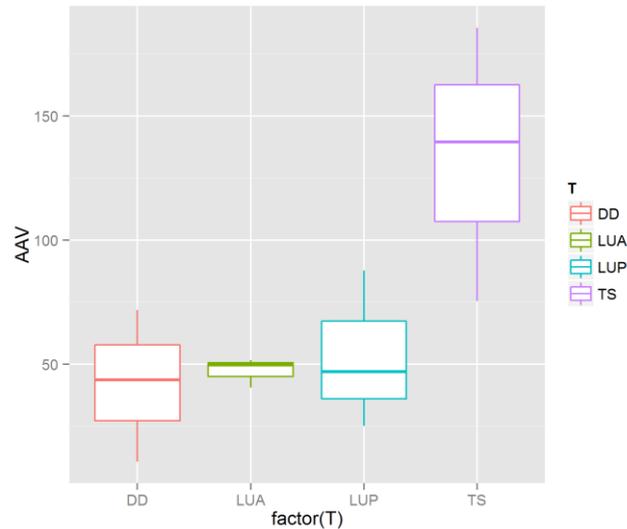
Analisando o *box-plot* da Figura 26 verifica-se maior dispersão entre os resultados de alcalinidade total para o lodo de decanto-digestor e de tanque séptico, enquanto que o lodo proveniente de reatores UASB apresentaram menor dispersão entre os valores. Além disso, os dados possuem distribuição mais simétrica para o lodo de decanto-digestor, assimetria à direita ou assimetria positiva para lodo de tanque séptico e da ETE-PAJUÇARA e assimetria negativa (assimetria à esquerda) para lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III.

De acordo com Metcalf e Eddy (2003), a composição típica de lodos estudados no Brasil possui alcalinidade total na faixa de 500 – 1500 (mg CaCO_3/L), assim os lodos de decanto-digestor e da ETE-PAJUÇARA apresentaram um pequeno desvio quanto ao padrão característico de lodo de esgoto, pois foram encontrados valores abaixo da faixa citada (Figura 26).

Estudos realizados por Belli Filho *et al.* (2004), Ingunza *et al.* (2009), Ratis (2009) e Vasconcelos (2012) geraram resultados para alcalinidade total e condutividade elétrica com valores próximos aos obtidos neste estudo.

A Figura 27 contém o *box-plot* para alcalinidade de ácidos voláteis.

Figura 27 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Alcalinidade de Ácidos Voláteis (AAV) em amostras de lodo da RMF



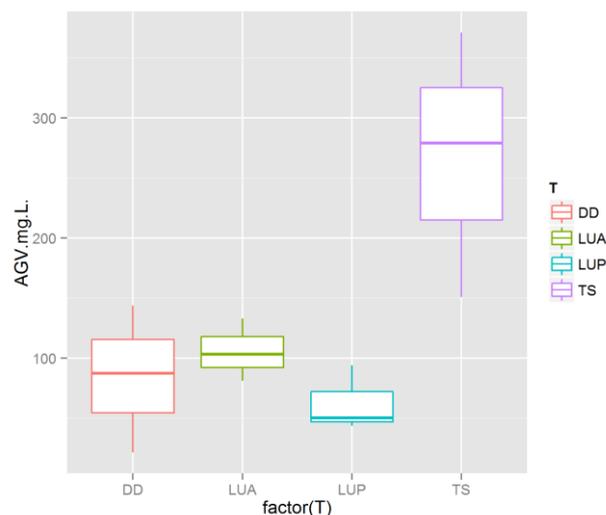
Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

De acordo com o *box-plot* para AAV (Figura 27), observa-se maior dispersão para os dados do lodo de tanque séptico e menor para o lodo da ETE-ARACAPÉ III. O lodo de decanto-digestor apresentou melhor simetria em relação aos demais.

Na Figura 28 tem-se o diagrama de caixas para ácidos graxos voláteis.

Figura 28 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Ácidos Graxos Voláteis (AGV) em amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

De acordo com o *box-plot* para AGV (Figura 28), tem-se maior dispersão para os dados do lodo de tanque séptico e de decanto-digestor, e melhor simetria para esses e lodo da ETE-ARACAPÉ III. O lodo da ETE-PAJUÇARA apresentou assimetria à direita.

A presença de ácidos graxos voláteis no lodo é preocupante, pois são tóxicos para as bactérias metanogênicas em sua forma não ionizada. Porém, as concentrações de AGV determinadas nos lodos não causam efeito nocivo significativo às bactérias metanogênicas presentes, pois o pH encontra-se numa faixa entre 6,0 e 8,0, na qual, de acordo com Pereira, Campos e Moterani (2009), os ácidos orgânicos encontram-se, em sua maioria (>99%), em sua forma ionizada (não tóxica).

5.1.2 *Série de Sólidos, teor de umidade e peso específico do lodo*

Após a análise de variância foi realizado o teste de Tukey para comparar as médias dos sólidos totais, sólidos totais fixos e voláteis, além do teor de umidade (TU) e peso específico dos lodos (PEL), cujos resultados estão apresentados a seguir.

A Tabela 17 mostra o resultado do teste de Tukey, tanto para sólidos totais quanto para sólidos totais fixos.

Tabela 17 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Sólidos Totais (ST) e Sólidos Totais Fixos (SF)

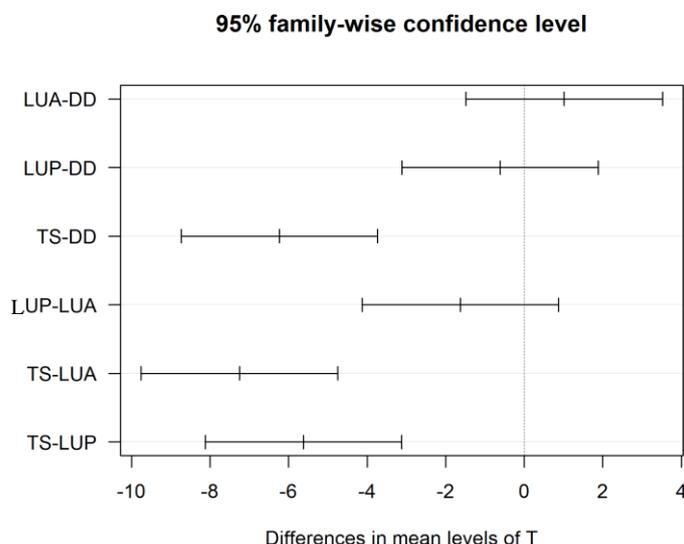
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	1,01667	-1,483903	3,517237	0,5866271
LUP-DD	-0,61333	-3,113903	1,887237	0,8590728
TS-DD	-6,23667	-8,737237	-3,736097	0,0002036
LUP-LUA	-1,63000	-4,130570	0,870570	0,2355599
TS-LUA	-7,25333	-9,753903	-4,752763	0,0000682
TS-LUP	-5,62333	-8,123903	-3,122763	0,0004222

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Na Figura 29 encontra-se o gráfico de Tukey para sólidos totais e fixos.

Figura 29 – Gráfico de Tukey para Sólidos Totais (ST) e Sólidos Totais Fixos (SF)



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

De acordo com a Figura 29, não há diferença entre os intervalos de confiança para LUA-DD, LUP-DD e LUP-LUA, indicando que as médias para o teor de sólidos totais e sólidos totais fixos não apresentam diferença estatística significativa, enquanto que houve para os intervalos do lodo de tanque séptico com os demais lodos, mostrando que existe diferença para o teor de ST e SF entre o lodo séptico e os demais.

Na Tabela 18 encontra-se o resultado do teste de Tukey para sólidos totais voláteis.

Tabela 18 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Sólidos Totais Voláteis (SV)

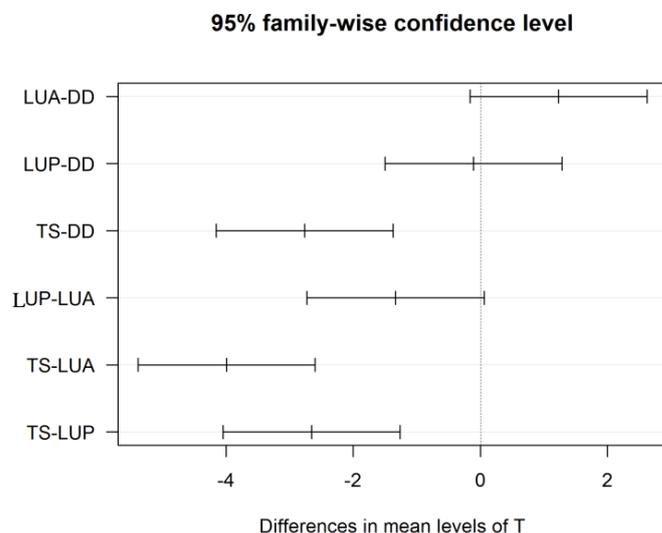
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	1,2266667	-0,1653234	2,61865672	0,0855292
LUP-DD	-0,1066667	-1,4986567	1,28532339	0,9943881
TS-DD	-2,7633333	-4,1553234	-1,37134328	0,0009904
LUP-LUA	-1,3333333	-2,7253234	0,05865672	0,0604745
TS-LUA	-3,9900000	-5,3819901	-2,59800995	0,0000744
TS-LUP	-2,6566667	-4,0486567	-1,26467661	0,0012875

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Na Figura 30 apresenta-se o gráfico de Tukey para sólidos totais voláteis.

Figura 30 – Gráfico de Tukey para Sólidos Totais Voláteis (SV)



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Assim como o resultado do teste de Tukey para ST e SV, as médias para o teor de Sólidos Totais Voláteis (SV) apresentaram diferença apenas entre o lodo séptico (tanque séptico) e os demais lodos, conforme mostra a Figura 30.

A Tabela 19 contém dados do teste de Tukey para teor de umidade.

Tabela 19 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Teor de Umidade (TU) das amostras de lodo

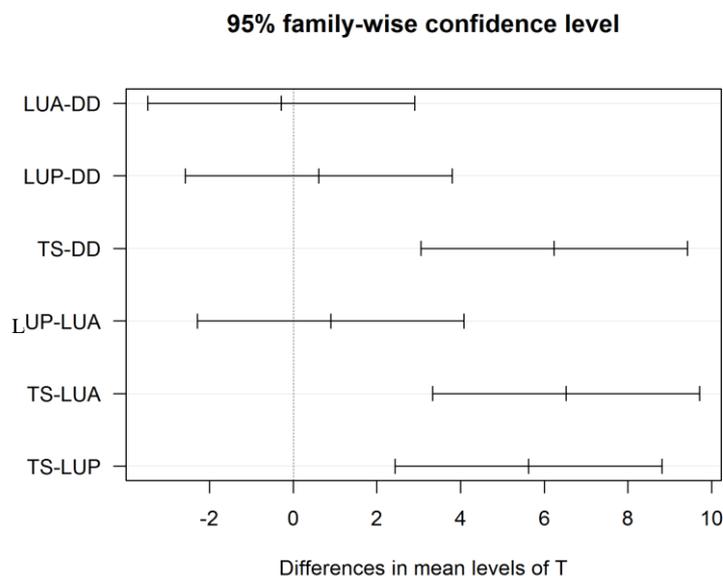
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	-0,28333	-3,471349	2,904683	0,9913367
LUP-DD	0,61333	-2,574683	3,801349	0,9240885
TS-DD	6,23667	3,048651	9,424683	0,0010924
LUP-LUA	0,89667	-2,291349	4,084683	0,8050403
TS-LUA	6,52000	3,331984	9,708016	0,0008103
TS-LUP	5,62333	2,435317	8,811349	0,0021534

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Na Figura 31 apresenta-se o gráfico de Tukey para o teor de umidade.

Figura 31 – Gráfico de Tukey para Teor de Umidade (TU) das amostras de lodo



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

O gráfico de Tukey para o teor de umidade (Figura 31) mostra que há diferença para as médias dos intervalos do lodo de tanque séptico com os demais lodos, visto que os intervalos de confiança TS-DD, TS-LUA e TS-LUP não sobrepõem à diferença igual a zero, indicando que as médias não são semelhantes. Assim, apenas o teor de umidade dos lodos de decanto-digestor e das ETEs – ARACAPÉ III e PAJUÇARA não apresentam diferenças entre si, visto que os intervalos LUA-DD, LUP-DD e LUP-LUA sobrepõem à diferença igual a zero.

A Tabela 20 contém o resultado do teste de Tukey para o poder específico do lodo.

Tabela 20 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Poder Específico do Lodo (PEL)

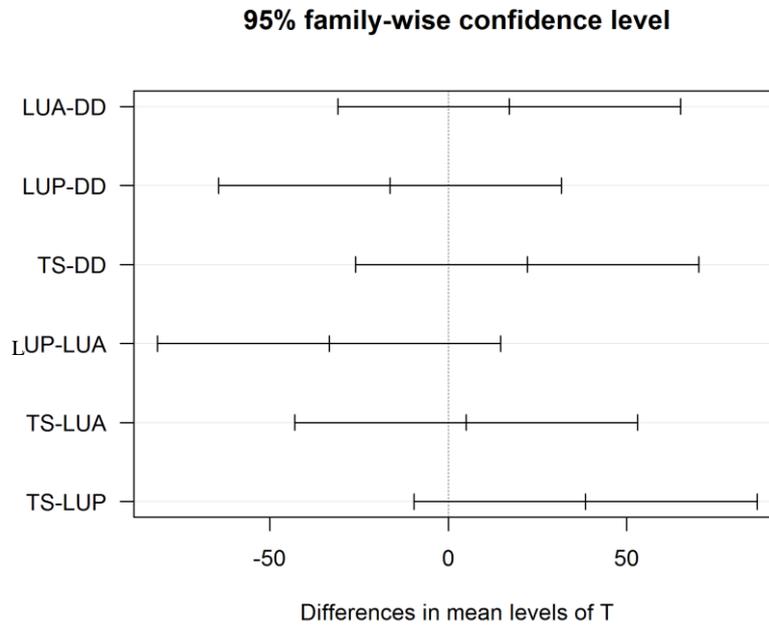
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	17,063333	-30,969983	65,09665	0,6785523
LUP-DD	-16,363333	-64,396649	31,66998	0,7044576
TS-DD	22,096667	-25,936649	70,12998	0,4939873
LUP-LUA	-33,426667	-81,459983	14,60665	0,1951328
TS-LUA	5,033333	-42,999983	53,06665	0,9860246
TS-LUP	38,460000	-9,573316	86,49332	0,1229193

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

O gráfico de Tukey para o poder específico do lodo consta na Figura 32.

Figura 32 – Gráfico de Tukey para Poder Específico do Lodo (PEL)



Fonte: A autora (2014).

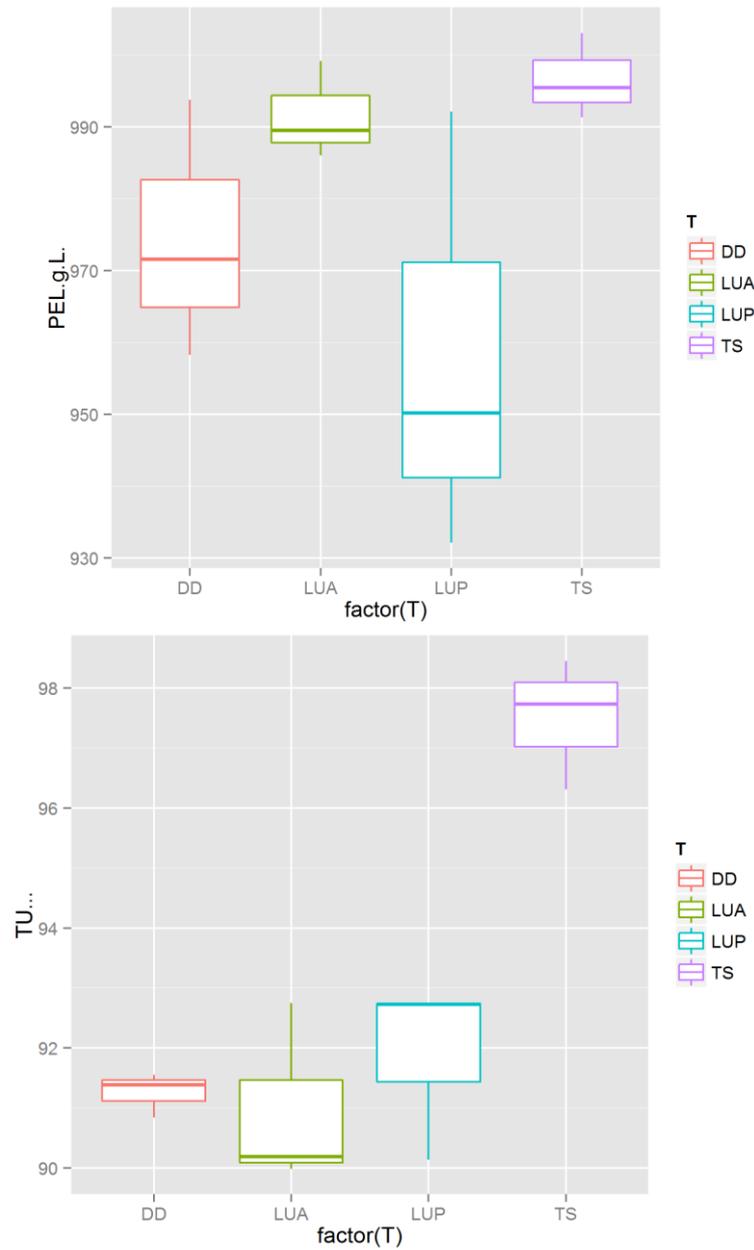
LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Segundo a Figura 32, não houve diferença estatística significativa entre as médias para os valores de poder específico do lodo entre nenhum tipo de lodo estudado, pois em todos os intervalos é possível perceber a sobreposição à diferença igual a zero, confirmando, assim, os resultados obtidos pela análise de variância ANOVA.

Para observar a posição, dispersão e simetria dos dados da série de sólidos, teor de umidade e peso específico do lodo e compará-los entre os quatro grupos de lodo das diferentes ETE's, construíram-se diagramas de caixas ou *box-plot* para cada parâmetro.

Na Figura 33 apresentam-se os diagramas de caixas para o poder específico e teor de umidade.

Figura 33 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para peso específico do lodo (PEL) e teor de umidade (TU) das amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

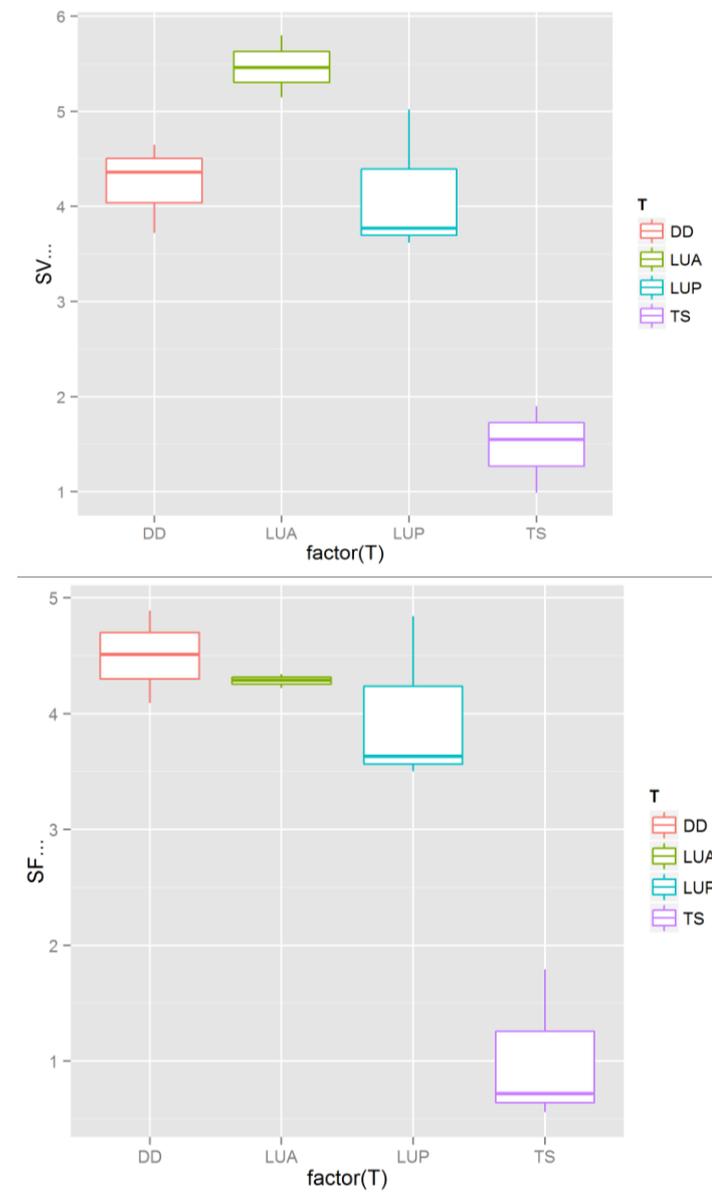
DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

Com relação ao peso específico do lodo, foi observado que ocorreu maior dispersão entre os valores obtidos para o lodo da ETE-PAJUÇARA e de decanto-digestor, enquanto que os lodos da ETE-ARACAPÉ III e lodo séptico apresentaram resultados com menor dispersão. No geral, os resultados apresentaram assimetria à direita (Figura 33).

Analisando, ainda, a Figura 33, verifica-se que o lodo de tanque séptico apresentou teor de umidade elevada em relação aos demais lodos, enquanto que o lodo da ETE-ACARAPÉ III apresentou menor valor mediano para a umidade do lodo. Os dados para o lodo séptico apresentaram maior simetria, enquanto os do lodo de decanto-digestor e lodo da ETE-PAJUÇARA apresentaram assimetria à esquerda e nos dados do lodo da ETE-ARACAPÉ III verificou-se assimetria à direita.

Na Figura 34 encontram-se os gráficos *box-plot* para sólidos totais e fixos.

Figura 34 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para sólidos totais fixos (SF) e sólidos totais voláteis (SV) das amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

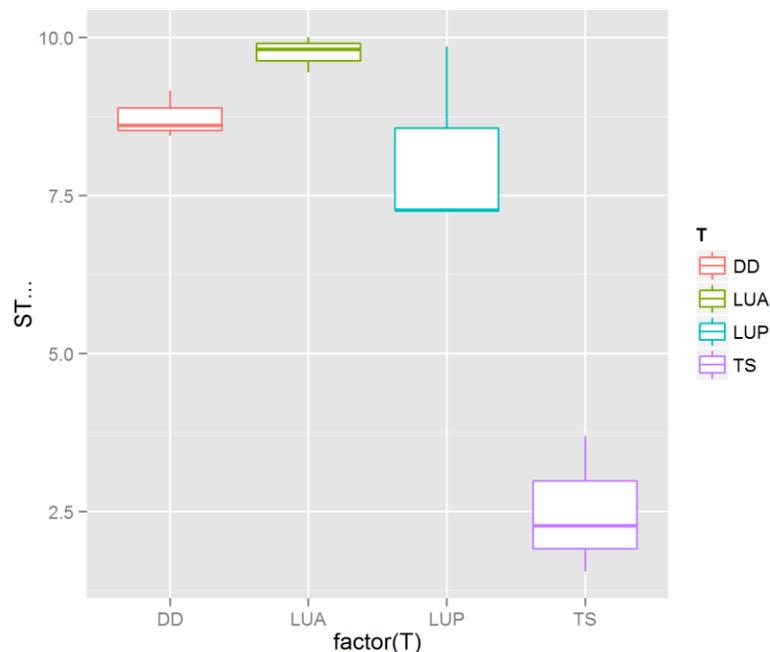
A fração volátil dos sólidos totais apresentou resultados com distribuição mais simétrica para o lodo séptico e da ETE-ACARAPÉ III, enquanto que o lodo proveniente da ETE-PAJUÇARA apresentou distribuição assimetria à direita. O lodo de tanque séptico e lodo da ETE-PAJUÇARA apresentaram distribuição assimétrica à direita quanto à fração fixa dos sólidos totais, enquanto que o lodo de decanto-digestor e da ETE-ACARAPÉ apresentaram distribuição simetria em relação ao resultado de sólidos fixos (Figura 34).

Os dados de SV e SF para lodo da ETE-ARACAPÉ III apresentaram menor dispersão, os do lodo da ETE-PAJUÇARA corresponderam à dispersão semelhante, tanto para teor de SV quanto para SF, enquanto que para lodo de tanque séptico houve maior dispersão nos resultados de SF que de SV.

Analisando, ainda, a Figura 34 percebe-se que o lodo séptico possui menor teor de sólidos tanto fixos quanto voláteis, em relação aos demais lodos. Os lodos de decanto-digestor e da ETE-PAJUÇARA apresentaram valores próximos de sólidos voláteis, enquanto o lodo da ETE-ACARAPÉ III apresentou maior teor.

A Figura 35 apresenta o diagrama de caixas para os sólidos totais.

Figura 35 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Sólidos Totais (ST) das amostras de lodo da RMF



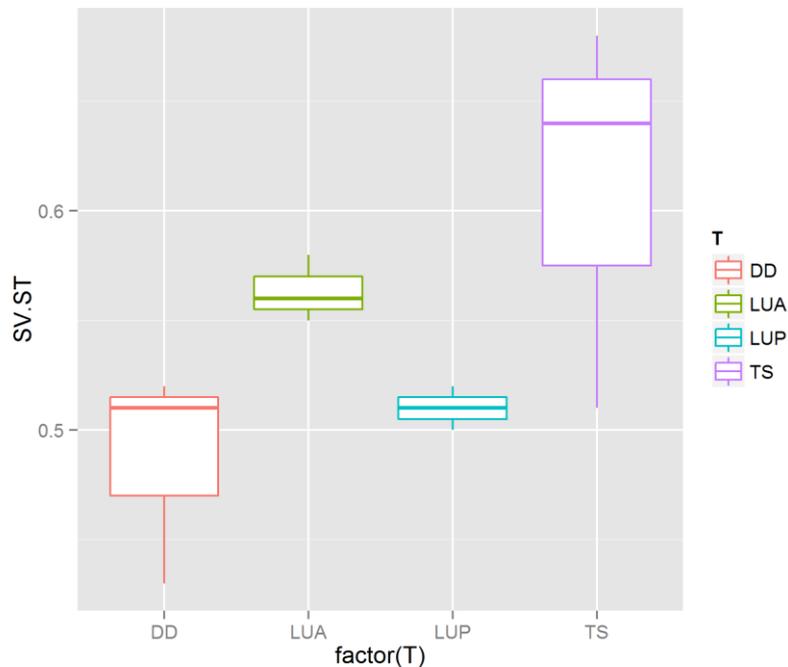
Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

De acordo com a Figura 35, o lodo de tanque séptico apresentou menor teor de sólidos totais em relação aos demais, sendo que esse e o lodo da ETE-PAJUÇARA corresponderam aos dados de maior dispersão, enquanto os do lodo de decanto-digestor e da ETE-ARACAPÉ III obtiveram menor dispersão. É possível perceber, ainda, que houve significativa assimetria para os dados de sólidos totais de todos os lodos.

Na Figura 36 encontra-se o gráfico *box-plot* para a relação sólidos voláteis e totais.

Figura 36 – *Box-plot* com percentis de 25% e 75% para relação entre sólidos voláteis (SV) e sólidos totais (ST) das amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

Segundo a Figura 36, a razão SV/ST apresentou maior dispersão e assimetria para os dados do lodo de decanto-digestor e de tanque séptico, enquanto o lodo de reator UASB das ETE's ARACAPÉ III e PAJUÇARA apresentaram menor dispersão e maior simetria.

De acordo com a Resolução CONAMA 375 de 2006, o lodo de esgoto ou algum produto derivado para fins agrícolas é considerado estável quando os valores da relação entre sólidos voláteis e sólidos totais (SV/ST) forem inferiores a 0,70, não apresentando potencial de geração de odores e atração de vetores. Essa relação indica a fração orgânica dos sólidos do lodo; assim, quanto maior esta relação, maior será a quantidade de matéria orgânica, sendo esta a responsável pelo mau odor do lodo.

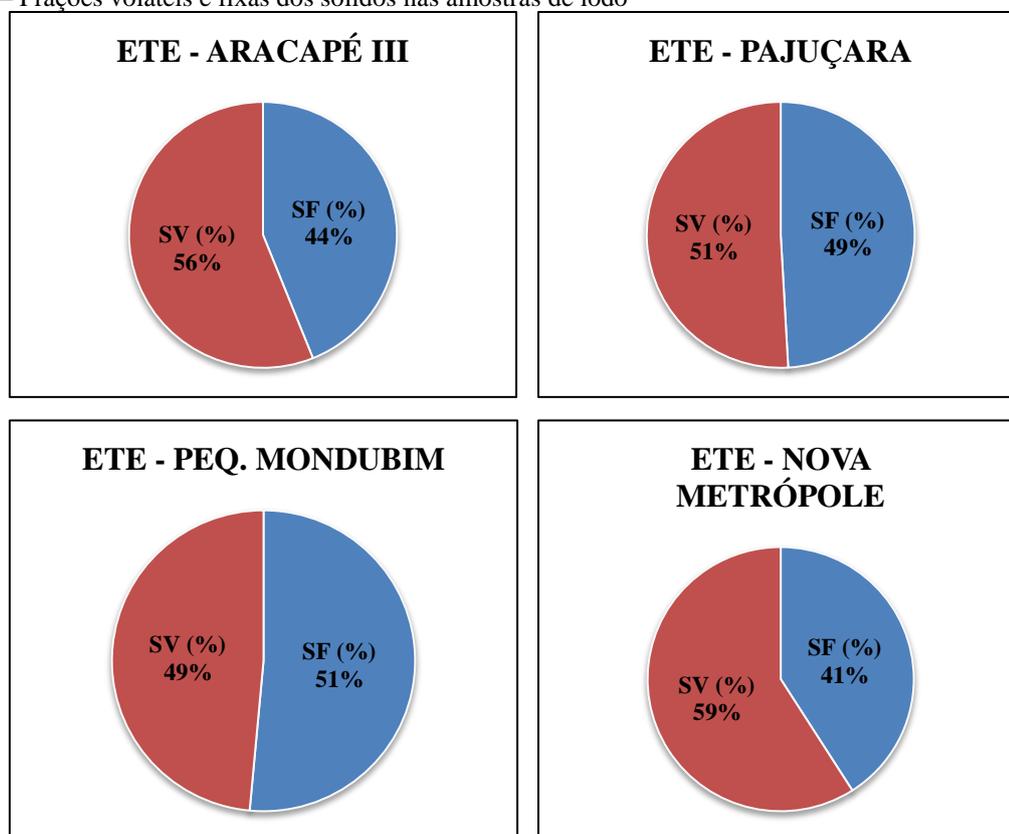
No entanto, todos os lodos apresentam-se estáveis para fins de utilização agrícola, visto que no estudo foi encontrada uma relação SV/ST menor que 0,70 (Figura 36).

Os valores de sólidos encontrados nos lodos são variáveis, conforme pode ser observado nas Figuras 34 e 35, mostrando a heterogeneidade nos resultados, que resulta de vários fatores, dentre eles, as condições do sistema de tratamento e sua eficiência, além das características do esgoto recebido.

Comparando os resultados do teor de sólidos e de umidade nos lodos em estudo com as concentrações obtidas por outros autores, percebeu-se que os valores encontrados estão de acordo com estudos realizados por Silva (2001), Correia (2009) e Santos (2012), onde foram observados resultados semelhantes. Quanto ao poder específico do lodo, os resultados obtidos nesse estudo assemelham-se a valores encontrados por Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001) e Tsutiya *et al.* (2001).

A Figura 37 mostra o gráfico com as frações voláteis e fixas dos sólidos totais nas amostras de lodo.

Figura 37 – Frações voláteis e fixas dos sólidos nas amostras de lodo



Fonte: A autora (2014).

SV: Sólidos Totais Voláteis, SF: Sólidos Totais Fixos.

Nos lodos oriundos das ETE's ARACAPÉ III, PAJUÇARA e NOVA METRÓPOLE, a maior parcela de sólidos totais corresponde à fração volátil, sendo 56%, 51% e 59%, respectivamente. No geral, o teor de sólidos está relacionado à concentração do lodo, sendo que a concentração de sólidos voláteis é maior que a de sólidos fixos, o que caracteriza os resíduos orgânicos, porém o lodo proveniente da ETE – PEQ. MONDUBIM apresentou percentual de sólidos voláteis um pouco inferior ao valor de sólidos fixos. Isso pode estar relacionado com a quantidade de material inerte (areia) presente no lodo, que caracteriza baixa eficiência do sistema de tratamento preliminar na remoção de areia.

De acordo com a Figura 37, o lodo de tanque séptico (ETE – NOVA METRÓPOLE) apresentou maior teor de sólidos voláteis (59%), e menor de sólidos fixos (41%), enquanto que o lodo da ETE – PEQ. MODUBIM apresentou menor valor de sólidos voláteis (49%) e maior de sólidos fixos (51%).

5.1.3 Série de nitrogênio e fósforo total

Von Sperling (2005) mostra que no esgoto bruto prevalece a presença do nitrogênio orgânico e da amônia, sendo que a fase do ciclo que ocorre em ambientes anaeróbios é a amonificação. Dessa forma, em esgotos anaeróbios verifica-se a predominância do nitrogênio na forma de amônia. No entanto, através do método utilizado não foi detectado nitrogênio na forma de nitrito e nitrato nas amostras de lodo, sendo determinada a concentração, apenas, de nitrogênio na forma de amônia, nitrogênio orgânico e Kjeldahl Total (NTK).

Aplicou-se o teste de Tukey individualmente para cada parâmetro, com intervalo de confiança de 95%, e obtiveram-se os resultados a seguir.

A Tabela 21 contém o resultado do teste de Tukey para nitrogênio total Kjeldahl.

Tabela 21 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)

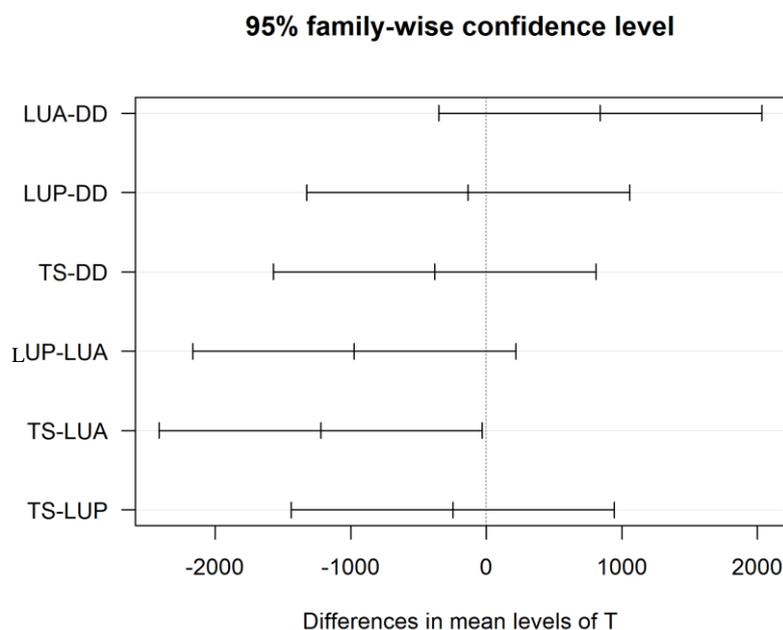
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	840,8033	-350,1659	2031,7726	0,1867942
LUP-DD	-133,4267	-1324,3959	1057,5426	0,9830589
TS-DD	-380,4400	-1571,4092	810,5292	0,7415562
LUP-LUA	-974,2300	-2165,1992	216,7392	0,1137349
TS-LUA	-1221,2433	-2412,2126	-30,2741	0,0445961
TS-LUP	-247,0133	-1437,9826	943,9559	0,9076099

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

O gráfico do teste de Tukey para nitrogênio total Kjeldahl encontra-se na Figura 38.

Figura 38 – Gráfico de Tukey para Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Na Tabela 22 apresenta-se o resultado do teste de Tukey para nitrogênio orgânico.

Tabela 22 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Nitrogênio Orgânico (Norg)

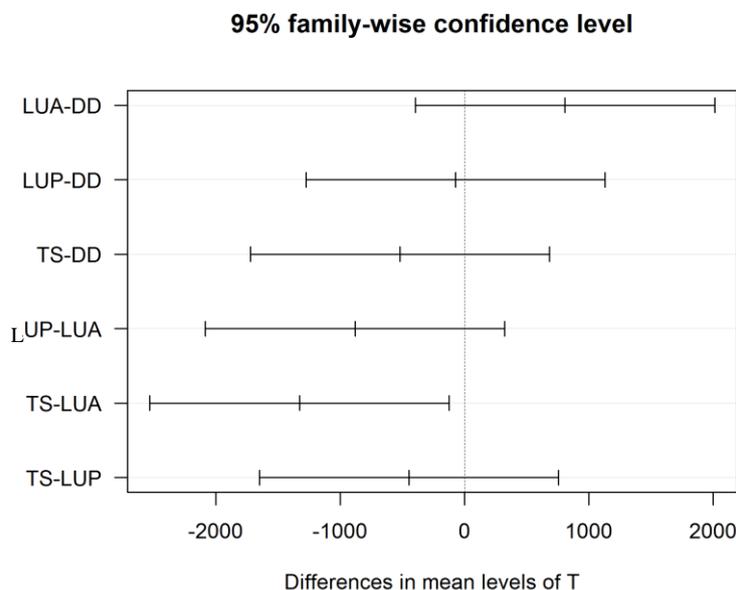
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	808,6600	-395,4481	2012,7681	0,2166320
LUP-DD	-72,8100	-1276,9181	1131,2981	0,9972104
TS-DD	-519,7433	-1723,8514	684,3647	0,5424944
LUP-LUA	-881,4700	-2085,5781	322,6381	0,1666895
TS-LUA	-1328,4033	-2532,5114	-124,2953	0,0315014
TS-LUP	-446,9333	-1651,0414	757,1747	0,6500101

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Figura 39 contém o gráfico de Tukey para nitrogênio orgânico.

Figura 39 – Gráfico de Tukey para Nitrogênio Orgânico (Norg)



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

As Figuras 38 e 39 mostram que há uma pequena diferença entre as médias para o intervalo entre tanque séptico e lodo da ETE-ARACAPÉ III, não havendo diferença para os demais. Assim, as concentrações médias de NTK e nitrogênio orgânico se diferenciam estatisticamente, apenas, para esses dois lodos.

Na Tabela 23 consta o resultado do teste de Tukey para nitrogênio amoniacal.

Tabela 23 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Nitrogênio amoniacal (N.NH₃)

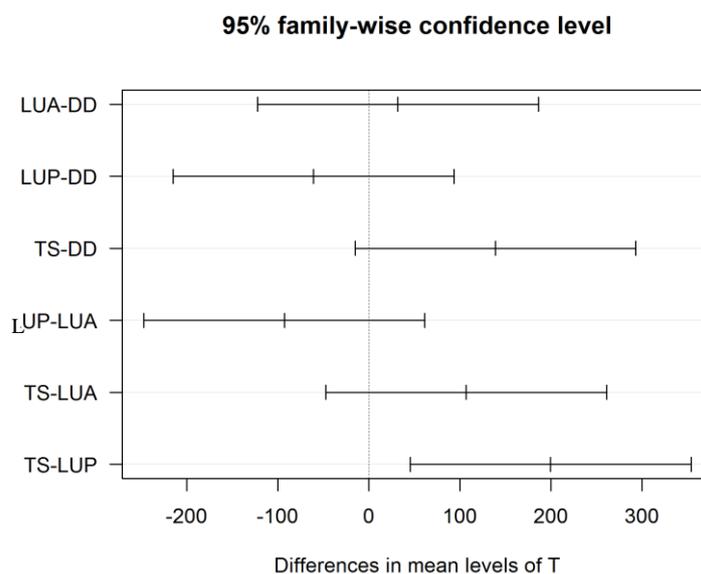
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	32,15333	-122,06882	186,3755	0,9063593
LUP-DD	-60,61333	-214,83549	93,6088	0,6108056
TS-DD	139,31000	-14,91216	293,5322	0,0774020
LUP-LUA	-92,76667	-246,98882	61,4555	0,2902199
TS-LUA	107,15667	-47,06549	261,3788	0,1960507
TS-LUP	199,92333	45,70118	354,1455	0,0136128

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Figura 40 apresenta o gráfico de Tukey para nitrogênio amoniacal.

Figura 40 – Gráfico de Tukey para Nitrogênio amoniacal (N.NH₃)



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

De acordo com a Figura 40, há diferença, apenas, no intervalo de confiança que compara as médias de nitrogênio amoniacal do lodo séptico e da ETE-PAJUÇARA, visto que esse intervalo não sobrepõe à diferença igual a zero, ou seja, as concentrações médias de nitrogênio amoniacal são estatisticamente diferentes para esses lodos.

O resultado do teste de Tukey para fósforo total é apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para Fósforo Total (Pt)

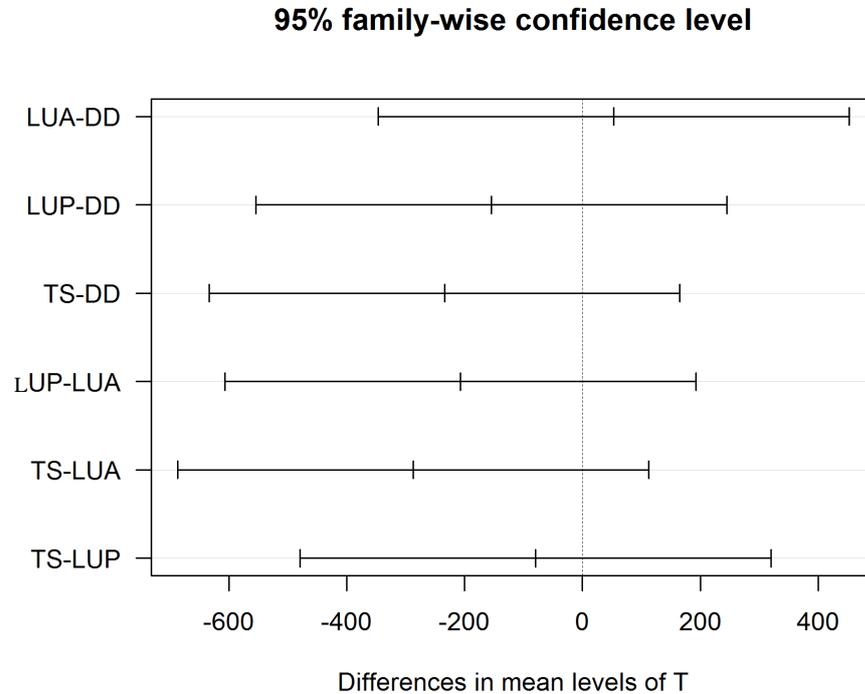
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	52,78	-346,6426	452,2026	0,9728901
LUP-DD	-154,15	-553,5726	245,2726	0,6235186
TS-DD	-234,04	-633,4626	165,3826	0,3090447
LUP-LUA	-206,93	-606,3526	192,4926	0,4018282
TS-LUA	-286,82	-686,2426	112,6026	0,1772013
TS-LUP	-79,89	-479,3126	319,5326	0,9159280

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Figura 41 contém o gráfico de Tukey para fósforo total.

Figura 41 – Gráfico de Tukey para Fósforo Total (Pt)



Fonte: A autora (2014).

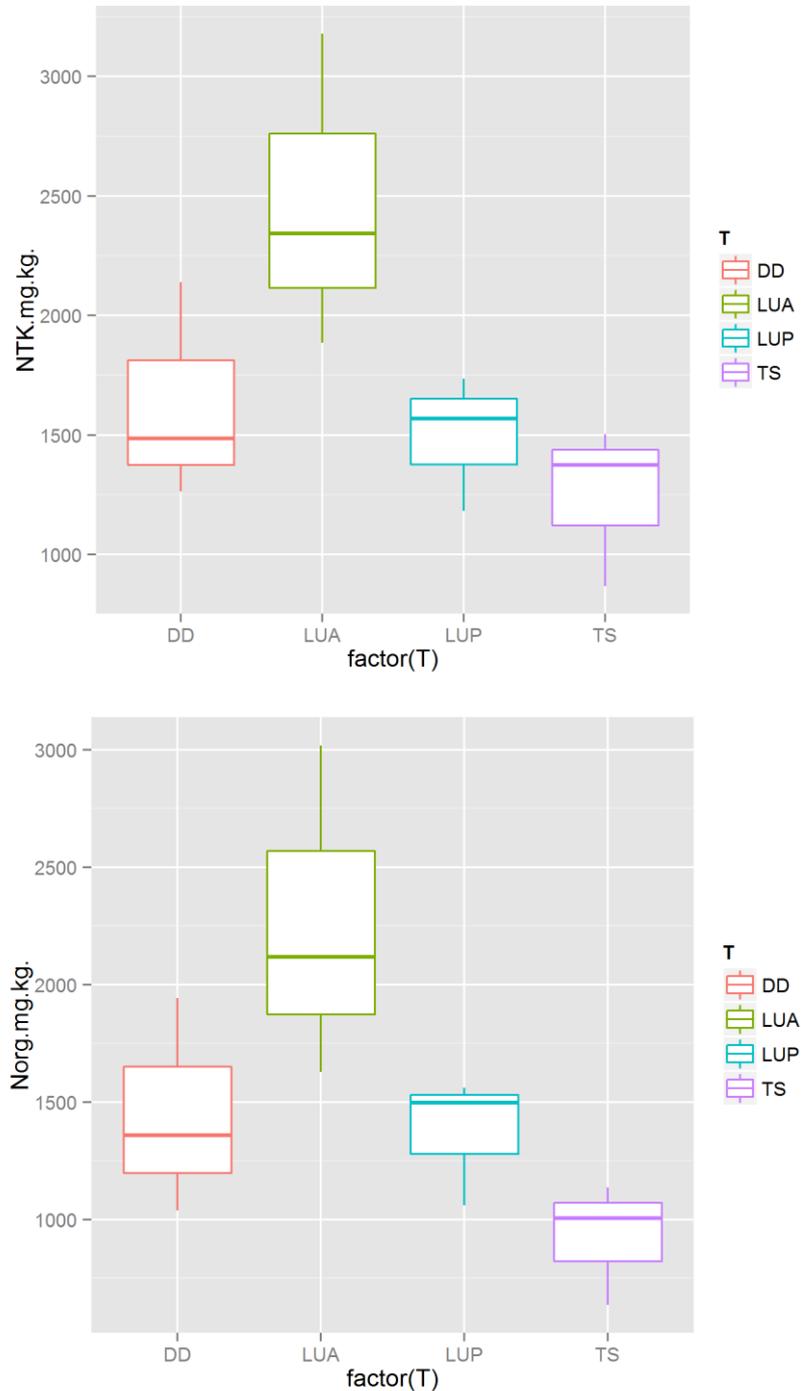
LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Figura 41 mostra que não houve diferença estatística entre nenhum intervalo de confiança; assim, as médias de concentração de fósforo total são estatisticamente iguais para todos os quatro grupos de lodo.

Construíram-se diagramas de caixas para cada parâmetro, a fim de observar a posição, dispersão e simetria dos dados e compará-los entre os quatro grupos de lodo das diferentes ETE's, os quais são explicados a seguir.

Na Figura 42 apresentam-se os diagramas de caixas para nitrogênio total Kjeldahl e orgânico.

Figura 42 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para NTK e Nitrogênio Orgânico em amostras de lodo da RMF



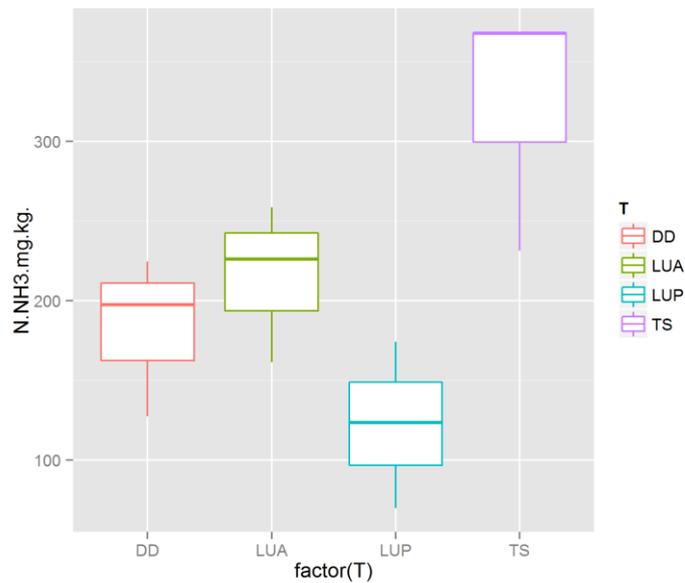
Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

A Figura 42 mostra que os dados de nitrogênio orgânico e NTK para lodo de decanto-digestor e da ETE-ARACAPÉ III apresentaram maior dispersão e assimetria à direita, enquanto os dados para o lodo séptico e da ETE-PAJUÇARA evidenciaram menor dispersão e assimetria à esquerda.

Na Figura 43 apresenta-se o *box-plot* para nitrogênio amoniacal.

Figura 43 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Nitrogênio amoniacal ($N.NH_3$) em amostras de lodo da RMF



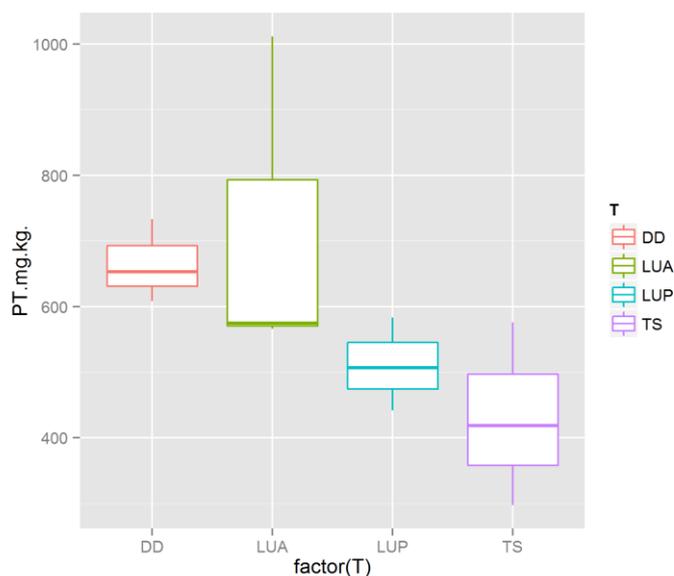
Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

De acordo com a Figura 43, os dados para lodo de tanque séptico apresentaram maior dispersão e são negativamente assimétricos, assim como os do lodo de decanto-digestor e da ETE-ARACAPÉ III, enquanto os dados do lodo da ETE-PAJUÇARA apresentam dispersão relativamente semelhante à do lodo de decanto-digestor e da ETE-ARACAPÉ III.

A Figura 44 consta do *box-plot* para fósforo total.

Figura 44 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para Fósforo Total (Pt) em amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

Os dados da concentração de fósforo nas amostras mostram uma distribuição simétrica para resultados de lodo da ETE-PAJUÇARA e lodo de tanque séptico, e distribuição assimétrica à direita e maior dispersão para lodo da ETE-ACARAPÉ III (Figura 44). O lodo séptico apresentou menor concentração mediana de fósforo, seguido pelo lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Figura 44 mostra a variação do fósforo através do gráfico *box-plot* com percentis de 25% e 75%. O gráfico apresenta as variações dos resultados, demonstrando grande variabilidade das amostras, visto que dependem bastante do tipo de esgotamento sanitário e do tipo de região.

As diferenças nas concentrações de nitrogênio e fósforo entre os lodos estudados podem estar relacionadas à origem do esgoto, aos diferentes sistemas de tratamento de esgoto, e à eficiência do tratamento. O conteúdo de fósforo é provavelmente derivado de resíduos de detergentes e outros produtos utilizados para limpeza doméstica que usam fosfatos na sua composição, já que se trata de lodos provenientes de estação que trata resíduo doméstico.

De acordo com Ratis (2009), condições anaeróbicas favorecem a mineralização do fósforo orgânico, proporcionando sua liberação novamente na coluna líquida. Contudo, os tratamentos primários e secundários de esgoto são pouco eficientes na remoção de nutrientes,

como nitrogênio e fósforo; assim, geralmente, eles são conservados, sendo encontrados na fase líquida após o tratamento, justificando as baixas concentrações no lodo.

No entanto, de acordo com os resultados, tem-se que os lodos contêm nutrientes como nitrogênio e fósforo, e podem ser usados como fertilizante no desenvolvimento dos vegetais, havendo a necessidade de verificar a relação desses nutrientes no lodo, para dosar a quantidade aplicada de acordo com a necessidade da planta.

5.1.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Aplicou-se o teste de Tukey individualmente para DQO total e filtrada, com intervalo de confiança de 95%, e obtiveram-se os resultados a seguir.

A Tabela 25 apresenta o resultado do teste de Tukey para DQO total.

Tabela 25 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para DQO total

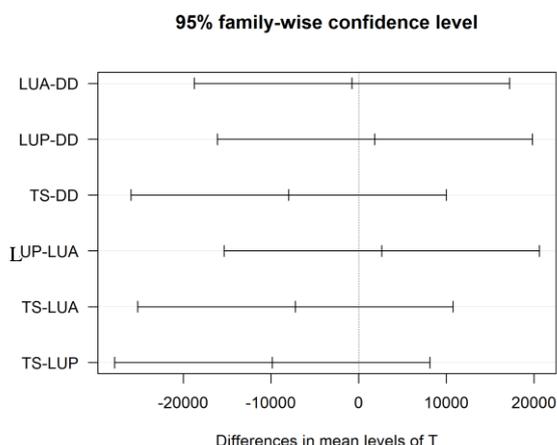
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	-780,21	-18772,41	17211,991	0,9989615
LUP-DD	1850,15	-16142,05	19842,354	0,9867655
TS-DD	-8001,26	-25993,46	9990,938	0,5199388
LUP-LUA	2630,36	-15361,84	20622,564	0,9640073
TS-LUA	-7221,05	-25213,25	10771,148	0,5959420
TS-LUP	-9851,42	-27843,62	8140,784	0,5959420

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

O gráfico de Tukey para DQO total consta na Figura 45.

Figura 45 – Gráfico de Tukey para DQO total



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

Na Tabela 26 apresenta-se o resultado do teste de Tukey para DQO filtrada.

Tabela 26 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias para DQO filtrada

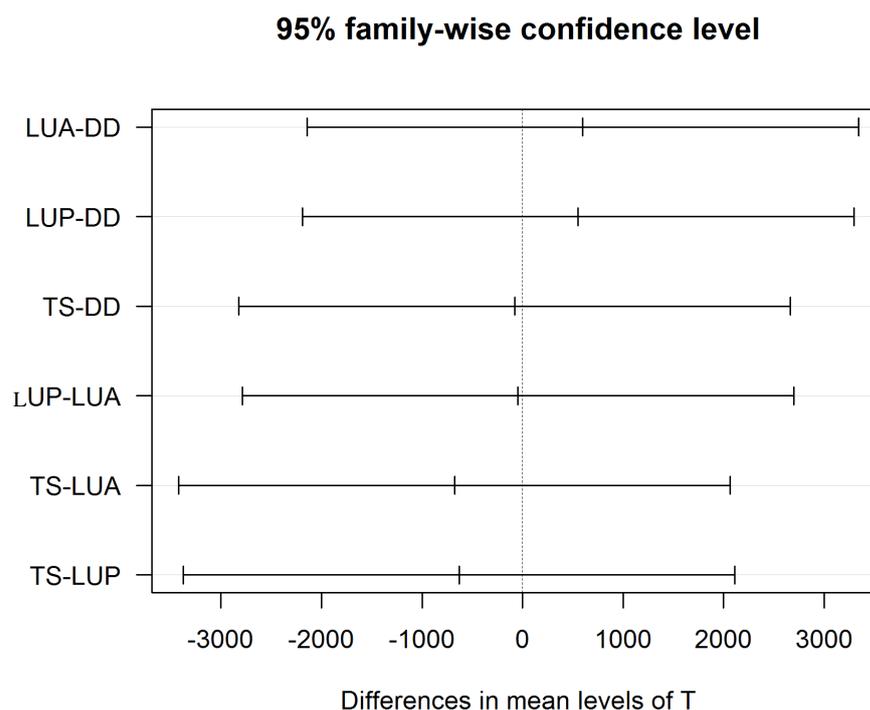
Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	598,1033	-2143,624	3339,831	0,8948220
LUP-DD	551,9433	-2189,784	3293,671	0,9144956
TS-DD	-78,3700	-2820,097	2663,357	0,9997009
LUP-LUA	-46,1600	-2787,887	2695,567	0,9999387
TS-LUA	-676,4733	-3418,201	2065,254	0,8570246
TS-LUP	-630,3133	-3372,041	2111,414	0,8799269

Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Figura 46 contém o gráfico de Tukey para DQO filtrada.

Figura 46 – Gráfico de Tukey para DQO filtrada



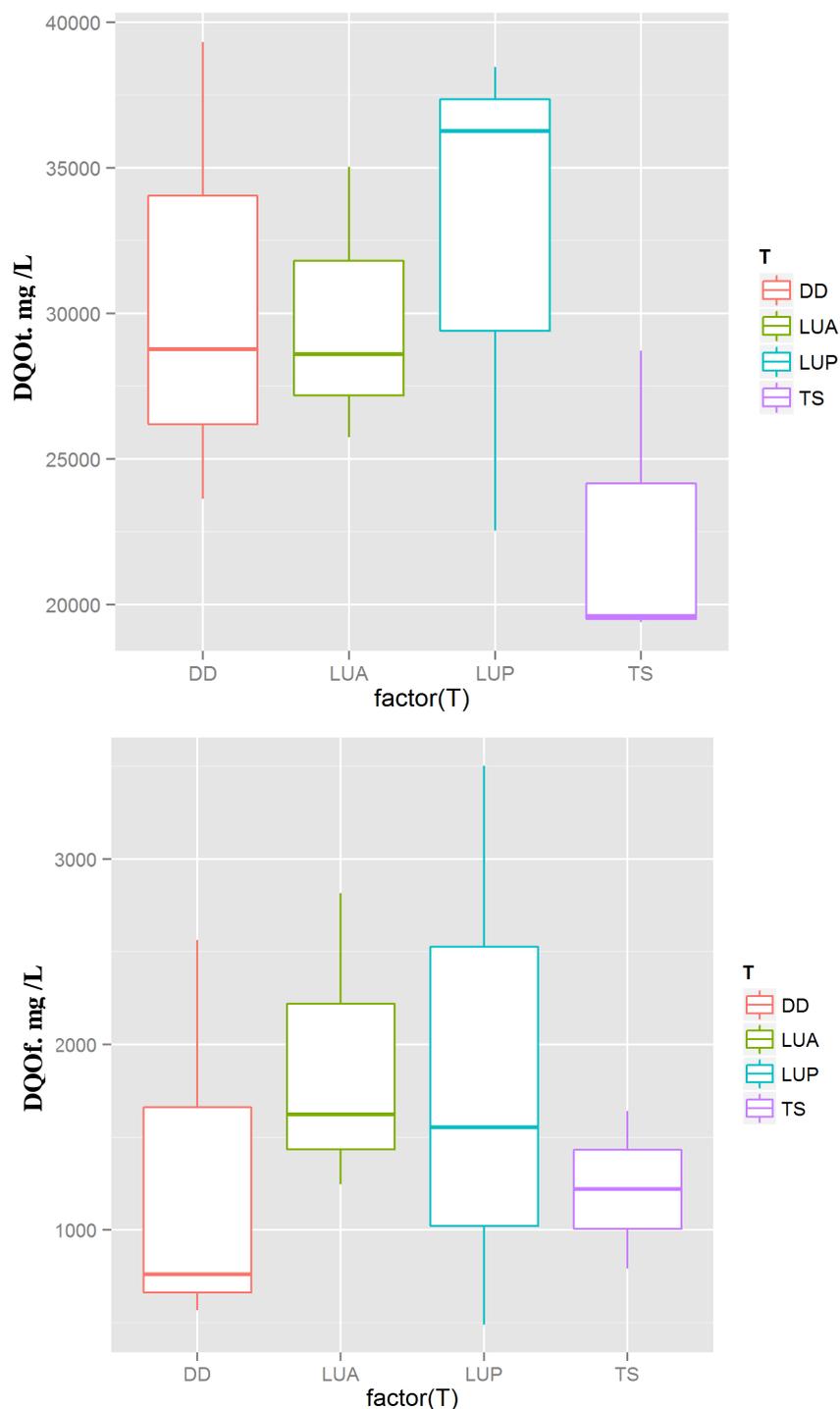
Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

As Figuras 45 e 46 mostram que não existe diferença estatística significativa entre os dados de médias das concentrações de DQO total e filtrada entre os lodos estudados, pois todos os intervalos de confiança sobrepõem à diferença igual a zero.

Para visualizar a dispersão, simetria e variação nos resultados de DQO total e filtrada, construíram-se diagramas de caixa (*box-plot*) constantes na Figura 47.

Figura 47 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para DQO total (DQOt) e filtrada (DQOf) das amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

Analisando a Figura 47 percebe-se que os dados para DQO total apresentaram considerável dispersão, e distribuição assimétrica à direita para resultados de decanto-digestor, ETE-ARACAPÉ III e lodo de tanque séptico e assimetria à esquerda para lodo da ETE-PAJUÇARA. O lodo séptico apresentou menor concentração mediana de DQO total, enquanto o lodo da ETE-PAJUÇARA possuiu maior valor.

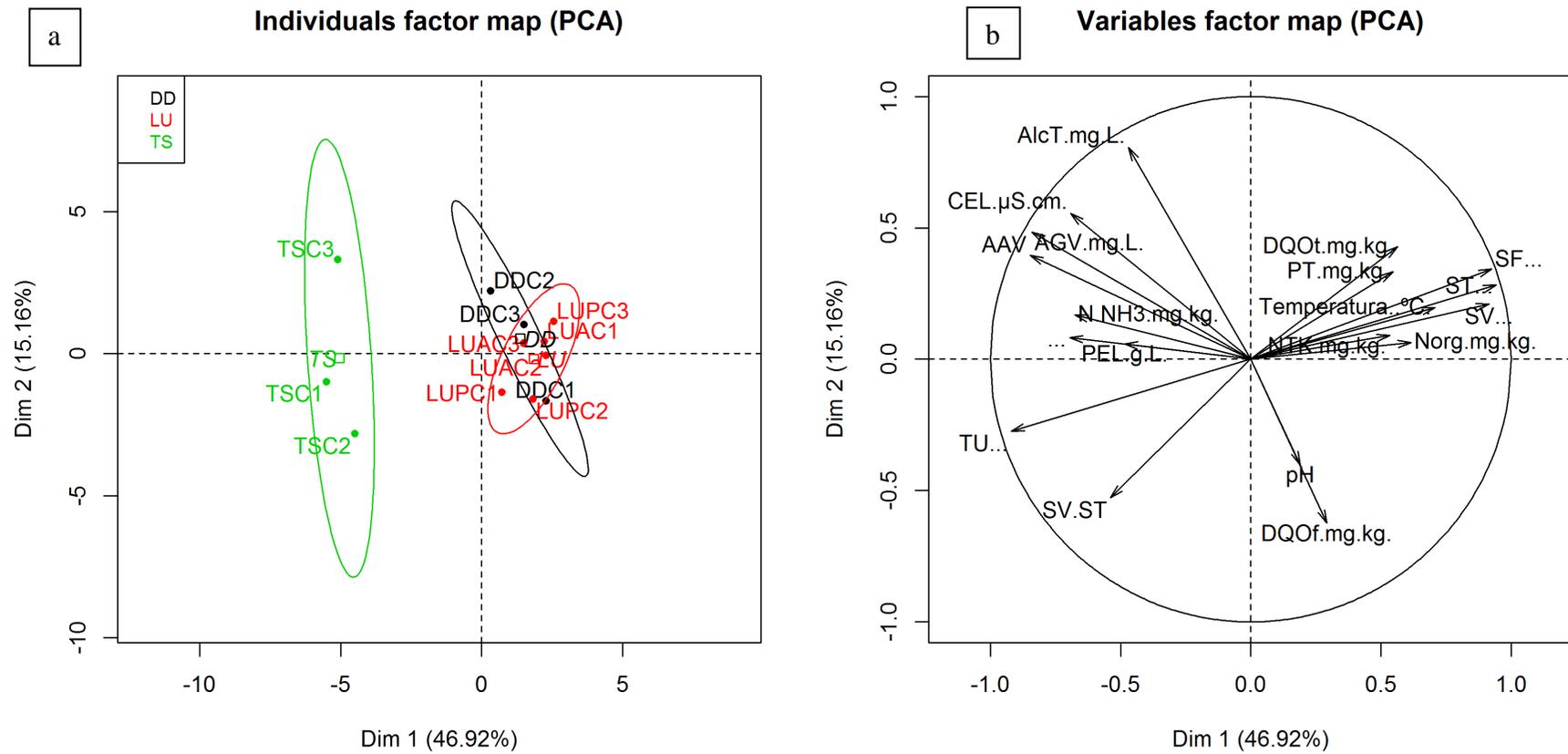
Com relação aos dados de DQO filtrada, tem-se que os lodos de decanto-digestor, e das ETE's ARACAPÉ III e PAJUÇARA apresentaram maior dispersão e são positivamente assimétricos, enquanto o lodo de tanque séptico possui menor dispersão e é simétrico.

A Figura 47 mostra a variação da DQO total e filtrada e torna evidente a heterogeneidade dos lodos, que pode ser devido ao recebimento de cargas orgânicas variadas.

Segundo Tsutiya *et al.* (2001), o adubo orgânico normalmente aumenta o teor de matéria orgânica do solo, contribuindo para melhoria das suas características químicas, físicas e biológicas. Assim, de acordo com os resultados de DQO, os lodos podem ser utilizados como adubo orgânico, promovendo o incremento de matéria orgânica e contribuindo para melhorar o condicionamento do solo.

A partir do método PCA realizaram-se gráficos onde a informação relativa ao conjunto de dados originais (parâmetros físico-químicos) é resumida nos gráficos de *scores* e *loadings*. Observando-se o gráfico dos *loadings*, é possível identificar as variáveis que são responsáveis pelas analogias ou diferenças detectadas, enquanto o gráfico dos *scores* fornece informações acerca das amostras (Figura 48).

Figura 48 - Análise de Componente Principal dos atributos físico-químicos: diagrama de ordenação das amostras (*scores*) e formação de grupos de amostras semelhantes (a) e diagrama de ordenamento das variáveis (*loadings*) (b) levando-se em consideração as componentes principais 1 e 2.



Fonte: A autora (2014).

Nota: Na Figura (a) a letra C representa coleta e, o número, a sequência da coleta. TS: Lodo de tanque séptico; LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor.

O gráfico da Análise por Componentes Principais (ACP ou PCA) explicou 62,08 % da variância total dos dados, sendo que 46,92% é explicada por PC1 e 15,16% por PC2 (Figura 48). Nota-se que três grupos distintos foram formados basicamente em função do tipo de lodo, como mostra o gráfico de ordenação das amostras (*scores*) (Figura 48a), sendo que o grupo TS é separado dos outros dois (DD e LU) pela componente principal 1 (PC1).

As variáveis que proporcionaram a separação desses grupos podem ser visualizadas na Figura 48b, em função da posição similar das variáveis físico-químicas nos quadrantes do gráfico de ordenação das variáveis (*loadings*) e das amostras no gráfico de *scores* (Figura 48a). A formação do grupo das amostras coletadas provenientes de tanque séptico foi influenciada sobretudo pela alcalinidade total, condutividade elétrica, AAV, AGV, nitrogênio amoniacal, peso específico do lodo, teor de umidade e relação SV/ST, as quais foram superiores para esse lodo. Já a DQO total e filtrada, fósforo total, temperatura, ST, SV e SF, NTK, nitrogênio orgânico, e pH (Figura 48b) foram as variáveis mais importantes para o agrupamento das amostras de lodo de decanto-digestor (grupo DD) e lodo das ETE's ARACAPÉ III e PAJUÇARA (grupo LU), em função dos maiores valores para esses atributos em relação ao lodo de tanque séptico, porém os dois grupos formados não são muito distintos.

Analisando, ainda, a Figura 48 percebe-se que a componente 2 (PC2) divide os dados dos três grupos. No geral, o quadrante inferior direito mostra que o lodo da 1ª e 2ª coleta da ETE-PAJUÇARA, 1ª de decanto-digestor e 2ª da ETE-ARACAPÉ III apresentaram maior concentração de DQO filtrada e pH. De acordo com o quadrante inferior esquerdo, o teor de umidade e relação SV/ST foram maiores para 1ª e 2ª coletas do lodo de tanque séptico, enquanto o quadrante superior esquerdo mostra maior valor de alcalinidade total, condutividade elétrica, AAV, AGV, nitrogênio amoniacal e peso específico do lodo para lodo séptico da 3ª coleta. Por fim, o quadrante superior direito representa maior concentração de ST, SV, SF, nitrogênio orgânico e Kjeldahl, temperatura, fósforo total e DQO total para amostras da 1ª e 3ª coletas de lodo na ETE-ARACAPÉ III, da 2ª e 3ª do lodo de decanto-digestor e 3ª na ETE-PAJUÇARA.

5.2 Caracterização microbiológica

O levantamento de microrganismos, tanto os indicadores quanto os patogênicos é de grande relevância em estudos de caracterização de lodo. A Tabela 27 mostra os resultados das concentrações médias dos indicadores Coliformes Totais e *E. coli* para as diferentes amostras de lodo.

Tabela 27 – Concentrações médias de Coliformes Totais e *E. coli* nas amostras de lodo “*in natura*”

Local	Concentração (NMP/100mL)	
	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>
ETE - ARACAPÉ III ¹	1,26 x 10 ⁸	1,36 x 10 ⁷
ETE - PAJUÇARA ¹	3,36 x 10 ⁷	1,00 x 10 ⁶
ETE - PEQ. MONDUBIM ²	6,77 x 10 ⁷	1,70 x 10 ⁶
ETE - NOVA METRÓPOLE ³	2,06 x 10 ⁷	5,57 x 10 ⁶

Fonte: A autora (2014).

¹Lodo proveniente de reator UASB; ²lodo retirado de decanto-digestor; ³lodo séptico.

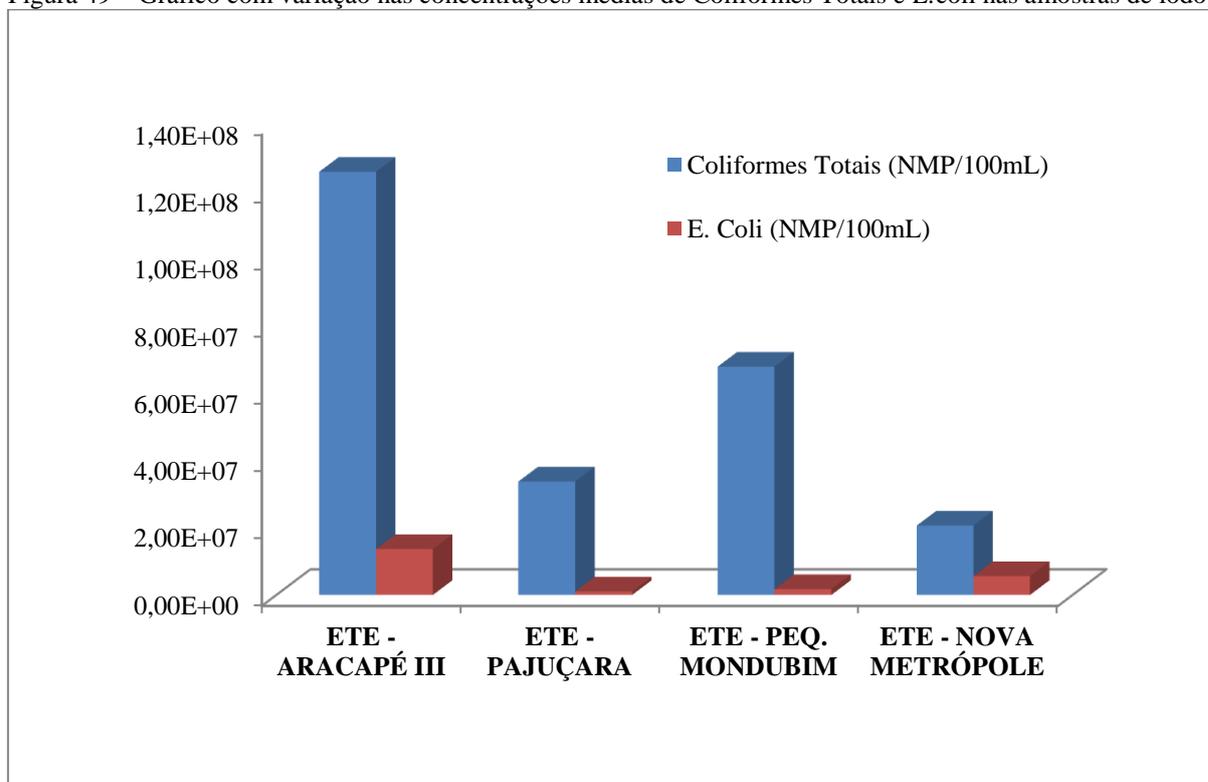
A Resolução CONAMA 375 de 2006 só permite a aplicação agrícola de lodo de esgoto com concentrações de Coliformes Termotolerantes menores que 10³NMP, visto que acima deste valor a utilização requer avaliação de risco que demonstre a segurança do uso do lodo de esgoto.

De acordo com os resultados dispostos na Tabela 27 é possível perceber que foram encontrados valores médios de concentrações de coliformes, em todas as amostras, superiores ao recomendado pela CONAMA 375. Assim, para a utilização desses lodos na agricultura é necessário realizar algum tipo de tratamento adicional para reduzir ou remover a concentração desses patógenos e adequar-se ao limite exigido.

No caso da utilização agrícola do lodo de esgoto, Brasil (2006a) cita algumas recomendações de processos de redução adicional de patógenos, dentre eles, a compostagem confinada ou em leiras aeradas ou com revolvimento de leiras seria a técnica mais viável, devido ao menor custo com implementação e a condições regionais favoráveis como área disponível e o clima.

Na Figura 49 mostra-se a variação das concentrações de coliformes totais e *E. coli*.

Figura 49 – Gráfico com variação nas concentrações médias de Coliformes Totais e *E. coli* nas amostras de lodo



Fonte: A autora (2014).

Analisando a Figura 49 percebe-se a heterogeneidade entre os resultados, observando-se que o lodo da ETE – ARACAPÉ III possuiu maior concentração média de Coliformes Totais (CT) e *E. coli*, enquanto que o lodo séptico (ETE – NOVA METRÓPOLE) apresentou menor valor de CT e o lodo da ETE – PAJUÇARA menor concentração de *E. coli*.

De acordo com Tsutiya *et al.* (2001), essa variação entre a quantidade de patógenos está relacionada com as condições socioeconômicas da população, condições sanitárias da região geográfica, além do tipo de tratamento do lodo de esgoto.

No entanto, a variabilidade e alto valor dos resultados mostra a necessidade de se monitorar frequentemente a presença de indicadores bacteriológicos no lodo para verificar sua adequação quanto ao limite preconizado por Brasil (2006a) para utilização agrícola.

5.3 Caracterização de substâncias inorgânicas

As concentrações dos metais pesados e nutrientes analisados foram comparadas entre os lodos dos quatro locais diferentes, usando ANOVA para verificar se existe diferença estatística significativa entre elas. O resultado estatístico após aplicação da análise de variância mostrou-se igual para todos os metais e nutrientes e encontra-se na Tabela 28.

Tabela 28 – Resultado da análise de variância ANOVA para todos os metais pesados e nutrientes utilizando o programa R, com 3 graus de liberdade para os parâmetros e 8 para os resíduos

Tabela da ANOVA	Soma quadrado	Quadrado médio	Estatística F	p-valor
Metais e Nutrientes	649,6	216,53	3,09	0,0898
Resíduo	560,6	70,08		

Fonte: A autora (2014).

De acordo com a Tabela 28, considerando-se um nível de significância de 5%, percebe-se que não é possível rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias, ou seja, estatisticamente não há diferença significativa entre as concentrações dos metais pesados e nutrientes quantificados nos lodos.

Após a ANOVA, aplicou-se o teste de Tukey individualmente para cada parâmetro, com intervalo de confiança de 95%, e foram obtidos resultados iguais, os quais estão dispostos na Tabela 29.

Tabela 29 – Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de metais pesados e nutrientes em amostras de lodo

Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
LUA-DD	-7,773333	-29,661695	14,11503	0,6787381
LUP-DD	-4,380000	-26,268362	17,50836	0,9158262
TS-DD	11,703333	-10,185028	33,59169	0,3775385
LUP-LUA	3,393333	-18,495028	25,28169	0,9576499
TS-LUA	19,476667	-2,411695	41,36503	0,0822722
TS-LUP	16,083333	-5,805028	37,97169	0,1646974

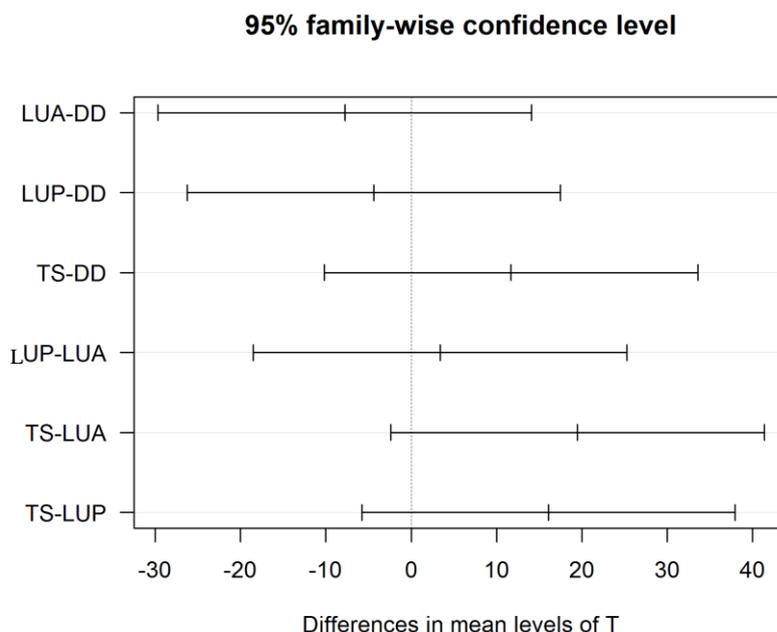
Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPE III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

A Tabela 29 indica que não houve diferença significativa entre as médias dos metais pesados e nutrientes dos lodos estudados. Visualizando os intervalos de confiança para as diferenças das médias através do gráfico para o teste de Tukey (Figura 50) é possível perceber

que todos os intervalos de confiança sobrepõem a diferença igual a zero, indicando, assim, que são semelhantes, e, não havendo, portanto, diferença estatística entre as médias de metais pesados e nutrientes nos lodos.

Figura 50 – Gráfico de Tukey para metais pesados e nutrientes



Fonte: A autora (2014).

LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; TS: Lodo de tanque séptico e LUP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA.

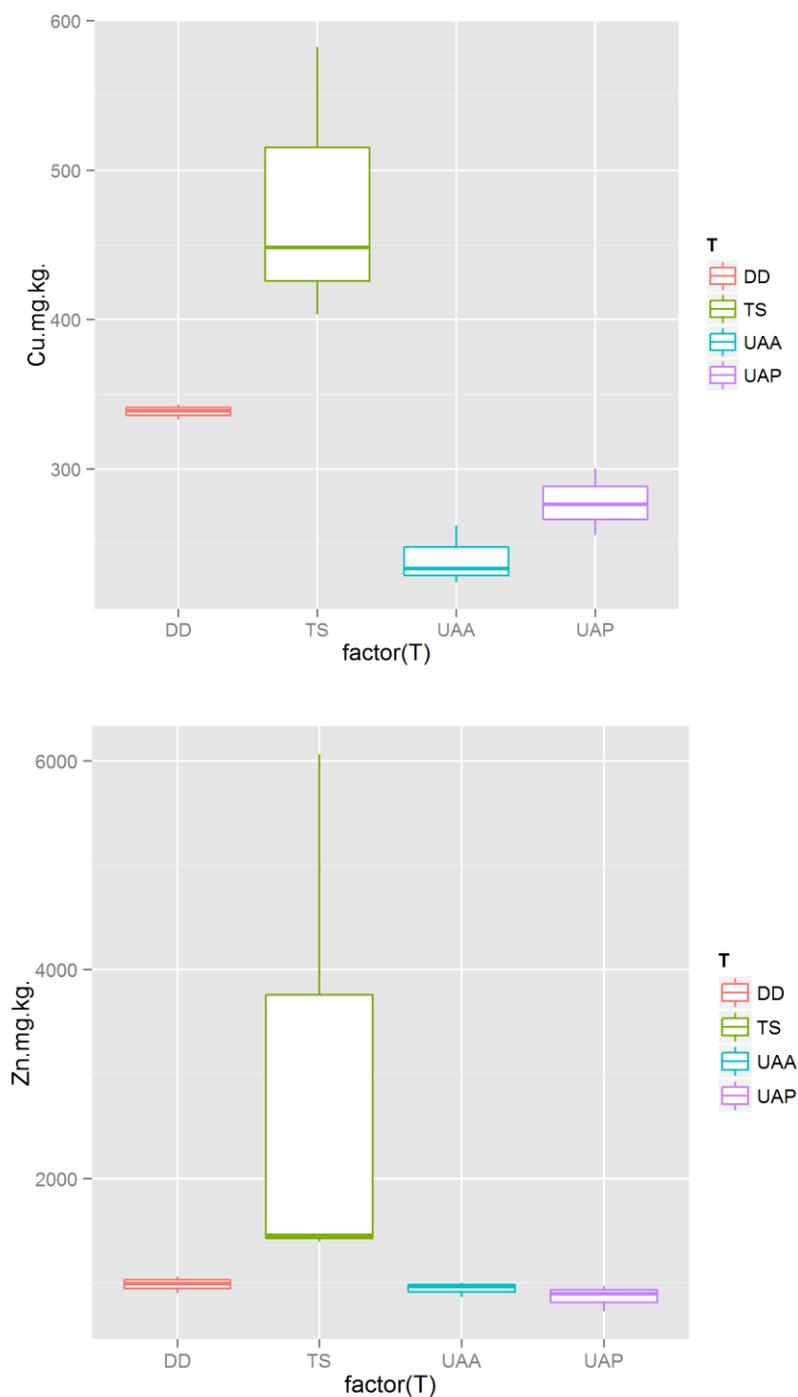
5.3.1 Metais pesados contidos na CONAMA 375

A Resolução CONAMA 375 de 2006 estabelece critérios para uso agrícola de lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e determina concentrações máximas permitidas de alguns metais pesados no lodo de esgoto. Nesse contexto, foram realizadas análises dos metais pesados citados na resolução, com exceção do mercúrio, não sendo possível determinar as concentrações de As, Ba, Cd, Pb, Cr, Ni e Se por se encontrarem abaixo do limite detectável pelo método utilizado.

De acordo com Correia (2009), durante a estabilização do lodo, os metais são metabolizados pelos microrganismos através de adsorção ou quelação, sendo associados às cadeias carbônicas, o que dificulta a atomização dos metais e, conseqüentemente, sua detecção fica limitada. No entanto, isso pode justificar a dificuldade em quantificar os metais citados anteriormente.

Para visualizar a dispersão, simetria e variação nos resultados de metais pesados e nutrientes, construíram-se diagramas de caixa (*box-plot*) para cada parâmetro (Figura 51).

Figura 51 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentrações de cobre e zinco em amostras de lodo da RMF



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

A Figura 51 mostra que ocorreu maior dispersão e assimetria nos dados da concentração de cobre e zinco para o lodo de tanque séptico, enquanto houve menor dispersão para os do lodo de decanto-digestor. Quanto aos lodos da ETE- ARACAPÉ III e PAJUÇARA, percebe-se maior dispersão nos dados de cobre para ambos, e, menor para o zinco.

A grande dispersão significa que existem grandes diferenças de concentração nas diferentes amostras, podendo ser consequência da sazonalidade amostral e, portanto, indicam que a quantificação destes deve ser um procedimento padrão na ETE para impedir que um material contaminado possa vir a ser utilizado.

A concentração de molibdênio não foi detectada em lodo da ETE-PAJUÇARA, sendo quantificada em apenas três dos quatro grupos de lodo, como consta na Tabela 30.

Tabela 30 – Concentração, em mg/kg, de molibdênio em amostras de lodo

Concentração de Molibdênio (mg/kg)								
DD			LUA			TS		
I	II	III	I	II	III	I	II	III
7,12	13,10	15,65	21,02	15,82	20,68	25,17	4,05	8,08

Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III e TS: Lodo de tanque séptico. Os algarismos I, II e III representam, respectivamente, 1ª, 2ª e 3ª coleta de lodo.

Analisando a Figura 51, observa-se que o metal com maior concentração mediana em todos os lodos foi o zinco, enquanto que o Molibdênio foi o metal de menor teor (Tabela 30). O lodo séptico apresentou maior concentração mediana tanto de zinco quanto de cobre, enquanto que os demais lodos não apresentaram grandes variações desses metais. Segundo Smith (2009), essa característica é comum em amostras de lodo de esgoto.

De forma geral, os resultados da Tabela 30 e Figura 51 mostram que os lodos apresentaram baixas concentrações de metais pesados, com exceção do zinco contido no lodo de tanque séptico. Isso se deve principalmente ao fato da origem doméstica, não evidenciando possíveis contaminações provenientes de indústrias, que muitas vezes utilizam estes elementos na produção, descartando-os no esgoto.

As variações nos resultados, em geral, podem, também, ser atribuídas à origem e características do esgoto, além da eficiência do tratamento, podendo ser influenciadas por ligações clandestinas de esgoto industriais, promovendo aumento na concentração de metais no esgoto.

Comparando os resultados das concentrações de metais nos lodos em estudo com as concentrações obtidas em lodos de diferentes ETE's do Brasil, percebeu-se que os valores encontrados estão de acordo com estudos realizados por Pedroza *et al.* (2012), Tsutiya (2001), Freier *et al.* (2007) e Volschan Junior, Jordão e Paixão (2001), onde foram observados resultados semelhantes.

A Tabela 31 mostra a comparação entre as faixas de metais potencialmente tóxicos encontrados nas amostras de lodo de esgoto e os limites preconizados pelas legislações CONAMA 375 (BRASIL, 2006a) e 40 CFR Part 503 (USEPA,1993).

Tabela 31 – Limites das concentrações de metais pesados preconizados por Brasil (2006a) e USEPA (1993)

Parâmetro (mg/kg)	Pesquisa				Limites	
	DD	TS	LUA	LUP	Brasil (2006a)	USEPA (1993)
Cu	333,16 - 338,98	403,51 - 582,66	224,24 - 262,37	255,82 - 300,17	1500	4300
Mo	7,12 - 15,66	4,05 - 25,17	15,82 - 21,02	ND	50	75
Zn	900,51 - 1063,05	1393,88 - 6065,66	864,58 - 1000	728,62 - 969,02	2800	7500

Fonte: Brasil (2006a), USEPA (1993), autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; LUA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III e TS: Lodo de tanque séptico. Os algarismos I, II e III representam, respectivamente, 1ª, 2ª e 3ª coleta de lodo. ND: Não Detectado.

De acordo com a Tabela 31 nota-se que os valores obtidos para as análises de metais em todas as amostras de lodo de esgoto, apresentaram conformidade aos limites preconizados por Brasil (2006a) e USEPA (1993) para os metais potencialmente tóxicos detectados (cobre, molibdênio e zinco), com exceção do zinco no lodo séptico, que apresentou concentração superior ao limite máximo permitido por Brasil (2006a).

Segundo os resultados, os lodos poderiam ser utilizados na agricultura em relação à presença de metais pesados, pois apresentaram baixos valores em relação aos limites estabelecidos pela legislação, porém há restrição, apenas ao lodo séptico, devido à faixa de concentração do zinco exceder o limite máximo de concentração permitido pela Resolução CONAMA 375/2006.

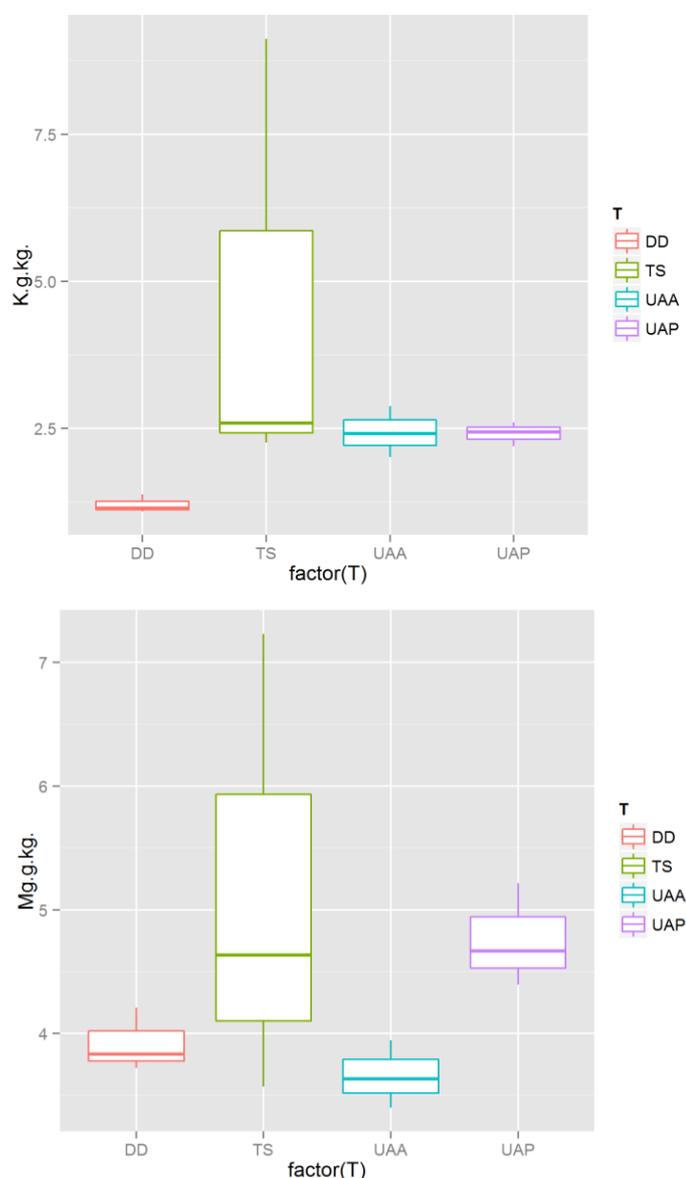
No entanto, a baixa concentração de metais pesados encontrada nos lodos permite sua utilização na agricultura, devendo-se tomar alguns cuidados referentes à possível bioacumulação de metais em plantas e animais através de sucessíveis aplicações de lodo, sendo, assim, conveniente realizar estudos sobre a dinâmica desses metais no solo.

5.3.2 Metais pesados não inseridos na CONAMA 375

Foram realizadas análises de alguns metais pesados que em pequenas concentrações são considerados nutrientes para as plantas, incluindo os macronutrientes Potássio, Cálcio e Magnésio e os micronutrientes Manganês, Sódio, Vanádio, Alumínio e Ferro total para a caracterização do potencial agrônômico das amostras de lodo de esgoto das ETE's em estudo, cujos resultados estão apresentados na forma de gráficos *box-plot*.

Na Figura 52 mostram-se os diagramas de caixas para o potássio e magnésio.

Figura 52 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentrações de macronutrientes (potássio e magnésio)



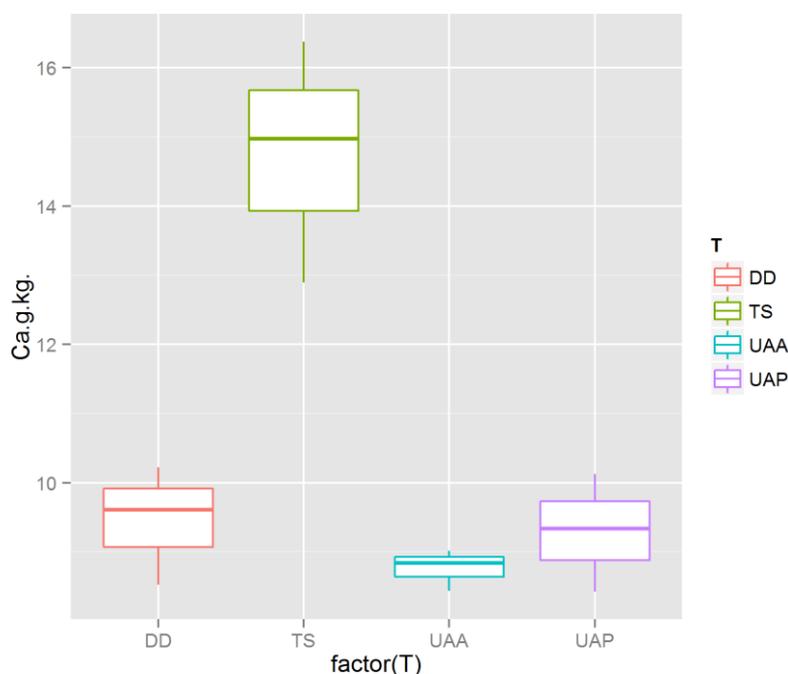
Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

A Figura 52 mostra maior dispersão e assimetria para dados do lodo de tanque séptico. Para o potássio, tem-se menor dispersão e concentrações mais baixas em lodo de decantodigestor. As concentrações medianas de magnésio para o lodo da ETE – PAJUÇARA e lodo séptico apresentaram valores mais elevados que os demais. As concentrações de potássio são pequenas, com exceção do lodo séptico, devido a sua alta solubilidade em água e, assim, durante o processo de tratamento de esgoto, o potássio fica contido no efluente líquido. Entretanto, mesmo com baixos teores, o potássio possui elevada assimilação pelas plantas.

Na Figura 53 apresenta-se o *box-plot* para cálcio.

Figura 53 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentração de macronutriente (cálcio)



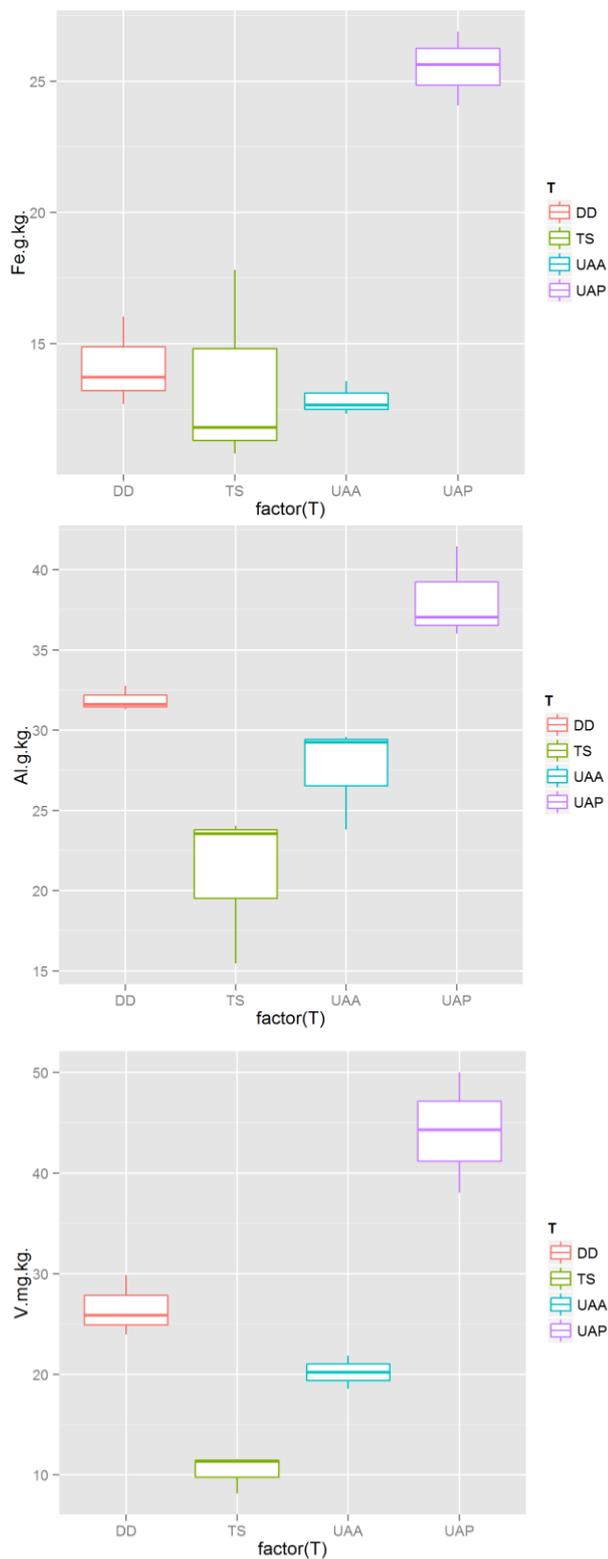
Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

Os dados para lodo de tanque séptico apresentaram maior dispersão nos resultados de concentração de cálcio. Os demais lodos mostraram menor dispersão e concentração desse metal, com valores mais próximos entre si em relação ao lodo séptico (Figura 53).

A Figura 54 apresenta os diagramas de caixas para ferro, alumínio e vanádio.

Figura 54 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentrações de ferro, alumínio e vanádio



Fonte: A autora (2014).

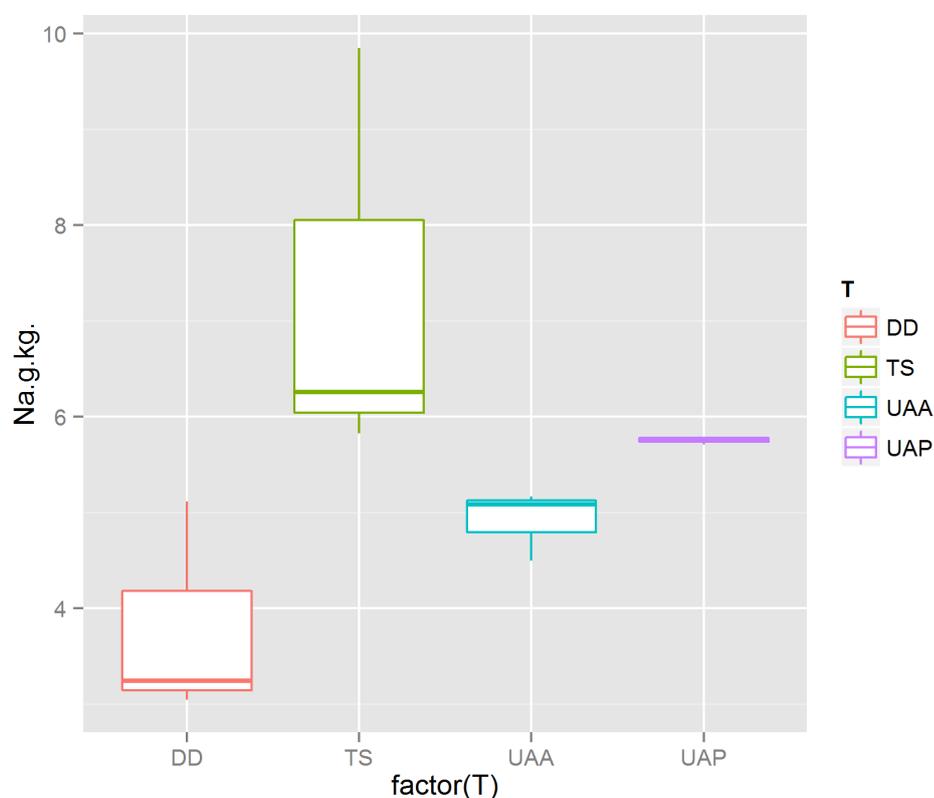
DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

De acordo com a Figura 54, os dados do lodo séptico apresentaram maior dispersão quanto à concentração de ferro e alumínio e assimetria para os três metais. O lodo da ETE-PAJUÇARA possui maior concentração de ferro, com simetria nos dados do primeiro e terceiro metal.

A concentração de alumínio e vanádio nos quatro tipos de lodos foi bastante variada, sendo que o lodo da ETE-PAJUÇARA apresentou maior concentração e o lodo de tanque séptico menor teor para os dois metais.

Na Figura 55 apresenta-se o gráfico *box-plot* para sódio.

Figura 55 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentração de sódio



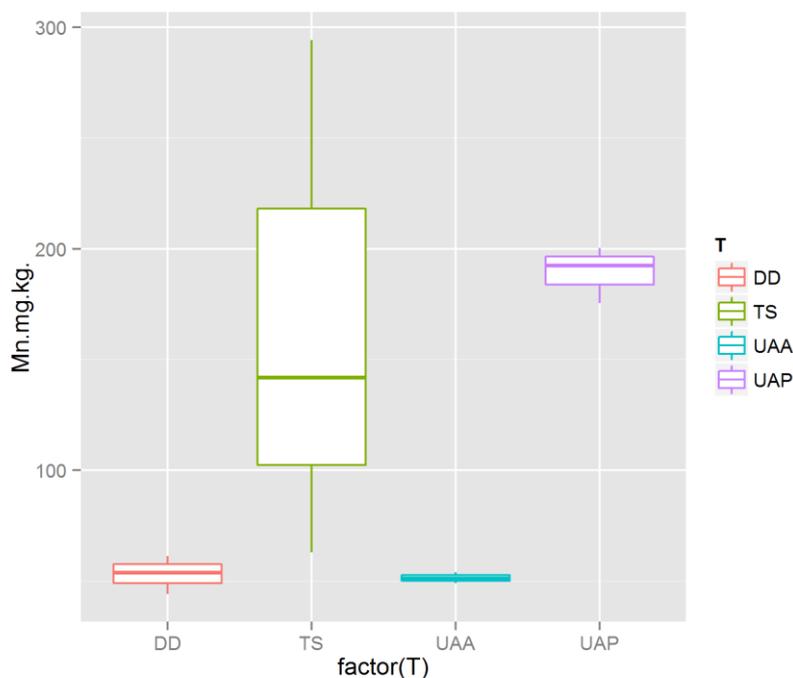
Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

A Figura 55 demonstra a maior dispersão nos dados de sódio do lodo de tanque séptico e menor para lodo da ETE-PAJUÇARA, além de assimetria para os três primeiros lodos. O gráfico mostra que o lodo séptico apresentou maior concentração de sódio.

A Figura 56 consta o *box-plot* para manganês.

Figura 56 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentração de manganês



Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

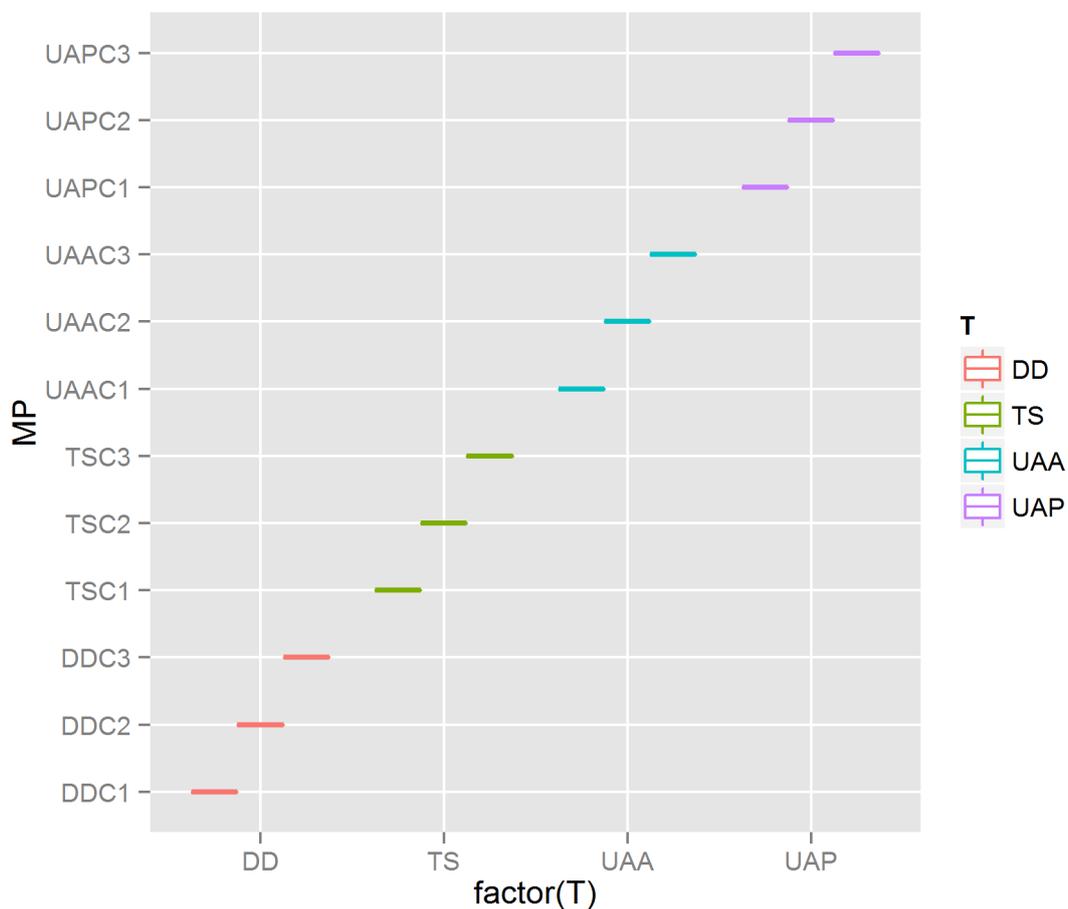
A Figura 56 mostra maior dispersão para lodo de tanque séptico e menor para lodo da ETE-ACARAPÉ III, sendo as concentrações medianas de manganês mais próximas para lodo de decanto-digestor e UAA.

No entanto, as concentrações dos nutrientes analisados conferem aos lodos em estudo um potencial agrônômico, sendo que a necessidade desses nutrientes para as plantas varia entre as culturas. De acordo com Tsutiya *et al.* (2001), dentre os micronutrientes quantificados nas amostras de lodo, o ferro e o manganês são considerados essenciais para as plantas, enquanto que o vanádio possui benefícios e o alumínio enquadra-se como não essenciais ou sem função.

No entanto, de acordo com os resultados obtidos é possível perceber que os nutrientes encontrados nos lodos podem exercer papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo, devendo-se considerar a toxidez devido à elevada concentração desses nutrientes para a planta e realizar acompanhamento e medidas de controle. De forma geral, é possível perceber oscilações dos teores de nutrientes e de metais pesados entre as coletas dos lodos e pode ser justificada pela heterogeneidade das amostras

em questão e os diversos fatores, como origem e características do esgoto, que podem influenciar na composição do lodo (Figura 57).

Figura 57 – Box-plot com percentis de 25% e 75% para concentrações de substâncias inorgânicas



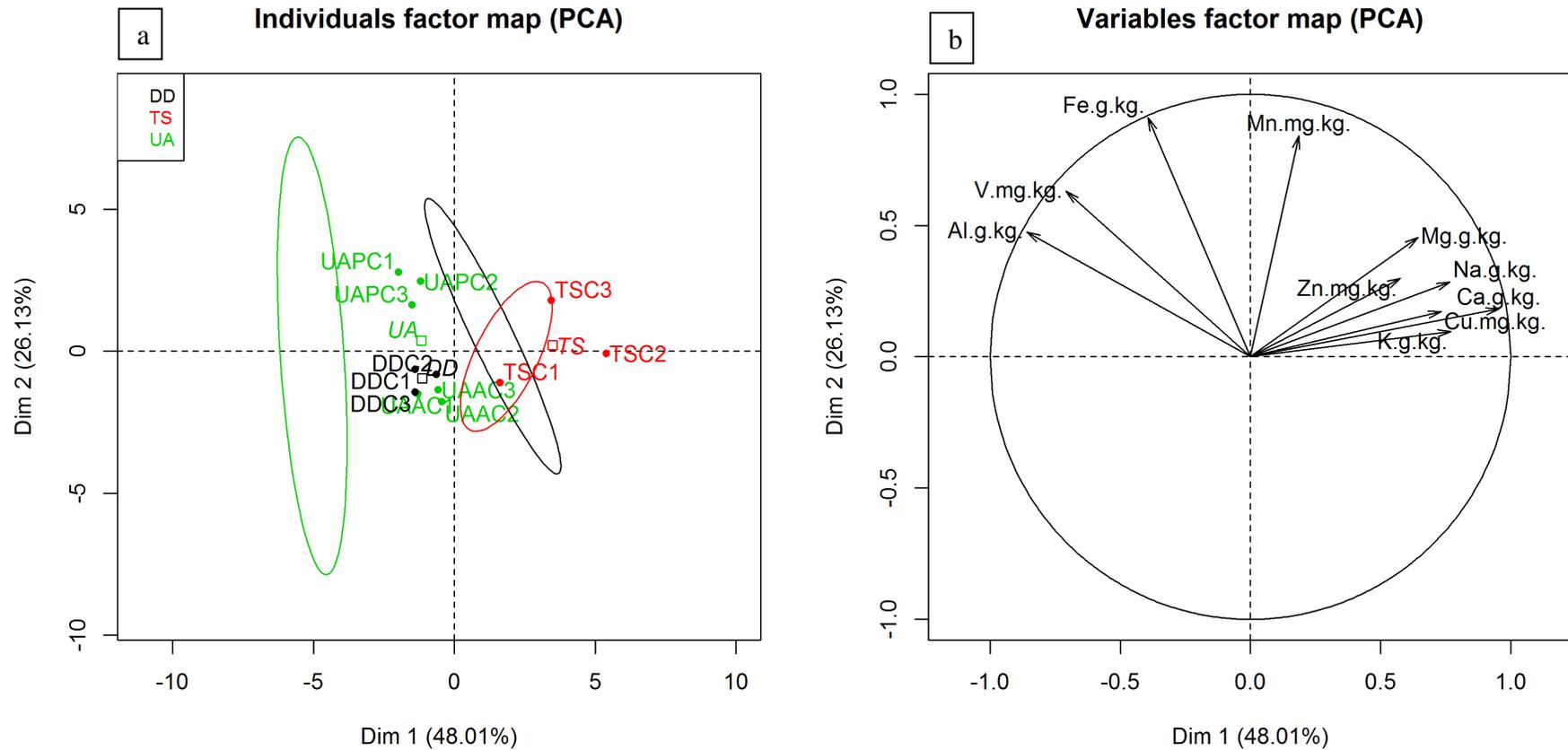
Fonte: A autora (2014).

DD: Lodo de Decanto-digestor da ETE-PEQUENO MONDUBIM; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA e TS: Lodo de tanque séptico.

C1: 1ª coleta, C2: 2ª coleta e C3: 3ª coleta.

A partir do método PCA, realizaram-se gráficos onde a informação relativa ao conjunto de dados originais (substâncias inorgânicas) é resumida nos gráficos de *scores* e *loadings*. Observando-se o gráfico dos *loadings*, é possível identificar as variáveis que são responsáveis pelas analogias ou diferenças detectadas, enquanto o gráfico dos *scores* fornece informações acerca das amostras (Figura 58).

Figura 58 - Análise de Componente Principal para substâncias inorgânicas: diagrama de ordenação das amostras (*scores*) e formação de grupos de amostras semelhantes (a) e diagrama de ordenamento das variáveis (*loadings*) (b) levando-se em consideração as componentes principais 1 e 2.



Fonte: A autora (2014).

Nota: Na Figura (a) a letra C representa coleta e, o número, a sequência da coleta. TS: Lodo de tanque séptico; UAP: Lodo de reator UASB da ETE-PAJUÇARA; UAA: Lodo de reator UASB da ETE-ARACAPÉ III; DD: Lodo de decanto-digestor.

O gráfico da Análise por Componentes Principais (ACP ou PCA) explicou 74,14 % da variância total dos dados, sendo que 48,01% é explicada por PC1 e 26,13% por PC2 (Figura 58). Nota-se que três grupos distintos foram formados basicamente em função do tipo de lodo, como mostra o gráfico de ordenação das amostras (*scores*) (Figura 58a).

As variáveis que proporcionaram a separação desses grupos podem ser visualizadas na Figura 58b, em função da posição similar das variáveis substâncias inorgânicas (metais) nos quadrantes do gráfico de ordenação das variáveis (*loadings*) e das amostras no gráfico de *scores* (Figura 58a).

Analisando, ainda, a Figura 58 percebe-se que a componente principal 1 (PC1) distingue o grupo TS dos demais. No geral, o quadrante superior esquerdo mostra que as três coletas do lodo da ETE-PAJUÇARA apresentaram maior concentração de ferro, vanádio e alumínio. O quadrante superior direito mostra que a 3ª coleta de lodo séptico apresentou maior concentração de manganês, magnésio, sódio, cálcio, cobre, potássio e zinco.

6 CONCLUSÕES

De acordo com a análise estatística dos dados obtidos, conclui-se que há diferença entre as médias de alguns parâmetros físico-químicos dos quatro grupos de lodo, enquanto não há diferença entre as médias das concentrações de metais pesados e nutrientes presentes.

Os valores de sólidos encontrados nos lodos são variáveis, mostrando a heterogeneidade nos resultados, que é influenciada pelas condições do sistema de tratamento e sua eficiência, além das características do esgoto recebido. No entanto, todos os lodos apresentam-se estáveis para fins de utilização agrícola, visto que no estudo foi encontrada uma relação SV/ST menor que 0,70.

Quanto à análise microbiológica, os resultados médios de concentrações de coliformes, em todas as amostras, foram superiores ao recomendado pela CONAMA 375/2006. Assim, para a utilização desses lodos na agricultura é necessário realizar algum tipo de tratamento adicional para reduzir ou remover a concentração desses patógenos e adequar-se ao limite exigido. Além disso, a variabilidade e alto valor dos resultados mostram a necessidade de se monitorar frequentemente a presença de indicadores bacteriológicos no lodo para verificar sua adequação quanto ao limite preconizado por Brasil (2006a) para utilização agrícola.

De acordo com a concentração de metais pesados encontrada nos lodos, eles poderiam ser utilizados na agricultura, pois apresentaram baixos valores em relação aos limites estabelecidos pela legislação, porém há restrição, apenas ao lodo séptico, devido à faixa de concentração do zinco exceder o limite máximo de concentração permitido pela Resolução CONAMA 375/2006. Entretanto, devem-se tomar alguns cuidados referentes à possível bioacumulação de metais em plantas e animais através de sucessivas aplicações de lodo, sendo, assim, conveniente realizar estudos sobre a dinâmica desses metais no solo.

Os nutrientes encontrados nos lodos podem exercer papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo, devendo-se considerar a toxidez devido à elevada concentração desses nutrientes para a planta e realizar acompanhamento e medidas de controle. O nitrogênio e fósforo, presentes nos lodos, indicam que podem ser usados como fertilizantes no desenvolvimento dos vegetais, havendo a necessidade de verificar a relação desses nutrientes no lodo para dosar a quantidade aplicada de acordo com a necessidade da planta. De acordo com os resultados de DQO, os lodos podem ser utilizados como adubo orgânico, promovendo o incremento de matéria orgânica e contribuindo para melhorar o condicionamento do solo.

7 RECOMENDAÇÕES

Como sugestões para futuras pesquisas poderia ser realizado um número maior de análises e ao longo do ano, para confirmar os dados de caracterização físico-química, microbiológica e de substâncias inorgânicas, a fim de obter melhores resultados.

As amostragens das coletas dos lodos deverão ser realizadas de forma composta, para obter uma amostra mais representativa e verificar se há relação com a dispersão nos resultados.

Recomenda-se também, realizar análises microbiológicas como ovos viáveis de helmintos e *Salmonella*, pois são parâmetros exigidos pela CONAMA 375/2006.

Verificar a viabilidade da destinação final do lodo de esgoto na reutilização agrícola.

Desenvolver estudos de avaliação da mobilidade de metais pesados no lodo de esgoto, por meio da extração sequencial de metais.

Realizar estudos de classificação dos lodos de acordo com a NBR 10004 de 2004, visando sua utilização na agricultura, conforme Brasil (2006a).

Analisar a presença de substâncias orgânicas potencialmente tóxicas, como dioxinas e furanos no lodo.

Para utilizar os lodos na agricultura, recomenda-se realizar a secagem para reduzir o volume e aumentar o teor de sólidos, visando a possibilidade do uso da compostagem como higienização do lodo.

REFERÊNCIAS

- AISSE, M.M. *et al.* Estudo comparativo do reator UASB e do reator anaeróbio compartimentado sequencial no tratamento de esgoto sanitário. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27.; 2000, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000. p.1-9.
- ALAMINO, R. de C. J. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais.** 2010. 221f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- ALMEIDA, G. C. *et al.* Eficiência dos processos químico e térmico na higienização de lodo de esgoto. **Iniciação Científica CESUMAR.**, v. 08, n. 01, p. 95-99, jan./jun. 2006.
Disponível em:
<<http://www.cesumar.br/pesquisa/periodicos/index.php/iccesumar/article/view/129/67>>.
Acesso em: 05 abr. 2014.
- ALMEIDA, P. R. M. de. **Microfauna de protozoários como indicador de eficiências da Estação de Tratamento de Esgoto do tipo lodo ativado, em Feira de Santana-BA.** 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.
- ALVAREZ, F. C. *et al.* Alteraciones químicas y fitodisponibilidad de níquel en suelo tratado con lodo albañal. **Química Nova.**, v. 31, n. 5, 990-997, 2008.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21ed. Washington D C: APHA, 2005, 1155p.
- ANDREOLI, C.V. *et al.* **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417 p.
- ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. ;. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** 3. ed. Belo Horizonte: Depto. Eng. Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484 p.
- ARAÚJO, F. F. de.; GIL, F. C.; TIRITAN, C. S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical.**, v. 39, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 10004:2004.** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro – RJ. 71p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **ABNT NBR 12209:1992.** Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13894:1997**. Tratamento no solo (landfarming). 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13969:1997**. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 60p.

BACKES, C. *et al.* Doses de lodo de esgoto compostado em produção de tapete de grama esmeralda imperial. **Revista Brasileira de Ciências do Solo.**, 37:1402-1414, 2013. Disponível em: <<http://www.sbc.org.br/wp-content/uploads/2013/11/29-198.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2014.

BAIRD, C.; CANN, M. C. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BARBOSA, G. M. de C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias.**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, out./dez. 2006. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2534/2171>>. Acesso em: 5 abr. 2014.

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

BASTOS, K.V. **Deteção e quantificação de ovos viáveis de Ascaris sp e ovos de outros helmintos em lodo de esgoto**. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Saúde Pública, Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo. 2012.

BASTOS, R. K. X. *et al.* Gerenciamento do lodo em um sistema UASB + BF. **Revista AIDIS de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.**, v. 1, n. 2., p. 1-7, 2007. Disponível em: <<http://www.metrik.cl/aidis/>>. Acesso em: 12 mai. 2014.

BATALHA, B. H. L. Fossa Séptica. **Revista Engenharia.**, n. 455, p. 10-24, 1986.

BELLI FILHO, P. *et al.* Lodos de tanques sépticos – Caracterização e tratamento anaeróbio em um digestor piloto. **AIDIS. Forjando el Ambiente que Compartimos.**, San Juan, AIDIS, p.1-7, ag. 2004.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 350p.

BETTIOL, W.; GHINI, R. Impacts of Sewage Sludge in Tropical Soil: A Case Study in Brazil. **Applied and Environmental Soil Science.**, v. 2011, 11p, 2011. Article ID 212807. doi:10.1155/2011/212807.

BEZERRA, F. B. *et al.* Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.3, p.469-476, mar. 2006.

BLANDON, S. B. **Tratamiento y adecuada disposicion de lodos domesticos e industriales**. 2010. 103f. Monografia (Tecnólogo Químico) – Facultad de Tecnologias, Universidad Tecnologica de Pereira, Pereira, 2010.

BORGES, F. **Caracterização e estudo da potencialidade de lodos de efluentes doméstico e industrial como combustível na geração de energia**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2008.

BORGES, N. B. **Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e tanques sépticos**. 2009. 150f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

BOVI, M. L. A. *et al.* Lodo de esgoto e produção de palmito em pupunheira. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 153-166, 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n1/16.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), 2010. N 147, Seção 1, p.3.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa SDA Nº 27. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), 2006b 09 jun. n 110, seção 1, p.15-16.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa SDA Nº 28. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), 2007. 27 jul. Seção 1, p.120-122.

BRASIL. Presidente do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 375 de 29 de agosto de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), 2006a. 30 ago. Seção n.167, seção 1, p.141-146.

CAMPOS, F. da S.de.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1389-1397, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a03v32n4.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2014.

CASSINI, S. T (Coord.). **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 210p. : Il. Projeto PROSAB.

CETESB. **NORMA TÉCNICA P 4.230**. Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação: manual técnico. Agosto de 1999. 33p.

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

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.

CONAM. Conselho do Meio Ambiente do Distrito Federal. **RESOLUÇÃO Nº 03/2006**. Brasília (DF), 2006. 18 JUL.

CORREIA, J. E. **Caracterização físico-química e microbiológica do lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Contorno. Feira de Santana, BA**. 2009. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2009.

COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T.R.; PIRES, A.M.M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA**. Botucatu: Ed. FEPAF, 2010. 407p.

COUNCIL, Directive 86/278/EEC de 12 Junho de 1986. **The protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture**. 1986.

CUKJATI, N. *et al.* Composting of anaerobic sludge: An economically feasible element of a sustainable sewage sludge management. **Journal of Environmental Management** 106 (2012) 48-55.

DÍAZ-CRUZ, M.S. *et al.* Analysis of selected emerging contaminants in sewage sludge. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 28, n. 11, 2009.

ELJARRAT, E. Effects of Sewage Sludges Contaminated with Chlorinated Aromatic Hydrocarbons on Sludge-Treated Areas (Soils and Sediments). **The Scientific World JOURNAL**, v.2, p. 1729–1733, 2002. ISSN 1537-744X; DOI 10.1100/tsw.2002.880.

EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

FEITOSA, M. C. A. **Lodo de esgoto: algumas aplicações em engenharia**. 2009. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.

FERNANDES, F. *et al.* **Reciclagem de lodo de esgoto – experiência da região metropolitana de Curitiba**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21.; 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2001. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/brasil/ii-023.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2014.

FERNANDES, F. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico; SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 97p.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 91p.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; JÜRGENSEN, D. Produção e características dos biossólidos. In: FERNANDES, F. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico; SANEPAR - Companhia de

Saneamento do Paraná. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 97p.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; PREVEDELLO, B. MS. Viabilidade de ovos de helmintos em leite de esgoto tratado termicamente. In.: Paraná-Curitiba: **Sanepar 2002**, Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v17/>> Acesso em: 08 mar. 2013.

FOGOLARI, O.; REIS, C. Z. dos.; PHILIPPI, L.S. Determinação de parâmetros cinéticos da inativação térmica de *Escherichia coli* em lodo de esgoto. **Eng Sanit Ambient.**, v.17, n.3, p. 255-262, jul./set. 2012.

FRANCO, A.; MARQUES, M. O.; MELO, W. J. de. Sugarcane grown in an oxisol amended with sewage sludge and vinasse: nitrogen contents in soil and plant. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v.65, n.4, p.408-414, july./aug. 2008.

FREIER, M.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.05, n.02, p. 102-107, 2007.

GALDOS, M. V. *et al.* Sewage sludge application on cultivated soils: effects on runoff and trace metal load. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v.66, n.3, p.368-376, may./june. 2009.

GEYER, A. L. B. **Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários com adição ao concreto**. 2001. 238f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GODINHO, V. M. **Estudo sobre a ocorrência de ovos de helmintos e viabilidade de ascaris sp em lodos anaeróbios in natura e submetidos à higienização por caleação e por tratamento térmico**. 2003. 139f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

GODOY, L. C. de. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica On-line Tecnologia, gestão e humanismo.**, São Paulo, v.2, n.1, 12p, 2013 – ISSN: 2238-5819. Disponível em: <<http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCO-TGH/article/view/43/26>>. Acesso em: 05 fev. 2013.

GOMES, L. P. *et al.* Critérios de seleção de áreas para reciclagem agrícola de lodos de estações de tratamento de esgoto (ETEs). p. 49-107. In: ANDREOLI, C.V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES 2006. p. 362-396.

GONÇALVES, F. T. de A. **Dinâmica do nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com café**. 2005. 73f. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2005.

GOOGLE EARTH. Data SIO, NOAA, U.S, Navy, NGA, GEBCO. ©2009 GeoBasis – DE/BKG.

GUEDES, M.C. *et al.* Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo.**, n.30, p.267-280, 2006.

HARTMANN, C.M. *et al.* Definições, histórico e estimativas de geração de lodo séptico no Brasil. In: ANDREOLI, C.V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 25-39.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio 2012.** Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 272p. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Trabalho_e_Rendimento/Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domicilios_anual/2012/Sintese_Indicadores/sintese_pnad2012.pdf>. Acesso em: 18/03/2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 219p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2014.

IDEXX LABORATORIES, INCONE IDEXX DRIVE, 2008. WESTBROOK, MAINE 04092 ESTADOS UNIDOS. Disponível em: <http://www.idexx.it/pdf/it_it/water/7542-01-colilert-18-report-port.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2014.

INGUNZA, M. D. P. D. *et al.* Caracterização física, química e microbiológica do lodo de fossa/tanque séptico. In: ANDREOLI, C.V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. p.25-39.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4. ed. Rio de Janeiro: 2005. 906 p.

JOURNAL OF THE INSTITUTION OF WATER ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. Sewage Sludge Disposal. v.3, p.208-211, 1989.

LEITE, B.Z.; INGUNZA, M. D.P.; ANDREOLI, C.V. Lodo de Decanto-digestores. In: ANDREOLI, C.V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Rio de Janeiro: ABES 2006. p. 362-396.

LESSA, G. T. **Contribuição ao estudo da viabilidade da utilização do lodo de estação de tratamento biológico de esgoto misto na construção civil.** 2005. 135f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LIMA, M. R. P. **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto.** 2010. 286f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

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

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. p. 123-157. In: ANDREOLI, C.V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F.; **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 3ed. Belo Horizonte: MG, 2001. 484p.

LUO, G.; WANG, W.; ANGELIDAKI, I. Anaerobic digestion for simultaneous sewage sludge treatment and CO biomethanation: Process performance and microbial ecology. **Environ. Sci. Technol.**, v.47, p. 10685 – 10693, 2013.

MARQUES, M. O. *et al.* Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 111-122, apr./jun. 2007.

MEDEIROS, A. C. de. **Avaliação do processo de co-compostagem de lodo de tanque séptico unifamiliar e resíduos sólidos orgânicos**. 2009. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2009.

MELO, W. J. de. *et al.* Uso de resíduos em hortaliças e impacto ambiental. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Olericultura**, 41, São Pedro. São Pedro: SOB, 2000. Disponível em: <<http://www.ambientenet.eng.br/TEXTOS/OLERIC.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2014.

MENDOZA, B. N. R. **Estabilización de los lodos sépticos que provienen de una comunidad pequeña con microorganismos eficaces (EM)**. Universidad Earth, Guácimo - Costa Rica, 2004, 55p.

METCALF; EDDY; TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, c2003. xxviii, 1819 p.

MIKI, M.K.; ANDRIGUETI, E. J.; SOBRINHO, P. A. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. p. 41-87. TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. In: **Biossólidos na agricultura**. 1. ed. São Paulo: SABESP, 2001. 468p.

MIKI, M.K.; SOBRINHO, P. A; VAN HAANDEL. A. C. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos – Condicionamento, Desaguamento Mecanizado e Secagem Térmica do Lodo. p. 49-107. In: ANDREOLI. C.V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES 2006. p. 362-396

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 295p.

MOBRICCI, C. A. de N. **Adubação mineral, esterco de curral e lodo de esgoto no desenvolvimento inicial do cafeeiro**. 2006.76f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

MUSSE, C. L. B. **Avaliação das potencialidades da cinza de lodo de esgoto da ETE Goiânia como adição mineral na produção de argamassa de cimento portland**. 2007. 133f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós - Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

NASCIMENTO, C. W. A. *et al.* Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, n.2, p.385-392, 2004. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n2/20221.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2013

NUVOLARI, A. (Coord). **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2ed. rev., atual. e ampl. São Paulo, SP: Blucher, 2011. 565 p.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.807-812, out./dez. 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v58n4/6302.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2014.

OLIVEIRA, F.C. *et al.* Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **R. Bras. Ci. Solo.**, v. 26, p. 505-519, 2002. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n2a25.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2014.

PARAÍBA, L. C. *et al.* Risk Simulation of Soil Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Sewage Sludge used as Fertilizers. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 22, n. 6, p. 1156-1163, 2011.

PASSAMANI, F. R. F. *et al.* Remoção de coliformes fecais e patógenos em um conjunto UASB-BF tratando esgoto sanitário. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20.; 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 1999.

PASSAMANI, F. R. F.; KELLER, R.; GONÇALVES, R. F. Higienização de lodo utilizando caleagem e pasteurização em uma pequena estação de tratamento de esgoto combinando reator UASB e biofiltro aerado submerso. *In*: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21.; 2002, Cancun, México. **Anais...** Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, AIDIS, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-102.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2014

PEDROZA, M. M.; RIOS, R. F. de M.; PEDROZA, C. M.; SOUSA, J. F.de.; VIEIRA, G. E. **G. Determinação das Características Químicas de Lodo de Esgoto produzido em Reator UASB em Palmas, Tocantins.** *In*: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7.; 2012, Palmas, Tocantins.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um Reator Anaeróbico de Manta de Lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 4, n. 3, 2009.

PINTO, M. T. Higienização de lodos. *In*: ANDREOLI, C.V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F ;. **Lodo de esgotos**: tratamento e disposição final. 3ed. Belo Horizonte: MG, 2001. p. 261-297.

PIRES, G. T. *et al.* Adição de lodo de esgoto da ETE do município de Jaguariúna em tijolos cerâmicos: estudo de viabilidade. **Revista Intellectus.**, Jaguariuna, ano VIII, n. 22, p.215-231,

2012. Disponível em:

<<http://www.revistaintellectus.com.br/DownloadArtigo.ashx?codigo=250>>. Acesso em: 21 abr. 2014.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físicos - químicos**. São Paulo, SP: ABES, 2006. 285p.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 21 jun. 2014.

RATIS, A. N. F. A. **Caracterização dos resíduos esgotados de sistemas de tratamento individual de esgotos domésticos de Natal**. 2009. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Centro de Tecnologia, Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

RIBAS, M. M. F.; MORAES, E de M.; FORESTI, E. Avaliação da acurácia de diversos métodos para determinação de ácidos graxos voláteis e alcalinidade a bicarbonato para monitoramento de reatores anaeróbios. **Eng. sanit. Ambiente**, v.12, n.3, p.240-246, jul./set. 2007.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: <www.sabesp.com.br>. Acessado em: 15 mar. 2013.

SAITO, M. L. **O Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 35 p. : il. —

SANTOS, D. de S. **Caracterização do lodo obtido em manta e leito do Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e submetido ao leito de secagem**. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) – Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2012.

SANTOS, H. F. dos. Normatização para o uso agrícola dos biossólidos no exterior e no Brasil. In: ANDREOLI, C.V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F.; **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 3ed. Belo Horizonte - MG, 2001. p. 423-462.

SCHOWANEK, D. *et al.* A risk-based methodology for deriving quality standards for organic contaminants in sewage sludge for use in agriculture: conceptual framework. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 40, p.227-251, 2004.

SHAHEEN, S. M. *et al.* Influence of Stabilized Biosolids Application on Availability of Phosphorus, Copper, and Zinc. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2012, 11p, 2012. Article ID 817158, doi:10.1155/2012/817158.

SILVA, A. G. da. *et al.* Compostagem aeróbia conjugada de lodo de tanque séptico e resíduos sólidos vegetais. **Engenharia Sanitária Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES. 2008, v. 13, n. 4, p. 371-379, out./dez. 2008.

SILVA, A. M. R. Bastos da. **Caracterização e avaliação do potencial de uso de lodos de Estações de Tratamento de Esgoto doméstico da Região Metropolitana do Recife**. 2001. 266f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de Pernambuco, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

SILVA, C.A. *et al.* Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em Latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, v.30, n.02, p. 353-364, 2006.

SMITH, S.R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. **Environment International.**, n. 35, p. 142-156, 2009.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2011. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2013. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 18 mar. 2014.

SOBRINHO, P. A. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001, p. 7-40.

SURFRIDER FOUNDATION BRASIL. **Brasil e Europa pelas praias**. Press Release – 1. 2006. 4p.

TAMANINI, C. R. *et al.* Estudo da utilização de altas doses de biossólido na recuperação de área decapada em São José dos Pinhais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. 2005. Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2005.

TEIXEIRA, C. **Higienização de lodo de estação de tratamento de esgoto por compostagem termofílica para uso agrícola**. 2012. 143f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 10ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2008. 696 p.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001, p. 1331800.

TSUTIYA, M.T. *et al.* **Biossólidos na Agricultura**. 1ª ed. São Paulo: SABESP, 2001. 468p.

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

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Biosolids Generation Use and disposal in The United State**. EPA 530-R-99-009 (Sep.1999).

Disponível em: <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/biosolids/503pe_index.cfm>. Acesso em: 1 abr. 2014.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (Including domestic septage) under 40 CFR part 503**. Office of Science and Technology Sludge Risk Assessment Branch. Washington, DC 20460, 1992. 151 p.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Technical Support Document for Land Application of Sewage Sludge**, Vol. I. U. S. E. P. A. Prepared for Office of Water. Washington, DC, Eastern Research Group, Lexington, MA, 1992.

USEPA, 40CFR 503,1993. **Code of Federal Regulations (CFR), Title 40, Part 503, Standards for the Use Disposal of sewage Sludge**. Disponível em: <<http://ecfr.gpoaccess.gov/>>. Acesso em: Jun. 2013.

VAN VOORNEBURG, F.; VAN VEEN, H. J. Treatment and disposal of municipal sludge in the Netherlands. **Journal of the Institution of Water and Environmental Management**, v.7, p.117-121, 1993.

VASCONCELOS, G. V. **Utilização de bioensaios para avaliação da ecotoxicidade em resíduos de esgotamento de caminhão limpa- fossa: lodo de fossa séptica**. 2012. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

VIEIRA, S. M. M; SOBRINHO, P.A. Resultado de operações e recomendações para o projeto de sistemas de decanto-digestor e filtro anaeróbio para tratamento de esgoto sanitário. **Revista DAE.**, n. 44 (135), p.7-51 dez. 1983.

VISSER, S. Management of microbial processes in surface mined land reclamation in western Canadá. *In*: TATE, R. L.; KLEIN, D. A. **Soil reclamation processes**. New York: M. Dekker, 1995. p.203-341.

VOLSCHAN JUNIOR, I.; JORDÃO, E. P.; PAIXÃO, M. C. T. Caracterização qualitativa do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos domésticos da região metropolitana do rio de janeiro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21.; 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuais; v.1).

ZULOAGA, O. *et al.* Overview of extraction, clean-up and detection techniques for the determination of organic pollutants in sewage sludge: A review. **Analytica Chimica Acta.**, 736 (2012) p.7–29.