



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

Vera Maria Lucas Ribeiro

**CARACTERIZAÇÃO DO LODO SOBRENADANTE DA LAGOA
FACULTATIVA PRIMÁRIA DA ETE PONTA NEGRA,
NATAL/RN.**

Natal/RN

2006

Vera Maria Lucas Ribeiro

**CARACTERIZAÇÃO DO LODO SOBRENADANTE DA LAGOA
FACULTATIVA PRIMÁRIA DA ETE PONTA NEGRA,
NATAL/RN.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. André Luís Calado Araújo

Natal

2006

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central

Zila Mamede. Divisão de Serviços Técnicos

Ribeiro, Vera Maria Lucas.

Caracterização do lodo sobrenadante da lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra, Natal/RN / Vera Maria Lucas Ribeiro. – Natal, 2006.

96 p. : il.

Orientador : Prof^o Dr. André Luis Calado Araújo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

VERA MARIA LUCAS RIBEIRO

**CARACTERIZAÇÃO DO LODO SOBRENADANTE DA LAGOA
FACULTATIVA PRIMÁRIA DA ETE PONTA NEGRA,
NATAL/RN.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Dr. André Luís Calado Araújo – Orientador

Dr^a. Josette Lourdes de Sousa Melo – Examinador UFRN

Dr^a. Patrícia Guimarães – Examinador Externo

Natal, 26 de Outubro de 2006.

Agradeço a Deus que permitiu.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, de forma especial, ao Prof. Ph.D. André Luís Calado Araújo por viabilizar, através de sua paciência, a concretização deste trabalho.

Ao M.sc. Marco Antônio Calazans Duarte, pelo incentivo;

A cada Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária - PPGES da UFRN, em especial à Prof. Dr^a. Maria Del Pilar Durante Ingunza e à Prof. Dr^a. Ada Cristina Scudelari.

A todos os amigos que colaboraram no desempenho deste trabalho: Nos laboratórios da EMPARN, M.sc. Conceição Bentes; Na CAERN, Liana Cristina da Silva Pinheiro e Elsa Pinheiro; No LARHISA Sandro Araújo da Silva, Gelsa Campelo e Fernanda Lima.

Aos amigos Antomar Galvão Pinheiro e Fátima Bezerra Barbosa de Medeiros, pelo incentivo à conclusão deste trabalho.

A cada funcionário do LARHISA, em especial à Secretária Leonor Barbosa dos Santos, por toda a atenção.

À Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos nas pessoas do Senhor Secretário Eng^o Josemá de Azevedo, M.sc. Sérgio Pinheiro, Eng^o Gustavo Juan Lizárraga, Eng^o Francisco Gurgel de Castro e o Consultor Paulo Marcio Varela.

À Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte nas pessoas de: Diretor Presidente Eng^o Pedro Lisboa, Eng^o Isaias de Almeida Costa Filho, Eng^o Luís Roberto de Melo, Eng^o Cícero Fernandes.

E, muito especialmente, agradeço a minha irmã Ana Maria Lucas Ribeiro da Silva por todo incentivo, exemplo de determinação e estímulo, a quem ofereço este trabalho.

RESUMO

A Dissertação de Mestrado apresenta uma avaliação de um tipo de subproduto gerado na lagoa de estabilização do tipo facultativa primário do sistema de tratamento de efluentes de Ponta Negra. O lodo flotante, o então subproduto, foi coletado e posto para secagem em um dispositivo de secagem, que foi construído com propriedades de drenagem da água existente no lodo diferentes do leito de secagem, mas com o mesmo objetivo, ou seja de separar a parte sólida da líquida, a principal característica do dispositivo de secagem é um escoamento horizontal, sem a presença da camada drenante existente no leito de secagem, trata-se de uma alternativa mais simplificada para o tratamento da parcela do lodo flotante gerado em uma lagoa facultativa primária. O lodo flotado da lagoa é considerado resíduo do tratamento secundário gerado quase que diariamente, e seu destino negligenciado. Como sua composição é advinda do esgoto sanitário doméstico é comum a existência de material poluente tanto do nível sanitário como do nível orgânico, este em escala bem menor, por trata-se de um esgoto basicamente doméstico. O lodo flotante foi avaliado do ponto de vista sanitário e orgânico e avaliado seu potencial agronômico através das análises de fósforo e nitrogênio, verificando a possibilidade de sua utilização como insumo orgânico. As análises realizadas mostraram que se trata de um lodo digerido de grande valor agronômico, apresentando uma considerável carga de patógenos como também de resíduos sólidos (lixo) presentes no lodo. É fato que a maioria dos sistemas de tratamento de esgotos composto por lagoas facultativas não possui leito de secagem para disposição do lodo flotado e outros resíduos sólidos do tratamento. A proposta é a construção de um sistema, mais simplificado e economicamente viável, que permita a secagem do lodo e possibilite posteriormente a sua remoção para um destino ambientalmente correto.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo flotante, Leito de secagem, Lodo de Esgoto, ETE Ponta Negra.

Abstract

This work presents an evaluation of a type of sub product generated in the lagoon of stabilization of primary facultative type of the treatment system of effluent of Ponta Negra. The floating silt, the sub product, was collected and dried in a drying device, that was constructed with draining properties of the existing water in the silt different from the drying stream bed, but with the same objective, that is to separate the solid part of the liquid, the main characteristic of the drying device is a horizontal draining, without the presence of the existing drenante layer in the drying stream bed, it is a more simplified alternative for the treatment of the parcel of the flotante silt generated in a primary facultative lagoon. The floated silt of the lagoon is considered residue of the secondary treatment generated almost every day, and its destination is neglected. As its composition comes from the domestic sanitary sewer it is common the existence of pollutant material not only in the sanitary level but also in the organic level, the latter in a minor scale, because it is basically a domestic servant sewer. The floated silt was evaluated from the sanitary and organic point of view and evaluated its agronomical potential through the analyses of iron and nitrogen, verifying the possibility of its use as organic insumo. The analysis has shown that it is a digested silt of great agronomical value, presenting a considerable load of pathogens as well as solid residues (garbage) found in the silt. It is true that most of the composed sewers treatment systems for facultative lagoons does not have drying stream bed for the disposal of the flotado silt and other solid residues of the treatment. The proposal is the construction of a system, more simplified and economically viable, that allows the drying of the silt and later it makes possible its removal for a correct ambiently destination.

KEY WORDS: flotante silt, drying stream bed, sewer silt, ETE Ponta Negra.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Esquema de funcionamento de uma lagoa facultativa (adaptado de Von Sperling, 1996).	11
Figura 3.2 Vista do sistema de lagoas de estabilização de Ceará-Mirim/RN (Foto retirada em novembro de 2003. Destaque para a grande quantidade de lodo flotante na segunda lagoa anaeróbia e começo do desenvolvimento de vegetação).	16
Figura 3.3 Vista do sistema de lagoas de estabilização de Ceará-Mirim/RN (Foto retirada em novembro de 2003, logo após a limpeza da primeira lagoa anaeróbia. Destaque para a formação de espuma na segunda lagoa anaeróbia).	17
Figura 3.4 Vista do sistema de lagoas de estabilização de Ceará-Mirim/RN (Foto retirada em novembro de 2005. Destaque para a grande quantidade de lodo flotante na segunda lagoa anaeróbia ainda sem o desenvolvimento de vegetação).	17
Figura 3.5 Vista do sistema de lagoas de estabilização de Ceará-Mirim/RN (Foto retirada em novembro de 2005. Destaque para a grande quantidade de lodo flotante na primeira lagoa anaeróbia, inclusive com o estabelecimento de vegetação, dois anos após sua limpeza).	18
Figura 4.1 Detalhe do fluxo hidráulico e imagem de satélite IKONOS-2002 da ETE Ponta Negra.	30
Figura 4.2 Vista da unidade de tratamento preliminar da ETE Ponta Negra.	31
Figura 4.3 Vista da lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra.....	31
Figura 4.5 Seleção de alguns tipos de resíduos sólidos e sementes encontrados no lodo sobrenadante da lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra.	33
Figura 4.6 Vistas da camada de lodo flotante acumulada na lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra próximo ao talude de entrada.	35
Figura 4.7 Detalhes do dispositivo experimental de secagem do lodo.	38
Figura 4.8 Vista do dispositivo de secagem experimental.....	39
Figura 5.1 Lodo flotante característico do tratamento de esgoto em lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra.	47
Figura 5.2 Vista do surgimento de lodo arrastado junto com os gases formados no interior do reator.	48
Figura 5.3 Vista de flocos de lodo mais aglutinados devido à falta de remoção da superfície do reator.	48

Figura 5.4 Vista da entrada da lagoa facultativa com pouca formação de lodo flotante devido à grande influência dos ventos que desestabilizam os flocos.	49
Figura 5.5 Resíduos sólidos existentes no lodo sobrenadante com destaque para a grande quantidade de sementes.	50
Figura 5.6 Tampas de pedaços de material plástico existentes no lodo sobrenadante.....	50
Figura 5.7 Canudos e outras hastes plásticas, preservativos e restos de absorventes existentes no lodo sobrenadante.	51
Figura 5.8 Vista do processo inicial de formação de lodo sobrenadante na lagoa facultativa.....	52
Figura 5.9 Lodo com aspecto pastoso com pouquíssima formação de flocos, mas com grande quantidade de resíduos sólidos presentes.	53
Figura 5.10 Amostras de lodo retirada do leito de secagem para realização de análises.	54
Figura 5.11 Histogramas de frequência de coliformes e teor de matéria orgânica indicando falta de normalidade e normalidade dos dados, respectivamente.	57
Figura 5.12 Distribuição normal de probabilidade de coliformes e teor de matéria orgânica indicando a falta de normalidade e normalidade dos dados, respectivamente.	58
Figura 5.13 Histograma e distribuição normal de probabilidade de coliformes após transformação logarítmica indicando a normalidade dos dados, respectivamente.	59
Figura 5.14 Variação das concentrações de fósforo (mg/kg) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).....	60
Figura 5.15 Variação das concentrações de nitrogênio (%) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).....	61
Figura 5.16 Variação das concentrações de condutividade ($\mu\delta/cm$) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).	62
Figura 5.17 Variação das concentrações de coliformes termotolerantes (ufc/g) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).	63
Figura 5.18 Variação das concentrações de sólidos totais (g/kg) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).	64
Figura 5.19 Variação das concentrações de sólidos fixos (g/kg) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).	65
Figura 5.20 Variação das concentrações de sólidos voláteis (g/kg) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).	66

Figura 5.21	Varição das concentrações de pH ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).....	67
Figura 5.22	Varição da relação sólidos voláteis / sólidos totais ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).	68
Figura 5.23	Varição do teor de unidade (%) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Limites de patógenos presentes no lodo de esgoto para reciclagem Agrícola. .	23
Tabela 3.2 Concentração máxima permitida de metais em solos cultivados com lodo de esgoto (mg/Kg).....	25
Tabela 3.3 Classificação de biossólidos quanto à presença de patógenos.....	28
Tabela 4.1 Características físicas e hidráulicas da ETE Ponta Negra.	30
Tabela 4.2 Variáveis analisadas e seus respectivos métodos analíticos.	34
Tabela 5.1 Resultados da estatística descritiva básica aplicada aos dados brutos das variáveis monitoradas no lodo flotante da lagoa facultativa primária – ETE Ponta Negra..	56
Tabela 5.2 Elementos químicos encontrados no lodo flotante (Análise Química Semi-quantitativa).....	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	Erro! Indicador não definido.
	Erro! Indicador não definido.	
2.1	Objetivo Geral	Erro! Indicador não definido.
2.2	Objetivos Específicos	Erro! Indicador não definido.
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	Considerações Iniciais	4
3.2	Processos de Tratamento	5
3.2.1	Tratamento Físico	5
3.2.2	Tratamento Químico.....	8
3.2.3	Tratamento Biológico.....	8
3.3	Níveis de Tratamento.....	8
3.3.1	Tratamento Preliminar.....	8
3.3.2	Tratamento Primário.....	8
3.3.3	Tratamento Secundário.....	8
3.3.4	Tratamento Terciário	9
3.4	Lagoas de Estabilização.....	9
3.4.1	Lagoas Anaeróbias	9
3.4.2	Lagoas Facultativas	10
3.4.3	Lagoas de Maturação.....	12
3.5	Lodo de Esgotos	12
3.5.1	Lodo Flotante	13
3.5.2	Quantidade de Lodo Gerado.....	14
3.5.3	Classificação do Lodo	18
3.5.4	Principais Constituintes do Lodo	19
3.5.5	Propriedades do Lodo.....	19
3.5.6	Processo de Digestão Anaeróbia do Lodo.....	20
3.5.7	Desidratação do Lodo através de Leitos de Secagem	20
3.5.8	Aspectos Sanitários do Lodo e Micropoluentes	23
3.5.9	Metais Pesados Presentes em Lodos	24

3.5.10	Desinfecção do Lodo	25
3.5.11	Nutrientes	26
3.5.12	Biossólidos	26
3.5.13	Requisitos Mínimos de Qualidade do Lodo de Esgoto ou Produto Derivado Destinado a Agricultura.....	27
4	Materiais e Métodos.....	29
4.1	Localização da ETE Ponta Negra.....	29
4.2	Descrição da ETE Ponta Negra	29
4.3	Avaliação Qualitativa do Lodo Flotante.....	32
4.4	Quantificação do Lodo flotante	34
4.5	Sistema de Secagem Experimental.....	37
4.6	Procedimentos Analíticos	40
4.6.1	Matéria Orgânica	40
4.6.2	Teor de Umidade a 65° C	40
4.6.3	Densidade Real	41
4.6.4	pH	41
4.6.5	Condutividade	41
4.6.6	Coliformes Termotolerantes.....	42
4.6.7	Nitrogênio.....	43
4.6.8	Fósforo Total	45
4.6.9	Helminhos	45
5	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	46
5.1	Características do Subproduto	46
5.2	Características Físico-Químicas e Microbiológicas do Material.....	54
5.3	Tratamento Estatístico dos Dados	56
5.3.1	Fósforo Total	60
5.3.2	Nitrogênio.....	61
5.3.3	Condutividade	62
5.3.4	Coliformes Termotolerantes.....	63
5.3.5	Sólidos Totais	64
5.3.6	Sólidos Totais Fixos	65
5.3.7	Sólidos Voláteis.....	66

5.3.8	pH.....	67
5.3.9	Relação Sólidos Voláteis / Sólidos Totais.....	68
5.3.10	Teor de Umidade	69
5.3.11	Densidade	69
5.3.12	Helmintos	69
5.4	Elementos Químicos.....	70
5.5	Considerações Gerais Sobre o Lodo Sobrenadante.....	71
6	CONCLUSÃO.....	74
7	Recomendação.....	76
8	Referências Bibliográficas.....	77

1 INTRODUÇÃO

A política de meio ambiente e saúde pública, atualmente mais voltada para os problemas de poluição, tenta minimizar os resultados do pouco caso dado a este setor, advindo do processo de desenvolvimento desordenado e descomprometido com a sustentabilidade. Hoje, torna-se imperiosa toda a ação de defesa ao meio ambiente, como forma de preservação de nossa própria existência.

Como um dos principais envolvidos na questão ambiental, o saneamento básico tem um papel relevante na política de meio ambiente, como também, é diretamente responsável pela saúde pública, uma das mais prejudicadas com sua precariedade e insipiência.

Segundo dados estatísticos do Censo de 2002 do IBGE, o Brasil conta apenas com 68,9 % de sua população atendida por sistemas de coleta de esgotos sanitários, sendo que, do total coletado, apenas cerca de 30 % é devidamente tratado antes de sua disposição no meio ambiente.

Uma conscientização que se volte ao saneamento implica diretamente na objetividade da coleta e tratamento das águas residuárias. Diversas tecnologias foram desenvolvidas para a questão, mas deixam, em sua maioria, de contemplar o tratamento dos subprodutos gerados durante as várias etapas dos processos de tratamento.

Entre os principais resíduos gerados em uma estação de tratamento de esgoto é possível destacar os gases e os resíduos sólidos, entre eles, o lodo, que, em sistemas de lagoas de estabilização, por exemplo, é depositado no fundo dos reatores. Parte desse lodo gerado em uma lagoa primária é flotado do fundo juntando-se com a gordura e outros materiais flutuantes, que passam pelas grades durante o tratamento preliminar, na superfície da lagoa, formando uma camada flotante comumente conhecida pelo termo espuma.

A flotação do lodo é devida a reações existentes durante o processo anaeróbio que ocorre no fundo da lagoa, que gera gases, e estes, ao subirem à superfície do reator para escaparem para a atmosfera, arrastam partículas sedimentadas ou em processo de sedimentação. Este resíduo permanece na superfície e sua retirada é imprescindível para a eficiência do tratamento. A geração de resíduos durante o processo de tratamento de esgoto é constante e o seu tratamento e disposição adequada torna-se um desafio e uma nova

necessidade a ser incorporada no dimensionamento das estações de tratamento de esgotos sanitários.

É de fundamental importância a questão de tratamento de águas residuárias. É imprescindível a expansão dos sistemas de esgotamento sanitário através de redes coletoras, mas é imperativo o tratamento eficiente dos afluentes e um correto destino dos subprodutos gerados pelos processos de tratamento.

Em sistemas de lagoas de estabilização, por exemplo, as lagoas anaeróbias e facultativas primárias são dimensionadas, também, com o objetivo de favorecerem um grande acúmulo de lodo, não sendo a sua remoção muito freqüente. Na literatura, são poucos os trabalhos relatando experiências na remoção de lodo de lagoas e o que deve ser feito após a sua remoção. O mesmo se aplica para o caso do lodo flotante onde, praticamente, não se mensura sua produção, caracterização, tratamento e disposição.

No relatório final da pesquisa “Revisão da Experiência Brasileira Relativa a Sistemas de Baixo Custo para Tratamento de Águas Residuárias”, Andrade Neto (1994) relata a preocupação da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN, com o destino do lodo sobrenadante, que, sem dúvida, requer um destino final responsável, o que na maioria das vezes, não acontece, sendo este subproduto lançado muitas vezes às margens das lagoas, provocando inconvenientes do aspecto ambiental e de saúde. O correto tratamento deste subproduto pode torná-lo menos agressivo ao meio ambiente e até mesmo estimular a sua utilização, por exemplo, como um condicionante agrícola, devido a suas características químicas. Tal prática estaria em total concordância com a Lei da Conservação da Massa ou Conservação da Matéria, citada por Antoine Laurent Lavoisier, "Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma".

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo principal caracterizar o lodo flotante gerado na lagoa facultativa primária da Estação de Tratamento de Esgotos de Ponta Negra, situado em Natal/RN. É também objeto de estudo propor uma tecnologia mais simplificada para tratamento do lodo flotado, da lagoa de estabilização, em função das suas características.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Caracterizar o lodo flotante gerado na lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar sua formação, composição físico-química e bacteriológica.
 - Avaliar a sua possível utilização como adubo orgânico.
 - Propor uma tecnologia mais simplificada de leito de secagem.
-

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A crença na origem divina das doenças e epidemias não impediu os etruscos, primeiros habitantes da península Itálica, de expressarem em sua cultura cuidados com a higiene e o saneamento. A importância à saúde pública era dada através de drenagem dos pântanos e o suprimento de água limpa. Não havia relação entre aterro ou drenagem dos pântanos com a extinção de mosquitos, que eram os transmissores da febre malária, mas sim, ao odor desagradável “mau ar” (malária) que provocaria as febres.

Na Roma imperial, evitar o mau ar dos pântanos era indiscutível para evitar as febres, o que reforçou culturalmente a importância de água limpa e higiene da população. Suas ruas eram limpas sob fiscalização, os mercados vigiados, inclusive os bens de consumo. O alimento passava por rigorosa inspeção. A importância de consumir água potável obtida em poços surgiu nessa época, evitando-se a ingestão da água do rio Tigre. Foi construído o primeiro aqueduto (Água Ápia) no final do século IV a.C., obra do censor Ápio Cláudio Crasso. Roma também tinha uma rede eficaz de esgotos onde mais de 150 latrinas públicas encaminhavam adequadamente os dejetos para um sistema de esgoto subterrâneo. Esses sistemas foram construídos a mais de 2.000 anos em Roma e, após a decadência do Império, esses sistemas só foram novamente adotados no Século XIX. As cidades medievais não possuíam sistema de esgotos; os dejetos se acumulavam próximo aos muros e fluíam para os rios, de onde muitas vezes era retirada água para ingestão.

Na segunda metade do Século XVIII, a Europa caminhava para a formação de cidades industriais típicas do Século XIX, em face da migração dos trabalhadores do campo para as cidades, o que ocasionava a aglomeração de famílias em regiões pobres. As moradias, verdadeiros cortiços miseráveis, não eram atendidas por sistema de coleta de esgotos ou remoção de lixo. Muitas casas não tinham latrinas, havendo apenas uma tina, o “urinol”, em que se colocavam os dejetos humanos para serem descartados pela manhã. A imundície formada nas proximidades da tina era uma grande fonte de transmissão de doenças, assim como o era o rio mais próximo, destino muitas vezes dado aos dejetos (Ujvari, 2003).

Esgoto é toda água que após ser utilizada tem suas características físicas, químicas e bacteriológicas modificadas, tornando-se inviável para o mesmo uso. Hoje, este termo é usado para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e

da origem da água, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, pluvial, as de utilidade pública, de área agrícola, de superfície, de infiltração, e outros efluentes sanitários. A aversão pelo termo esgoto levou alguns autores à substituição pelo termo água residuárias, do inglês “wastewater”, para substituir o termo “sewage” (Jordão e Pessoa, 1995).

Pela Norma Brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986), esgoto é o “despejo líquido constituído de esgotos doméstico, industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária” (Nuvolari, 2003).

A descoberta da etimologia de várias doenças infecciosas e a ocorrência de grandes epidemias provocaram a necessidade de evitar o contato de excretas com o homem, intensificando a construção de sistemas de coletas de esgotos, bem como o seu tratamento.

Segundo Imhoff (1966), todos os efluentes urbanos acabam sendo encaminhados a um corpo aquático. Toda tecnologia empregada no tratamento de águas residuárias tem como objetivo adequar convenientemente o efluente sanitário ao corpo receptor (Brito, 1994), minimizando a carga orgânica e organismos patogênicos, de forma a evitar doenças de veiculação hídrica, como também, a preservação de mananciais. O requisito a ser atingido pelo efluente é função de legislação específica, que prevê padrões de qualidade para o efluente e para o corpo receptor (Von Sperling, 1996). Além disso, o esgoto pode ser tratado com vistas a um possível reuso, tendo que atingir, nesse caso, qualidade específica para a nova atividade à qual será destinado.

Como todo processo de tratamento de efluentes gera, em pequena ou em grande quantidade, algum tipo residual ou um subproduto decorrente de tal tecnologia como, por exemplo, gases e lodo, o tratamento de esgoto deve, também, contemplar o tratamento de tais subprodutos para possibilitar sua destinação final correta.

3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO

Os processos de tratamentos podem ser físicos, químicos ou biológicos, cada um tendo suas características próprias, permitindo o seu uso para casos específicos, individualmente ou em combinação entre si.

3.2.1 Tratamento Físico

Para realização deste tratamento, é utilizada apenas a estrutura física do dispositivo que tem a finalidade de separar materiais de grandes dimensões e em suspensão no

esgoto, através de unidades de gradeamento, filtro, tanque de mistura, de floculação, de sedimentação, e de flotação.

Nas grades são retidos os materiais grosseiros, tais como plásticos, tecidos etc.; no tanque de mistura é realizada a adição do coagulante ao esgoto; nos floculadores ocorre o fenômeno da formação dos flocos; nos decantadores, os flocos pesados sedimentam. A flotação ocorre quando a capacidade de carreamento da água diminui, e sua capacidade de empuxo aumenta, às vezes pela adição de agentes flotantes; as substâncias naturalmente mais leves que a água, sobem à superfície. Os agentes flotantes costumam ser pequenas bolhas de ar ou compostos químicos. A flotação separa materiais de peso específico maior que a água, ou remove óleos emulsionados através da insuflação de ar comprimido, cujas bolhas arrastam para a superfície líquida, sólidos e líquidos de difícil separação (Nunes, 1996). A flotação é o inverso do processo de formar sedimentos.

A floculação é o processo em que as partículas em equilíbrio eletrostaticamente instável, em uma massa líquida, são forçadas a se movimentar para serem atraídas entre si e formar flocos, que posteriormente, mais pesados, sedimentam-se.

Pensava-se que a propriedade de floculação estaria diretamente relacionada com a capacidade de certas bactérias em produzir gelatina. Desse ponto de vista, as bactérias *Zoogléia ramigera*, cujas colônias produzem grande massa gelatinosa, eram tidas como as de maior importância para o processo. BRAILE & CAVALCANTE (1975) apud MALTA (2001) verificaram que, em meio de cultura, como no esgoto, inúmeras outras bactérias podem participar da formação de flocos. Essa observação apresentou novos conhecimentos ao assunto, mostrando que a floculação está relacionada às condições de vida ou estado fisiológico em que as bactérias se encontram. A massa bacteriana de natureza coloidal e suas atividades metabólicas é que devem proporcionar os fenômenos de floculação. A coagulação biológica que ocorre nos sistemas de tratamento biológico de esgoto origina o lodo, que é uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos. A parte mineral se origina da floculação de sólidos inorgânicos em suspensão, enquanto que a porção orgânica é composta por uma fração de massa bacteriana viva e outros sólidos voláteis suspensos sem atividade biológica, que se originam da floculação de sólidos orgânicos inertes do afluente e do decaimento das bactérias: o resíduo endógeno (Malta, 2001).

O botânico Robert Brown, em 1827, descobriu que partículas coloidais muito pequenas (10^{-4} cm de diâmetro) suspensas num líquido estão sujeitas a um movimento

aleatório. Esse movimento ocorre sem nenhuma causa externa aparente, estando evidentemente associado a uma propriedade intrínseca a todos os líquidos. Grande número de observações experimentais tem confirmado que esse movimento chamado Browniano (movimento perpétuo e em ziguezague das partículas - Feltre e Yoshinaga, 1977) é uma manifestação direta do movimento térmico das moléculas (Mahan e Myers, 1997).

É citado que choques entre partículas podem ocorrer em níveis de íons, moléculas, colóides e suspensões. Von Smoluchowsky demonstrou que os choques entre partículas são resultados dos movimentos ortocinéticos e pericinéticos. Os movimentos ortocinéticos são decorrentes da energia externa e os movimentos pericinéticos decorrentes do movimento Browniano que é o movimento desordenado das partículas e da ação da gravidade que faz com que as partículas ao caírem se choquem e se aglomerem tornando-se mais pesados e sedimentando-se posteriormente (Parlatore, 1979).

A sedimentação ocorre quando a capacidade de carreamento e de erosão da água é diminuída e as partículas são decantadas pela ação da gravidade. A sedimentação depende da natureza das partículas assim como de sua concentração. Podem ser:

- Sedimentação discreta: quando as partículas são individuais e não se aglomeram a outras, sendo compostas por partículas granulares que ficam na caixa de areia.
- Sedimentação floclulenta: pequenas partículas floclulam, formando partículas maiores e aumento da velocidade de sedimentação. Ocorre geralmente em decantador primário.
- Sedimentação em massa: há existência de coesão entre as partículas suspensas e em alta concentração, decantam em massa única e a sedimentação provoca uma compactação do lodo já decantado. É mais freqüente em decantadores secundários.

A partícula individual mantém seu tamanho, forma e densidade durante a sedimentação (Jordão e Pessoa, 1995). Relacionando a sedimentação e o tratamento aeróbio, Brito (1994) cita que as bactérias comportam-se como micelas coloidais e ficam sujeitas às mesmas forças que agem em soluções coloidais, ou seja, as forças de Van der Waals, (força de atração que se verifica entre as partículas) e potencial zeta (força de repulsão entre partículas), o que ocorre devido a ionetes adsorvidos às interfaces particulares. Potencial zeta

é a medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta que se desenvolve ao redor da partícula e o meio líquido em que ela está inserida (Campos, 1979).

3.2.2 Tratamento Químico

Consiste na utilização de produtos químicos para acelerar a remoção dos contaminantes. As reações químicas desencadeiam os processos de precipitação ou adsorção, através da adição de um coagulante, e/ou desinfecção.

3.2.3 Tratamento Biológico

Consiste na utilização de microrganismos para estabelecer a degradação da matéria orgânica. Sistemas de lodos ativados, valos de oxidação, filtros biológicos, lagoas de estabilização etc., são exemplos de processos biológicos de tratamento de esgotos.

3.3 NÍVEIS DE TRATAMENTO

É a seqüência de realização do tratamento considerando a eficiência de remoção dos poluentes em cada etapa. O tratamento completo pode incluir os seguintes níveis seqüenciais: preliminar, primário, secundário e terciário.

3.3.1 Tratamento Preliminar

Nesta etapa, é retido, apenas, o material grosseiro que venha a dificultar as posteriores etapas de tratamento. Os mecanismos utilizados são unicamente físicos tais como grades, caixas de areia, peneiras e caixas de gordura.

3.3.2 Tratamento Primário

Neste nível de tratamento, o objetivo é a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. O mecanismo utilizado é ainda o físico, através da flotação e sedimentação, digestão e secagem do lodo.

3.3.3 Tratamento Secundário

No tratamento secundário ocorre a estabilização da matéria orgânica através das atividades biológicas dos microorganismos do esgoto, que encontram um ambiente favorável para o desenvolvimento das etapas de degradação, realizando uma série de reações

bioquímicas. Todo esse processo de tratamento é pré-definido em função de qualidade e quantidade do afluente, o que define dimensões dos reatores e período de permanência, ou seja, o tempo de detenção hidráulica. O processo de remoção é realizado a partir do metabolismo e da floculação realizada pelos microrganismos, pois o tratamento secundário visa remover os sólidos dissolvidos, e os finamente particulados. Os principais dispositivos para o tratamento secundário são os filtros biológicos, lodos ativados, valos de oxidação, lagoas de estabilização etc.

3.3.4 Tratamento Terciário

Nesta etapa o objetivo principal é a remoção de algum constituinte específico que não foi removido nas etapas anteriores como, por exemplo, a remoção de microrganismos patogênicos e a remoção de nutrientes. É chamado, também tratamento de polimento. O tratamento terciário pode utilizar processos físicos, químicos e biológicos.

3.4 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

É um represamento artificial de água que promove a estabilização da matéria orgânica, através de sucessivas decomposições aeróbias e anaeróbias, em seu interior, utilizando para isso microrganismos tais como algas e bactérias em relação de simbiose.

O termo lagoa de estabilização está mais direcionado a lagoa projetada devidamente para realização do tratamento de afluente, ou seja, um reator dimensionado com critérios técnicos para degradação da matéria orgânica, o que diverge do termo Lagoa de Oxidação que tem a mesma finalidade, mas já recebe um efluente de um tratamento primário (Silva e Mara, 1979). As lagoas de estabilização podem ser classificadas em função do processo predominante de degradação da matéria orgânica, no seu interior, em anaeróbia, facultativa e maturação.

3.4.1 Lagoas Anaeróbias

São lagoas construídas com profundidades de 2 a 4 m, tendo por finalidade receber altas cargas orgânicas, garantindo dessa forma, condições estritamente anaeróbias no interior da lagoa, favorecendo a digestão ácida e a fermentação metânica. Na fase de fermentação ácida, ou putrefação, os compostos orgânicos hidrolisados são convertidos para ácidos orgânicos por bactérias anaeróbio-facultativas, produtoras de ácidos. Na fase

metanogênica, bactérias estritamente anaeróbias convertem o ácido acético, resultante da primeira fase, em metano e dióxido de carbono (Araújo, 1993).

Ocupam menores áreas e quando utilizadas como etapa inicial em uma série de lagoas favorece a redução da área total para o tratamento, devido sua elevada eficiência na remoção de matéria orgânica. Mara (1976), Silva (1982) e Oliveira (1990), destacam a elevada eficiência na remoção de carga orgânica nas lagoas anaeróbias, geralmente acima de 50%, podendo atingir até 75%, dependendo da temperatura e tempo de detenção hidráulica de operação. São projetadas para receberem cargas orgânicas volumétricas na faixa de 100 a 300 gDBO/m³ dia.

Por apresentarem efluentes ainda com elevadas concentrações de matéria orgânica e, particularmente, microorganismos, necessitam de tratamento complementar, geralmente realizado por lagoas facultativas e de maturação.

3.4.2 Lagoas Facultativas

Apresentam profundidade média em torno de 2,0 m, e têm por objetivo a estabilização da matéria orgânica através dos processos biológicos que se desenvolvem nas três zonas da lagoa facultativa (aeróbia, facultativa e anaeróbia), com a participação de algas, bactérias, protozoários, fungos e animais superiores (Figura 3.1).

Em uma lagoa facultativa, a temperatura e o vento têm importância fundamental no grau de mistura, diminuindo a possibilidade de curtos circuitos e zonas estagnadas. É através do vento que se desencadeia tanto a mistura vertical de oxigênio, matéria orgânica e microrganismos, quanto o movimento das algas não motoras que, na ausência de vento, sedimentariam para o fundo da lagoa sendo digeridas anaerobiamente. As motoras vão para a superfície da lagoa buscando temperatura mais elevada e luz para realização da fotossíntese, o que ocasiona a formação de uma camada espessa impedindo a passagem da luz. A falta da mistura também é responsável por um fenômeno conhecido como estratificação térmica da massa líquida que é a existência de camadas com temperaturas definidas dentro de um corpo aquático, no caso a lagoa facultativa (Oliveira, 1990). Durante o dia, importantes mudanças ocorrem na camada superficial da lagoa. A intensidade fotossintética dependente da radiação solar sofre variações ao longo do ciclo diário, podendo ocasionar desde elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, durante as horas iluminadas

do dia, até condições anaeróbias, à noite, quando apenas uma camada bastante superficial pode manter-se aeróbia (Ellis, 1983; Pearson, 1987; Araújo, 1993).

Lagoa Facultativa

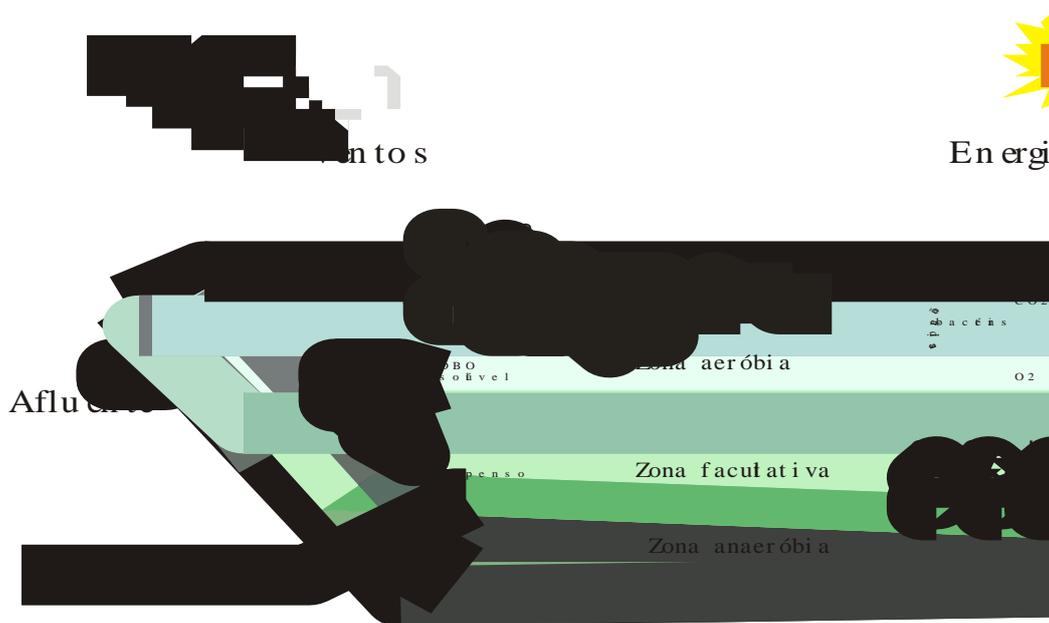


Figura 3.1 Esquema de funcionamento de uma lagoa facultativa (adaptado de Von Sperling, 1996).

Na zona aeróbia próxima à superfície da lagoa, a matéria orgânica é degradada por bactérias aeróbias que são supridas de oxigênio pelas algas e pela reaeração superficial. Na zona intermediária prevalece a existência de bactérias facultativas que possuem os dois mecanismos de respiração, que podem crescer tanto em meio aeróbio quanto em meio anaeróbio (Kellner e Pires, 1998). A zona anaeróbia, no fundo da lagoa, é constituída da matéria orgânica sedimentada formando o lodo, onde se desencadeiam as reações bioquímicas, produzindo gases como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e gás sulfídrico (H_2S).

3.4.3 Lagoas de Maturação

Projetadas para receber efluentes de outros tipos de lagoa, são construídas com menores profundidades (0,8 a 1,5 m) com a finalidade de redução de patógenos, através da desinfecção com radiação solar e outros fatores tais como elevados valores de pH e oxigênio dissolvido. Predomina o processo aeróbio no interior da lagoa.

Dependendo das características climáticas e de projeto, séries de lagoas com etapas de maturação podem conferir uma qualidade para o efluente final com menos de 1000 coliformes termotolerantes/100 mL (99,9999% de remoção), permitindo o seu reuso de forma segura para irrigação irrestrita (Araújo, 1993).

Os elevados valores de pH, particularmente observados nas horas de maior atividade fotossintética, também favorecem a maior remoção de nutrientes eutrofizantes. O fósforo é removido principalmente através do mecanismo da precipitação química na forma de hidroxiapatita desencadeado quando o pH supera valores de 8,2 (Araújo, 1999). A amônia é removida principalmente através da volatilização em faixas de pH superiores a 8,0 (Soares *et al.*, 1996).

3.5 LODO DE ESGOTOS

Lodo é um sistema coloidal de substâncias minerais, orgânicas, microrganismos e subprodutos da atividade microbiana, sendo o subproduto sólido mais importante gerado durante o tratamento de esgoto. Em uma lagoa de estabilização, conforme sua localização, o lodo pode ser classificado como lodo sedimentado, que se localiza no fundo da lagoa, ou lodo flotante, que se localiza na superfície líquida. Papadopoulos *et al.* (2003) destaca que o lodo sedimentado forma três camadas principais: no fundo uma zona de acumulação contendo lodo viscoso com elevada densidade, menos de 90% de água e cor preta; uma camada intermediária moderadamente viscosa, cinza escura, com elevado teor de sólidos voláteis; e mais acima uma camada com lodo mais fluidizado e menor conteúdo de sólidos. O acúmulo de lodo nas lagoas primárias é muito significativo podendo afetar negativamente o desempenho do reator através da diminuição do volume disponível para tratamento e, conseqüentemente, o tempo de detenção hidráulica. Além disso, o lodo acumulado é uma fonte contínua de nutrientes e sólidos suspensos para a massa líquida (Banks *et al.*, 2004).

O lodo (mistura água+sólido) possui uma densidade na faixa de 1,001 a 1,05, considerando lodo de origem de tratamento secundário (lodo secundário anaeróbio, aeróbio, adensado etc.). Segundo Crites e Tchobanoglous (2000), apud Andreoli (2001), a densidade das partículas de sólidos fixos situa-se em torno de 2,5 enquanto a dos sólidos voláteis é próximo de 1. A densidade da água é 1, os solos possuem uma faixa de densidade de 2,60 a 2,75 gcm^{-3} . Isto porque o quartzo, o feldspato e os silicatos coloidais compõem a maior parte dos solos minerais (Klar, 1987).

A maior fração do lodo é basicamente formada no fundo da lagoa, criando uma camada anaeróbia. Após os processos de floculação/coagulação/sedimentação das partículas constituintes do esgoto e microrganismos que existem em relação de simbiose, inicia-se o processo de transformação de parte da matéria orgânica sedimentada, desencadeando reações químicas que geram vários tipos de subprodutos, tais como o hidrogênio e metano. Os gases, ao escaparem para atmosfera, percorrem toda a coluna líquida do fundo até a superfície flotando naturalmente e arrastando junto ao deslocamento de suas bolhas, partículas que, desestabilizadas, sobem à superfície, formando o lodo flotante.

O processo de flotação intensifica-se quando as condições ambientais são favoráveis ao processo de anaerobiose, como a falta de radiação solar e conseqüentemente falta de oxigenação da zona aeróbia. Prevalendo a fase limitante do processo anaeróbio, a acetanogênese, a quantidade de matéria orgânica aumenta devido à presença de algas ou bactérias que não resistem à falta da fotossíntese e sedimentam. As reações bioquímicas desencadeadas no reator são intensificadas provocando maior flotação das partículas sedimentadas que vêm a superfície junto a bolhas de gases e lodo.

3.5.1 Lodo Flotante

Também conhecido como espuma e sobrenadante, é um dos subprodutos do tratamento biológico, sendo o material que se apresenta na superfície, juntamente com materiais flutuantes, não retidos pelas grades no tratamento preliminar de esgotos, tais como pedaços de plástico, isopor, cotonetes, restos de absorventes, fraldas descartáveis, preservativos, tecidos, sementes, grãos etc.

É originado a partir de reações bioquímicas, e da interação dos processos de floculação, sedimentação e flotação existentes no processo de tratamento biológico de águas residuárias.

3.5.2 Quantidade de Lodo Gerado

A quantidade de lodo gerado é função do tratamento empregado e do grau de qualidade exigido. Pode ser avaliada em função da população contribuinte ou *per capita* e em termos de DQO, vazão e teor de água, sendo expressa em termos de massa e volume. No tratamento de esgoto o lodo representa de 1 a 2% do volume do esgoto tratado (Andreoli et al, 2001).

A taxa de acumulação de lodo em lagoas facultativas primárias também é função das características do esgoto, do tempo em operação do reator e da eficiência do pré-tratamento. Foi observado que diferentes estágios da digestão anaeróbia ocorrem em diferentes regiões da lagoa resultando numa produção de metano por unidade de área muito heterogênea (Franci, 2000). A hidrólise e acidificação ocorrem próximo à entrada, e a metanização é mais intensa na saída da lagoa.

O teor de sólidos voláteis é de grande influência na geração de lodo. Nelson *et al.* (2004) estudando lagoas primárias em escala-piloto no México (três facultativas primárias e uma anaeróbia) encontraram taxas de produção de lodo variando entre 0,021 a 0,036 m³/hab.ano. Eles também observaram que na lagoa anaeróbia a camada de lodo estava distribuída uniformemente em toda a área superficial do reator. Por outro lado, nas lagoas facultativas primárias, por apresentarem áreas bem mais elevadas, a camada de lodo estava mais concentrada nas regiões próximas das tubulações de entrada.

Imhoff (1986) relaciona os teores de sólidos e de água à quantidade de lodo produzido em diversos tipos de tratamento. Arceivala, *et al.* (1981) apud Andreoli (1999) considera o valor de 0,037 m³/hab./ano a quantidade de lodo produzido em um sistema de tratamento de lagoa facultativa. Mas para estimar a quantidade de lodo flutuante é imprescindível correlação de clima e outros fatores inerentes à constituição do esgoto.

A relação de sólidos voláteis (matéria orgânica) e sólidos totais dá uma indicação da fração orgânica do lodo bem como o seu nível de digestão. Em lodos não digeridos, a relação entre sólidos totais (SV/ST) é 0,75 e 0,80 (Andreoli, 2001).

Abis e Mara (2005), trabalhando com lagoas facultativas primárias em escala piloto, na Inglaterra, sujeitas a diferentes taxas de carregamento, encontraram valores bem superiores para a taxa de produção de lodo (0,08 a 0,16 m³/hab.ano). Essas taxas mais elevadas estão associadas às menores temperaturas de operação das lagoas na Inglaterra

quando comparadas com as obtidas em regiões de clima tropicais, que não favoreceram a degradação eficiente do lodo decantado.

Picot *et al.* (2005), estudaram 19 lagoas facultativas primárias em escala real operando entre 12 e 24 anos, na França, e verificaram que a taxa de produção de lodo variou entre 0,037 a 0,126 m³/hab.ano com média a 0,067 m³/hab.ano. Nas 19 lagoas o percentual de lodo variou de 14 a 37% do volume total. Eles recomendam que o lodo deva ser removido quando atingir 30% do volume útil do reator o que deve corresponder a um intervalo de tempo de 15 a 20 anos entre as limpezas. Os mesmos autores, ao estudarem as técnicas de remoção de lodo das lagoas observaram que a prática mais utilizada na França, e a mais barata é a retirada do lodo após a secagem da lagoa. Nesse processo o lodo apresenta menor teor de água diminuindo sensivelmente os custos com transporte para disposição final.

A quantidade de lodo sobrenadante é variável, dependendo exclusivamente das condições climáticas que interferem diretamente nos processos bioquímicos, no interior da lagoa, em especial o vento que provoca movimento dos flocos quebrando a estabilização das partículas e, conseqüentemente, a sedimentação. A distribuição espacial da camada de lodo, em geral, ocorre nas proximidades dos dispositivos de entrada e saída da lagoa, mas ações dos ventos e inversão de temperatura podem modificar essa tendência. É mais comum verificar a formação da camada flotante quando não há ação de ventos na lagoa, sendo a sua formação mais intensa quanto maior for a intensidade da anaerobiose no reator. Depois de formada, a camada pode ser desestabilizada pela ação dos ventos e os flocos de lodo sedimentam novamente para o fundo do reator, ficando na superfície apenas os materiais flutuantes de grandes dimensões que não foram removidos pelo gradeamento. Em certos casos quando não ocorre a remoção periódica da camada flotante, a mesma tende a ir secando, ficando mais resistente à ação dos ventos, e ocupando uma área cada vez maior do reator. A camada pode ser novamente quebrada utilizando jateamento com água sob pressão ou removida com utilização de peneiras.

Nas lagoas de estabilização a grande maioria do lodo é formada nos reatores primários os quais são dimensionados para a sua acumulação por um grande intervalo de tempo, não sendo a sua remoção muito freqüente. Geralmente recomenda-se a remoção do lodo a cada 20 – 30 anos em lagoas facultativas primárias, ou, quando atingir 50% do volume do reator, no caso de lagoas anaeróbias (Mara e Pearson, 1996). Vale salientar, no entanto, que, caso os dispositivos de tratamento preliminar não funcionem ou não sejam operados

adequadamente, ocorrerá um acúmulo mais rápido de lodo, sendo necessário uma frequência maior na periodicidade de limpeza dos reatores.

As figuras 3.2 a 3.5 a seguir, por exemplo, destacam a volumosa presença de lodo em lagoas anaeróbias em paralelo, do sistema de tratamento de esgotos do município de Ceará - Mirim/RN. Este sistema foi dimensionado com três lagoas em série para atender a uma população urbana de aproximadamente 34.232 habitantes, sendo a primeira uma lagoa anaeróbia, seguida de duas lagoas facultativas. Em 2003, foi realizada uma limpeza com remoção do lodo. A figura 3.2 mostra o aspecto da segunda lagoa anaeróbia com grande quantidade de lodo flotante e começo do desenvolvimento de vegetação. A figura 3.3 mostra o mesmo sistema, em 2003, após limpeza da primeira lagoa anaeróbia. A figura 3.4 mostra, em novembro de 2005, dois anos após sua limpeza, a grande quantidade de lodo na segunda lagoa anaeróbia. A figura 3.5 mostra o sistema, com grande quantidade de lodo flotante, contendo inclusive, com o estabelecimento de vegetação em seu interior.



Figura 3.2 Vista do sistema de lagoas de estabilização de Ceará-Mirim/RN (Foto retirada em novembro de 2003. Destaque para a grande quantidade de lodo flotante na segunda lagoa anaeróbia e começo do desenvolvimento de vegetação).



Figura 3.3 Vista do sistema de lagoas de estabilização de Ceará-Mirim/RN (Foto retirada em novembro de 2003, logo após a limpeza da primeira lagoa anaeróbia. Destaque para a formação de espuma na segunda lagoa anaeróbia).



Figura 3.4 Vista do sistema de lagoas de estabilização de Ceará-Mirim/RN (Foto retirada em novembro de 2005. Destaque para a grande quantidade de lodo flotante na segunda lagoa anaeróbia ainda sem o desenvolvimento de vegetação).



Figura 3.5 Vista do sistema de lagoas de estabilização de Ceará-Mirim/RN (Foto retirada em novembro de 2005. Destaque para a grande quantidade de lodo flotante na primeira lagoa anaeróbia, inclusive com o estabelecimento de vegetação, dois anos após sua limpeza).

3.5.3 Classificação do Lodo

A classificação do lodo pode ser feita em função do tipo do tratamento realizado conforme a seguir:

- a) Lodo primário ou bruto: é proveniente do processo de tratamento primário das ETEs, sendo obtido por sedimentação ou flotação; possui coloração acinzentada, é pegajoso, mal cheiroso e facilmente fermentável;
- b) Lodo secundário ou biológico: é o lodo digerido, resultado do processo biológico de tratamento, onde uma fração da matéria orgânica é convertida, fazendo parte da biomassa microbiana (Andreoli et al, 2001). O lodo flotante gerado a partir do tratamento biológico é considerado um lodo secundário, com redução de sólidos suspensos voláteis superior a 40%;
- c) Lodo químico: é o lodo gerado em estações de tratamento de esgotos que utilizam uma etapa físico-química com utilização de coagulantes para polimento do efluente secundário.

3.5.4 Principais Constituintes do Lodo

Entre os principais compostos físico-químicos existentes no lodo destacam-se os sólidos totais fixos e voláteis, nutrientes, óleos e graxas etc. O lodo é constituído em sua maior parte por água e sólidos, fixos ou inorgânicos e sólidos voláteis ou orgânicos. A relação entre sólidos voláteis (STV) e os sólidos totais (ST) permite uma avaliação do nível de digestão do lodo e, conseqüentemente, a relação STV/ST também é indicação da fração orgânica dos sólidos do lodo (Andreoli *et al*, 2001). Uma relação entre 0,75 e 0,80 é característica de lodo não digerido e entre 0,60 e 0,65 é uma característica de lodo digerido. Picot *et al*. (2005) determinaram nos lodos de 19 lagoas facultativas primárias na França, concentrações de sólidos totais entre 60 e 200 g/L, com uma relação média STV/ST igual a 60%, indicando que o lodo estava mineralizado após 12 – 24 anos de operação. Papadopoulos *et al*. (2003) determinaram no lodo de uma lagoa anaeróbia, na Grécia, concentrações de sólidos suspensos na faixa de 0,086 a 31,6 g/L, dependendo da profundidade do lodo, com o percentual de sólidos voláteis entre 52 a 61%. No lodo mais profundo e mais digerido, eles encontraram concentrações de sólidos totais na faixa de 126 a 136 g/L com percentual de sólidos voláteis na faixa de 46 a 48 %.

Os principais constituintes do lodo são componentes das águas residuárias, tais como os componentes orgânicos e minerais que conferem características fertilizantes ao lodo. É considerável a presença de bactérias, vírus, protozoários e helmintos no lodo. Também como contaminantes encontram-se os metais pesados e poluentes orgânicos variados.

3.5.5 Propriedades do Lodo

O lodo digerido é preto e a água intersticial é clara. O lodo fresco tem cor acinzentada ou amarelada, contém fragmentos visíveis de excrementos, papel e restos de alimentos, tem mau cheiro e seca com dificuldade. A água intersticial é turva e mal cheirosa (Imhoff, 1966). O lodo flotante tem cor preta e o seu líquido intersticial é claro, o odor é característico de mangue, tem uma consistência gelatinosa e é de fácil secagem.

As características de sedimentação do lodo são avaliadas através da velocidade da zona de decantação (VZS) e do índice volumétrico do lodo (IVL) ou índice de Mohlman (Mendonça, 1990). O teor de água, do ponto de vista técnico, é a propriedade mais importante. É a relação direta com a contração do volume do lodo.

O intumescimento é termo usado para o lodo leve, fofo e de difícil sedimentação. Nesta etapa se considera a diferença entre o lodo de partículas granulares, que sedimentam independentes umas das outras com velocidade constante, e o lodo de partículas flocosas, onde as partículas se aglutinam durante a descida, formando flocos com velocidade variável. Para o lodo granular de superfície, não importa a profundidade do reator para sedimentação e sim a área de superfície livre e a vazão do efluente, pois obedecem às leis de Stokes, que mostram que a sedimentação é função do diâmetro das partículas, da viscosidade do líquido, e das massas específicas das partículas e do líquido. O lodo flocoso é o mais comum quando se trata de efluentes com matéria orgânica e tem comportamento consideravelmente diferente. Para esse tipo de lodo, a profundidade do reator tem fundamental importância, pois o agregamento dos flocos durante a sedimentação aumenta a velocidade do processo que é variável. Considera-se, além da área de superfície, a profundidade do reator (Imhoff, 1966).

3.5.6 Processo de Digestão Anaeróbia do Lodo

O processo de digestão desencadeia-se com a fermentação ácida na camada do lodo, formando o hidrogênio, gás carbônico e gás sulfídrico. O lodo se acidifica, e o pH cai. O volume de lodo sofre pouca variação e os odores desprendidos são indesejáveis. Devido à adsorção de bolhas de gás, torna-se espumoso e tende a flutuar.

Na fase seguinte, fermentação alcalina ou fermentação metânica, são desprendidos gás carbônico, nitrogênio e metano. O pH permanece constante acima de sete, não sendo desprendidos odores indesejáveis.

A estabilização se desenvolve em duas fases. Primeiramente são formados os ácidos orgânicos; depois estes são gaseificados, formando-se gás carbônico e metano. A segunda fase deve ocorrer paralelamente à primeira, para que possa ser mantida a reação alcalina (Imhoff, 1966). Diante de excessivas substâncias orgânicas ou queda de temperatura, a reação metânica diminui e poderá haver predominância da fermentação ácida, e até redução das atividades microbianas.

3.5.7 Desidratação do Lodo através de Leitos de Secagem

O uso de leitos de secagem é uma das técnicas mais antigas utilizadas para separar as fases líquida e sólida do lodo (Van Haandel e Lettinga, 1994). São unidades físicas

que têm por objetivo desidratar, por meios naturais, o lodo estabilizado em digestores aeróbios ou anaeróbios (Andreoli *et al*, 2001).

São estruturas de alvenaria ou concreto, com fundo composto de uma camada de areia com diâmetro efetivo de 0,3 a 1,2 mm e espessura de 7,5 a 15,0 cm, e três camadas de pedregulho com granulometria variando de 4,8 mm (brita 1) a 76,0 mm (brita 4), com espessuras variando de 10 a 30 cm cada. As camadas são dispostas de forma que a de maior granulometria fique em contato com os tubos do sistema de drenagem do leito que são constituídos por tubulações perfuradas de 100 mm, permitindo o retorno do líquido intersticial do lodo para a ETE.

A camada suporte é composta por tijolos recozidos ou de resistência similar dispostos lado a lado. O processo de desaguamento é realizado através do escoamento vertical, por percolação e evaporação, onde só a parte da água intersticial, e da capilar é removida. O leito de secagem apresenta um teor de sólidos de 40 a 75% de acordo com o clima e período de secagem. Segundo Hess (1973) apud FRANCI (2000), o lodo digerido por estar sujeito a uma pressão hidrostática elevada, seja no decantador ou no digestor, apresenta água intersticial saturada de gases como CO₂ e metano. Quando, no leito de secagem, tendem a flotar permitindo a separação de parte da água, devido à diferença do peso específico da água e do lodo. A percolação é realizada com facilidade até que o lodo se deposite e se transforme em uma massa densa e pastosa. Nesta etapa a percolação é praticamente interrompida e a secagem é realizada por evaporação natural da água (Franci, 2000). O material particulado, gordura e microrganismos, existentes no lodo, aceleram o processo de colmatação.

A água presente no lodo divide-se em água livre, inter-flocos, adsorvida nos flocos, inter-partículas, adsorvida nas partículas e água de partículas. Parte desta água é separada das partículas através do escoamento vertical no leito de secagem, outra parte de água é perdida por evaporação, e uma outra parte só deixará a partícula através de processos mecânicos tais como a prensa desaguadora e centrífuga.

Por definição, a água livre é a parcela de água que fica separada quando os flocos de lodo de maior peso específico sofrem sedimentação ou adensamento, devido à ação da gravidade; a água inter-flocos é a parcela de água que permanece entre os flocos após o período de sedimentação ou adensamento por gravidade; a água adsorvida é a parcela adsorvida sobre a superfície do floco devido à tensão superficial e rigidez estrutural, só

podendo ser retirada sob pressão ou vácuo; a água inter-partícula é a parcela d'água presa dentro dessa partícula e só pode ser retirada através da ruptura dos flocos de lodo com aplicação elevada de pressão ou vácuo; a água adsorvida na partícula é adsorvida sobre a superfície da partícula por tensão superficial ou sucção capilar, sendo difícil de ser retirada mecanicamente; a água de partícula é a parcela de água íntima e quimicamente ligada às partículas inorgânicas, quimicamente ligada às células, ou fisicamente ligada às partículas orgânicas. Este tipo de água só pode ser retirado por combustão. O material particulado, gordura e microrganismos existentes no aceleram o processo de colmatção.

No leito de secagem a água livre deixa a partícula de lodo devido à força da gravidade, que, em superfície horizontal, pressiona a água para a camada drenante, em função da força peso ($P = m.g$), e, como não há variação de movimento em nenhuma direção, a massa de lodo fica equilibrada.

Em uma superfície plana e inclinada, as forças atuantes na matéria são a decomposição da força normal (N) e da força peso (P), e a força de atrito (Fat). A resultante vetorial das duas forças “R” tem sentido contrário à força de atrito. A relação entre massa e volume (densidade) da água e do lodo mostra que a água tem uma tendência natural de procurar partes mais baixas em um sistema, e, como um fluido, naturalmente procura superfícies limitantes. O equilíbrio da massa de lodo dependerá tanto da inclinação do plano como da força de atrito. Quanto maior for a força de atrito, maior será a estabilidade da massa. A força resultante “R” deve ser menor que a força de atrito máxima Fat_{max} ou momento iminente de movimento, deixando, assim, escoar apenas a parcela de água. Só haverá movimento se $R > Fat_{max}$, onde a força de atrito é igual à força normal multiplicada por um coeficiente de atrito, função da superfície em contato, conforme mostrado na Equação 2.1.

$$Fat = \mu N = Fat \text{ máximo (Eq. 2.1)}$$

Onde: Fat = força de atrito; μ = coeficiente de atrito; N = força Normal ao plano.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2005) normatiza, através da NBR 12209– Projeto de Tratamento de Esgotos Sanitário, projetos para construção de leitos de secagem. O dimensionamento é realizado em função da produção do lodo, do teor de sólidos no lodo aplicado, do período de secagem para obtenção do teor de sólidos desejado e da altura de lodo sobre o leito de secagem. A norma também recomenda não exceder a carga de sólidos em suspensão totais de 15 kg/m² de área de secagem, em cada ciclo de

operação. A produtividade do leito de secagem é a relação entre o teor de sólidos aplicado e o período de secagem. O teor de sólido aplicado é função das condições operacionais desejadas para o leito de secagem tais como umidade, tempo de secagem e altura da camada de lodo, que podem ser obtidas através de uma caracterização do lodo produzido no digestor.

Estudos realizados pelo DHS - CT - UFES, com taxa de sólidos suspensos superior à recomendada pela norma, mostraram resultados satisfatórios (30 kg/m^2), para lodo gerado em reatores tipo lagoa de estabilização (Franci, 2000).

3.5.8 Aspectos Sanitários do Lodo e Micropoluentes

A sanidade do esgoto de uma região, assim como o lodo proveniente do tratamento do mesmo, é decorrente da saúde e dos hábitos da população. Dessa forma, os organismos patogênicos, inerentes ao sistema digestor humano e animais de sangue quente, tais como helmintos (ovos de helmintos), estreptococos, coliformes, salmonela, protozoários e vírus, são os parâmetros utilizados para avaliação da qualidade sanitária do lodo. No Brasil, os agentes patogênicos constituem o elemento de limitação ao uso de lodo na agricultura. É o fator mais facilmente controlado através da adoção de soluções técnicas de higienização do lodo, que levam à eliminação do patógeno, como por exemplo, a calagem (Andreoli, 1999).

Os indicadores ovos de helmintos e coliformes termotolerantes são utilizados para caracterização de perfil sanitário do lodo de esgoto, considerando que estando controlados esses patógenos, os demais estarão em níveis admissíveis. A Tabela 3.1 especifica os valores limites de microorganismos indicadores no lodo de esgotos.

Tabela 3.1 Limites de patógenos presentes no lodo de esgoto para reciclagem Agrícola.

Parâmetros	Limites
Helmintos (contagem de ovos viáveis)	0,25 ovos/g
Coliformes termotolerantes	1000 NMP/g

Fonte: Andreoli, 1999

Os micropoluentes presentes no lodo são os hidrocarbonetos aromáticos, fenólicos, pesticidas, polibromenatos, bifenil (PBBS), policlorinato bifenil (PCBs) e outros materiais persistentes, altamente tóxicos. Os PCBs são adsorvidos diretamente pelo intestino humano e animal. Estudos feitos em animais apresentaram ação mutagênica, teratogênica e carcinogênica (Health and Welfare Canadá, 1980, apud Andreoli, 1999).

3.5.9 Metais Pesados presentes em Lodos

A comprovação de que todas as formas de vida, tanto animal como vegetal, têm necessidade de alguns elementos químicos para a manutenção de seu sistema orgânico, é indicativo de que tais elementos devem ser absorvidos em quantidades moderadas sendo o excesso prejudicial, embora existam alguns elementos que são prejudiciais aos organismos mesmo em quantidades traços. Um metal é considerado tóxico quando prejudica o crescimento e/ou o metabolismo das células mesmo em pequena concentração (Bentes, 2006).

São considerados como metais pesados os elementos que possuem massa específica maior que $6,0 \text{ g/cm}^3$. Os principais metais pesados contaminantes do meio ambiente são Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Zn. São encontrados naturalmente no solo em concentrações que variam de mg a gKg^{-1} (Andreoli, 2001).

Os metais pesados representam um grupo de poluentes que requerem um tratamento especial, pois não são degradados biologicamente ou quimicamente de forma natural, principalmente em ambientes terrestres e em sedimentos aquáticos. Ao contrário, são acumulados e podem tornar-se ainda mais nocivos quando reagem com alguns componentes dos solos e sedimentos.

O Ferro e o Manganês são os metais pesados que normalmente aparecem em maior quantidade nos sedimentos. Suas concentrações em geral, são muitas vezes maiores que a dos demais elementos, principalmente o Ferro (Oliveira, 1996).

O pH influencia diretamente o zinco; em condições ácidas ($\text{pH} < 7,0$) ele pode estar presente na fase aquosa em forma iônica e para valores de pH acima de 8,0 pode precipitar ou formar compostos orgânicos complexos, os quais podem acarretar o aumento da mobilidade deste elemento (Who, 1989).

A origem dos metais pesados no lodo de esgoto doméstico é de ligações clandestinas de indústrias na rede coletora de águas residuárias, como também escoamento de águas pluviais. O esgoto doméstico possui também uma pequena parcela devido a atividades domésticas, tais como tinturas, limpeza, laboratórios e hospitais e, também, resíduos e das canalizações (Chagas, 1999).

Biossólidos contendo elevadas concentrações de metais pesados não devem ser utilizados na agricultura. A Tabela 3.2 mostra a concentração máxima permitida de metais em solos, em vários países.

Tabela 3.2 Concentração máxima permitida de metais em solos cultivados com lodo de esgoto (mg/Kg).

País	Ano	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Comunidade Européia	1986	1-3	5-140	100-150	30-75	50-300	150-300	1-1,5
França	1988	2	100	150	50	100	300	1
Alemanha *	1992	1,5	60	100	50	100	200	1
Espanha		1	50	100	30	50	150	1
Reino Unido **	1989	3	135	400	75	300	300	1
Noruega		1	50	100	30	50	150	1
Suécia		0,5	40	30	15	40	100	0,5
Estados Unidos	1993	20	750	1500	210	150	1400	8
Canadá (Ontário)		1,6	100	120	32	60	220	0,5

* pH > 6. Para pH entre 5 e 6 os limites para Cd, e Zn são de 1 a 150 mg/Kg, respectivamente. ** pH = 6 a 7.

Fonte: Andreoli, 1999.

3.5.10 Desinfecção do Lodo

O pH, a temperatura e a radiação solar são indicadores que, em determinadas faixas, permitem condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento dos organismos. Uma quebra desse equilíbrio proporciona a morte dos organismos do sistema e é o princípio básico dos métodos de desinfecção, cuja eficiência na inativação dos patógenos é função direta do tempo de contato e da intensidade em que são expostos a tais fatores.

A calagem é um processo químico de estabilização através da utilização de Cal. É um dos processos de higienização mais eficientes, atuando, também na redução de odores, através da reação dos CaO com ácido sulfúrico. Quimicamente, além da fixação dos metais pesados, pode haver insolubilização do fósforo e perdas de nitrogênio por volatilização da amônia.

O processo de desinfecção dá-se após a adição da cal hidratada (Ca(OH)_2) ou virgem (CaO), que provoca uma alcalinização do meio, elevando o pH a valores próximos a 12, tornando o meio impróprio à sobrevivência de organismos existentes no lodo. A calagem

processada pela adição de cal virgem em lodo provoca uma reação exotérmica e mudança do pH.

A matéria orgânica é reduzida de 10 a 35%, a amônia NH_4^+ é removida devido à volatilização, com o aumento do pH, e fósforo e metais pesados são removidos devido à precipitação e imobilização.

3.5.11 Nutrientes

O valor agrícola do lodo é devido principalmente ao teor de nutrientes (N e P e micropoluentes) e ao conteúdo de matéria orgânica. O lodo digerido aerobiamente tende a concentrar mais os nutrientes e patógenos que o lodo anaeróbio. A matéria orgânica permite o aumento da resistência do solo à erosão e ao adensamento, ativando a parcela microbiana do solo e aumentando a resistência das plantas a pragas e doenças. Em geral os teores de nutrientes presentes no lodo são superiores aos encontrados na maioria dos materiais orgânicos de uso habitual na agricultura (Andreoli, 1999).

3.5.12 Biossólidos

É o subproduto gerado pelo tratamento de esgoto primário e secundário, que após tratamento adequado, pode viavelmente, ser utilizado.

A WEF (*Water Environment Federation*) sugere o termo biossólido para designar o lodo produzido pelos sistemas de tratamento biológico de esgotos, desde que seu destino tenha uma finalidade útil. O termo biossólido é reservado para um produto estabilizado; caso contrário, são empregados os termos, torta, lodo ou sólidos (Malta, 2001).

A legislação brasileira não contempla o biossólido quando da regulamentação do Decreto Lei n. 86.955/82 e Portarias n. 84/82 e SEFIS/MA n. 01/83, mas os biossólidos podem ser registrados como fertilizantes organomineral ou composto, se compostado, secado ou misturado como fertilizantes naturais. Caso contrário, é enquadrado como corretivo melhorado do solo, que é definido no artigo 3º do Decreto Lei n. 86.955/82, como produto que contém substâncias capazes de corrigir uma ou mais características do solo que sejam desfavoráveis às plantas e como fertilizante, substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes das plantas. A caracterização do biossólido é obtida através das normas brasileiras NBR 10.004, NBR 10.005, NBR 10.006 e NBR 10.007 da ABNT. Desde 1999 o Estado de São Paulo possui sua própria norma, promulgada pela

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. No estado do Paraná uma proposta de normatização para licenciamento ambiental da gestão agrícola do bio-sólido encontra-se no Instituto Ambiental do Paraná para avaliação.

Para que um bio-sólido possa ser utilizado na agricultura, três parâmetros devem ser atendidos: densidade de patógenos, limites de metais pesados e redução da atração de vetores (Malta, 2001).

Em 29 de agosto de 2006 o Ministério do Meio Ambiente, através do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Portaria Nº 375, “Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”.

3.5.13 Requisitos Mínimos de Qualidade do Lodo de Esgoto ou Produto Derivado Destinado a Agricultura

Os limites máximos de concentração de substâncias inorgânicas no lodo para uso agrícola são apresentados na tabela 3.3

Tabela 3.3 limites máximos de concentração de substâncias inorgânicas no lodo.

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

Fonte: CONAMA Nº 375 (2006).

A tabela 3.4 mostra a classificação do lodo de esgoto e sua concentração máxima de agentes patogênicos.

Tabela 3.4 Classe de lodo de esgoto ou produto derivado - agente patogênicos.

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

ST: Sólidos Totais

NMP/g ST – Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais.

UFF/g ST – Unidade Formadora de foco por grama de Sólidos Totais

UFP/g ST – Unidade Formadora de placa por grama de Sólidos Totais

Fonte: CONAMA N° 375 (2006).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ETE PONTA NEGRA

A pesquisa foi desenvolvida na estação de tratamento de esgoto de parte da zona sul de Natal que compreende as bacias B1, B2 e B3. O afluente é proveniente do conjunto residencial Ponta Negra e Alagamar, Vila de Ponta Negra, hotéis da Via Costeira e parte do bairro de Mãe Luiza.

A ETE Ponta Negra se localiza na região sul da cidade em uma área de 51,30 ha, entre a Rua Deputado Gastão Mariz e a RN - 063 (Rota do Sol), latitude sul 5° 7' 42'' e longitude 35° 12' 34''. Próxima ao mar, a área sofre influência do clima úmido com precipitação pluviométrica anual mínima de 500 mm e máxima de 3511 mm, com média anual de 1563 mm (Araújo, 2003). Ventos alísios que sopram do quadrante leste são mais representativos na região litorânea.

4.2 DESCRIÇÃO DA ETE PONTA NEGRA

O sistema que entrou em operação em outubro de 2000, dimensionado para uma vazão de 95 L/s, atualmente recebe 64 L/s, conforme medição por medidor ultra-sônico PROSONIC, modelo FMU 861-RIBIAI e sensor modelo FDU 80 – RGIA, instalado na Calha Parshall, na unidade de tratamento preliminar.

O sistema de tratamento de esgoto é composto por 12.999 metros de emissários, 86.066 metros de rede coletora, e sete estações elevatórias, sendo que quatro, estão localizadas na Via Costeira e coletam basicamente efluentes dos hotéis. As demais estão localizadas na Vila de Ponta Negra e Avenida Engenheiro Roberto Freire. A estação elevatória denominada de EE3, localizada no bairro de Ponta Negra, reúne todos os esgotos da bacia, e direciona-os para a estação de tratamento de esgoto. O sistema atualmente conta com cerca de 3.000 ligações prediais, o que corresponde a 5.000 economias.

A Tabela 4.1 apresenta as características físicas e hidráulicas dos reatores. O tratamento biológico é realizado através de uma série de três lagoas de estabilização, sendo uma facultativa primária (LFP) e duas de maturação (LM-1 e LM-2). A Figura 4.1 mostra detalhe do fluxo hidráulico e imagem de satélite IKONOS-2002 da ETE Ponta Negra. A ETE possui um tratamento preliminar composto de caixa de areia tipo canal longo (desarenador),

com grades de 0,87 m x 0,87 m, com 24 barras de 0,01 m de espessura e espaçamento de 0,025 m (Figura 4.2).

Tabela 4.1 Características físicas e hidráulicas da ETE Ponta Negra.

Tipo de Lagoa	Área a ½ profundidade (m ²)	Profundidade (m)	Tempo de Detenção Hidráulica (dia)	Volume (m ³)
Facultativa	51.707,31	2,00	12,60	103.414,63
Maturação I	27.360,00	1,50	5,00	41.040,00
Maturação II	27.360,00	1,50	5,00	41.040,00
Área Total	10,65 ha			

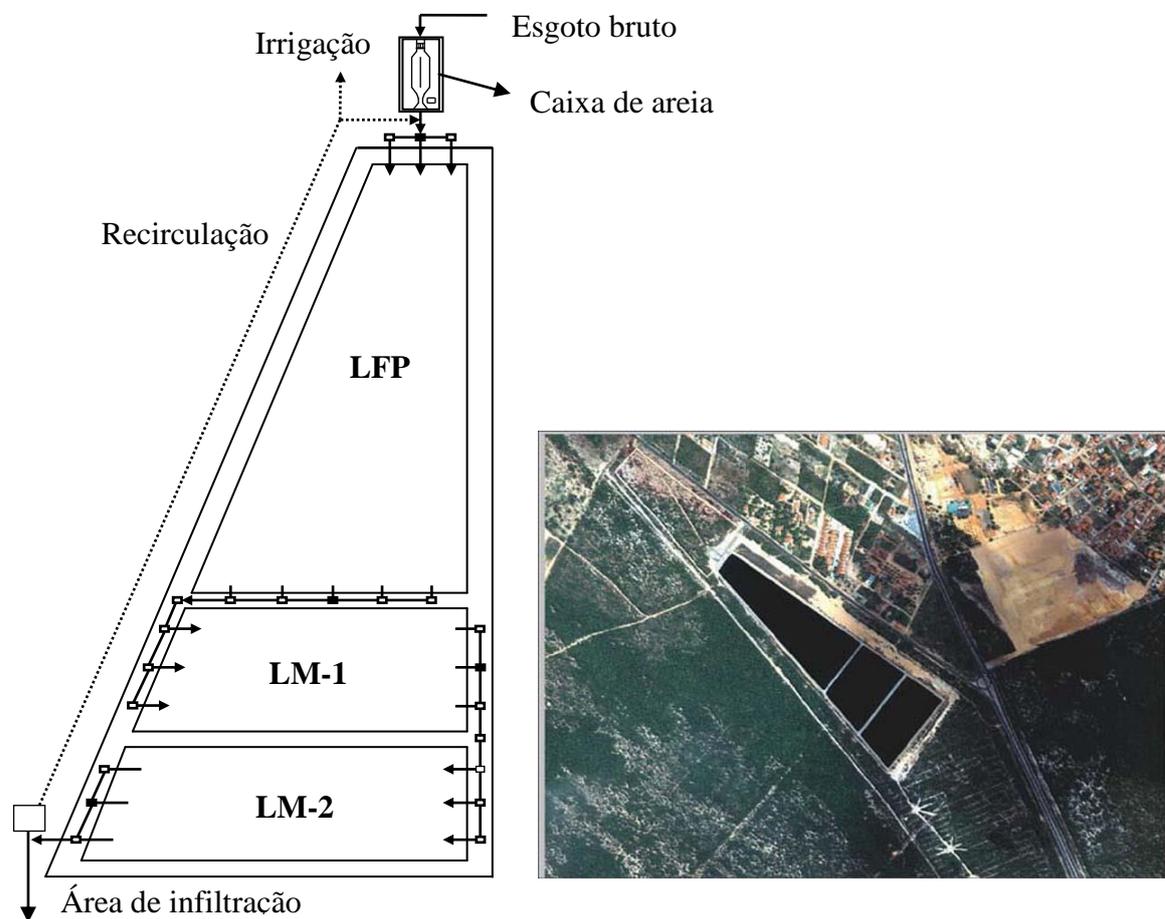


Figura 4.1 Detalhe do fluxo hidráulico e imagem de satélite IKONOS-2002 da ETE Ponta Negra.



Figura 4.2 Vista da unidade de tratamento preliminar da ETE Ponta Negra.

Após a chegada ao tratamento preliminar, todo o fluxo dá-se por gravidade ao longo da série de lagoas, através de dispositivos de entrada e saída feitos com tubulações de PVC rígido de 300 mm. Cerca de 1/6 da vazão final do efluente é recirculada para a caixa de entrada principal da lagoa facultativa primária (Figura 4.3) e uma fração desta é utilizada para irrigação de várias plantas na entrada da ETE.



Figura 4.3 Vista da lagoa facultativa primária e caixa de entrada da ETE Ponta Negra.

O destino do efluente final é a infiltração no solo através de valas de infiltração a céu aberto, distribuídas em área de aproximadamente 20 ha. Com o objetivo de aumentar a absorção de efluente foram plantadas nas adjacências das valas bananeiras e helicônias, plantas de origem neotropical, mais precisamente da região noroeste da América do Sul. Originalmente incluído na família Musaceae (a família das bananeiras), o gênero *Helicônia* mais tarde passou a constituir a família Heliconiaceae, como único representante. A Figura 4.4 mostra as culturas irrigadas com o efluente final da ETE.



Figura 4.4 Vista de helicônias e bananeiras irrigadas com o efluente final da ETE Ponta Negra.

4.3 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO LODO FLOTANTE

O monitoramento foi realizado durante um período de 18 meses intermitentemente. O lodo flotante, coletado em peneira tipo escoadeira (peneira de piscina) foi submetido a uma dissecação ao sol, com período variando de 7 a 14 dias, no dispositivo de secagem. A rotina para caracterização do lodo flotante não pré-determinava uma frequência de coleta visto que este lodo não era formado diariamente. Dessa forma, foi decidido avaliá-lo em função de um número de amostras.

Primeiramente o material retirado era avaliado a olho nu para caracterização dos materiais constituintes mais graúdos. O lodo retirado da superfície da lagoa tinha aspecto gelatinoso, com flocos definidos do lodo flotado, em meio de água e outros materiais tais

como pedaços de madeira, plástico, cotonetes, palitos de madeira (dentes e fósforo), restos de absorventes e de preservativos, sementes de melão, melancia etc. A Figura 4.5 mostra uma amostra de resíduos sólidos, e sementes, selecionadas em 1,9 Kg de lodo seco. Em seguida, para caracterização do lodo flotante, foram avaliados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos. A Tabela 4.2 destaca todas as variáveis analisadas com os seus respectivos métodos de análise.



Figura 4.5 Seleção de alguns tipos de resíduos sólidos e sementes encontrados no lodo sobrenadante da lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra.

Tabela 4.2 Variáveis analisadas e seus respectivos métodos analíticos.

Variáveis analisadas	Método	Referência
Teor de Matéria orgânica (%)	2710 B TCO (lodo)	APHA et al. (1992)
Umidade (%)	Gravimétrico	APHA et al. (1992)
Densidade (%)	NBR - 14547	ABNT (ano)
pH	Potenciômetro/ Eletrométrico	APHA et al. (1992)
Condutividade ($\mu\delta/cm$)	Resistência Elétrica	APHA et al. (1992)
Coliformes Termotolerantes (NMP/g)	Tubos Múltiplos	APHA et al. (1992)
Nitrogênio Total (%)	Kjeldahl	Myazawa et al. (1992)
Fósforo Total (mg/Kg)	Colorimétrico	Bloise e Moreira (1976)
Helmintos (ovos/gms)	Meyer Modificado	Meyer (1978)
Sólidos Totais fixos e voláteis (g)	Gravimétrico	APHA et al. (1992)

As análises de pH, condutividade elétrica e coliformes termotolerantes foram realizadas no Laboratório da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN. A determinação do fósforo total foi realizada no laboratório de solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN. No Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (LARHISA) da UFRN foram realizadas análises do teor de umidade, densidade, teor de matéria orgânica, nitrogênio total Kjeldahl e helmintos. No Laboratório de Geoquímica da UFRN foram realizadas análises de espectrometria por fluorescência de Raios-X, para conhecimento dos principais elementos químicos existentes no lodo flotante em estudo.

4.4 QUANTIFICAÇÃO DO LODO FLOTANTE

A quantificação do lodo flotante foi observada através das retiradas manuais de lodo e de sua disposição em carro de mão para leito de secagem. Se em decorrência da diminuição do fenômeno da fotossíntese, houver um rápido processo de flotação de lodo, este pode ser retirado por carro de vácuo bombeamento (sucção) da equipe técnica de operação da concessionária responsável, caso em que deve ser dada, ao lodo, uma destinação ambientalmente correta. Neste método de retirada de lodo há o inconveniente de que grande parcela de esgoto também é retirada pelo carro da manutenção. Outra maneira de observar a quantificação do lodo foi a marcação dos taludes da lagoa em metros permitindo a obtenção

da área formada com o material sobrenadante. Foi estimada uma espessura média para a camada de lodo através de medidas na região mais próxima do talude da lagoa. Observou-se, porém, que o lodo é flotado, praticamente, em toda a área da lagoa (Figura 4.6), mas em maior frequência a partir do meio da lagoa facultativa, aumentando gradativamente até sua entrada. Com a ajuda dos ventos, também ocorre a aglutinação do lodo junto à entrada do reator, local onde é depositada a maior parte de sólidos sedimentáveis e onde é mais densa a área anaeróbia.



Figura 4.6 Vistas da camada de lodo flotante acumulada na lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra próximo ao talude de entrada.

As análises para verificação de helmintos foram realizadas através do método de MAYER, que utiliza placa de Petri com ácido sulfúrico incubado a 25° por 10 dias para realização da contagem que deve ser feita com auxílio de uma placa subdividida para facilitar a leitura (Andreoli *et al*, 2000). A determinação da viabilidade foi realizada com microscópio CX 40 com ocular Ach 40x.

Com relação aos elementos químicos e metais pesados, foi realizada a Espectrometria por Fluorescência de Raios – X, por varredura, utilizando um equipamento de Marca PHILIPS, modelo PW-2400 no laboratório de Geoquímica-DG/UFRN. A análise química realizada é semi-quantitativa, o que permite conhecer os elementos químicos existentes e sua proporção presente nas amostras de lodo. A quarta amostra de lodo foi retirada do fundo da lagoa para comparação dos resultados. A tabela 5.2 mostra os elementos químicos encontrados nas amostras de lodo flutuante após secagem em leito de secagem e após calcinação em estufa a 550°C. O primeiro ensaio foi realizado com quatro amostras, dos dias 28/03 (amostra 01), 04/04 (amostra 02), 26/04 (amostra 03 e 04) todas do ano de 2005, sendo que a do dia 26/04 foi realizada, também com o lodo do fundo da lagoa que é a amostra de número 04.

Para realização do Ensaio X-Ray Fluorescence Spectrometry foi utilizado um recipiente “porta-amostra” vazio que é constituído por Ca, Pd, e Fe nas concentrações de 0,26, 0,496 e 0,72 consecutivamente.

Nas análises semi-quantitativas não se pode afirmar a quantidade presente, mas sim a existência em relação aos demais elementos encontrados. Geoquimicamente o cobre, o zinco e o ferro são característicos das águas residuárias devido a sua composição, interagindo-se estes com o enxofre que é ambientalmente redutor.

Os possíveis compostos químicos formados com a relação de elementos relacionados acima são:

SiO_2 → Óxido de Sílica; Al_2O_3 → Óxido de alumínio; Fe_2O_3 → Óxido de ferro,
 CaO → Óxido de cálcio, Na_2O → Óxido de sódio, K_2O → Óxido de Potássio
 MgO → Óxido de magnésio; TiO_2 → Óxido de titânio; P_2O_5 → Óxido de chumbo
 MnO → Óxido de manganês

4.5 SISTEMA DE SECAGEM EXPERIMENTAL

Para secagem do lodo flotante, retirado da lagoa facultativa, foi idealizado um dispositivo experimental para secagem do lodo flotante e construído próximo à unidade de tratamento preliminar.

O dispositivo é uma construção em concreto armado com as dimensões de 3,45 m (comprimento) x 2,00m (largura) x 0,85 m (altura), sendo constituído de um tanque com profundidade de 0,85 m, e uma superfície plana, com inclinação de 3%, para disposição do lodo para secagem.

O dimensionamento do dispositivo foi feito em função do número de carros de mão retirados periodicamente da lagoa. Para a profundidade definiu-se uma altura que permitisse a retirada do lodo de uma célula a outra utilizando uma pá. A característica do dispositivo é a separação de parte da água por escoamento horizontal, sobre um plano horizontal inclinado e evaporação.

A finalidade do tanque é receber o lodo flotado da lagoa facultativa primária, promover um aumento de temperatura e pH com uma dosagem de cal, objetivando destruir os microrganismos patogênicos. O tanque apresenta uma declividade no piso para permitir um escoamento do líquido intersticial do lodo, que, através de um sistema de drenagem, é retornado para a lagoa facultativa. Para evitar o processo de entupimento, devido à própria constituição do lodo, foi colocado duas camadas de tijolos cerâmicos de 8 furos antes do sistema de drenagem, podendo ser substituídos quando necessário.

Para avaliação das características do lodo foi utilizado material sem nenhuma dosagem de cal. A Figura 4.7 apresenta a planta e cortes do dispositivo de secagem enquanto que a Figura 4.8 apresenta uma vista desse sistema.

DISPOSITIVO DE DESINFECÇÃO E SECAGEM

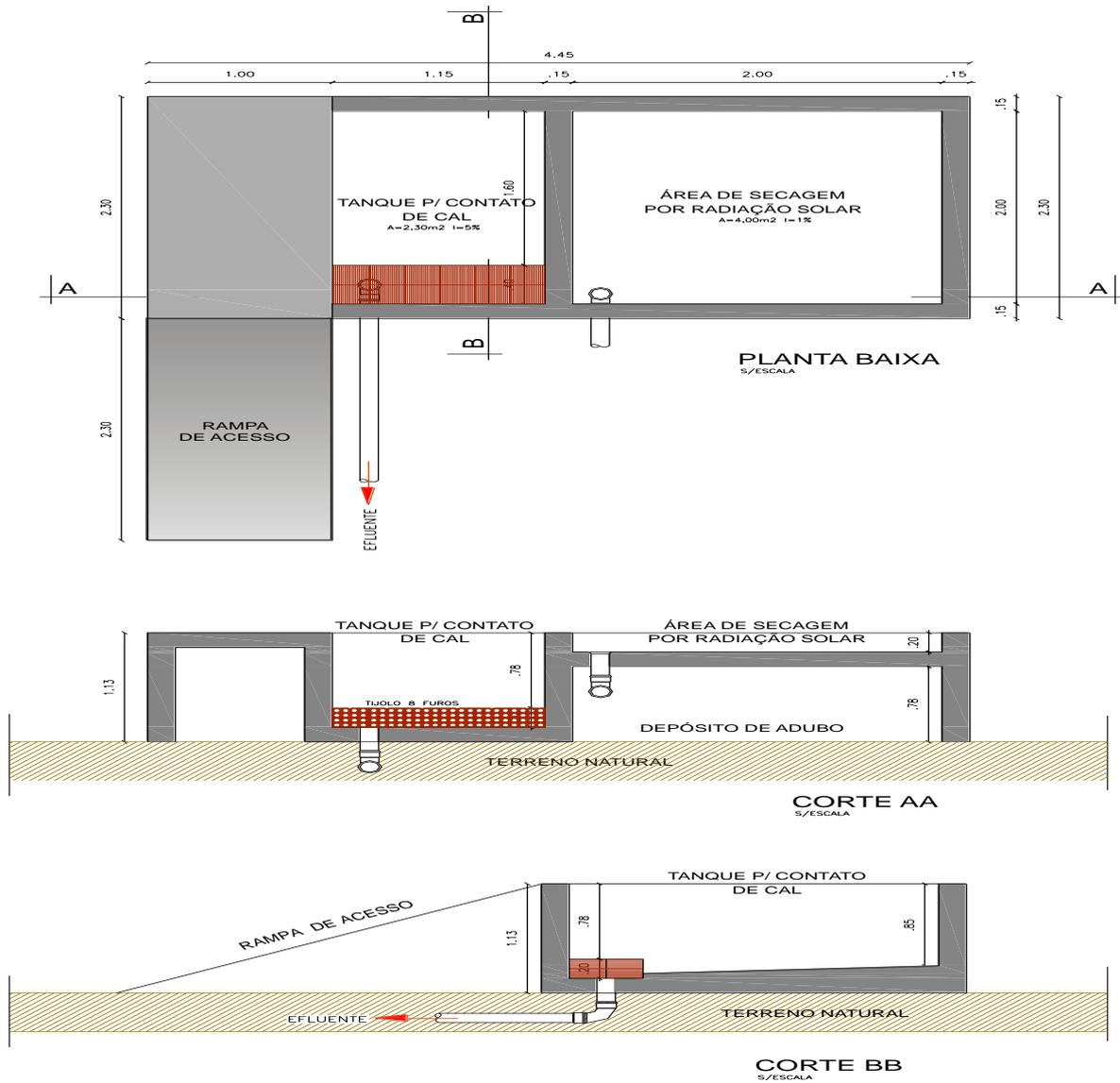


Figura 4.7 Detalhes do dispositivo experimental de secagem do lodo.



Figura 4.8 Vista do dispositivo de secagem experimental.

4.6 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

4.6.1 Matéria Orgânica

A determinação do teor de matéria orgânica foi realizada gravimetricamente a partir da medida do percentual de sólidos voláteis em relação aos sólidos totais conforme procedimento a seguir:

Foram pesados 100 g de amostra de lodo e dispostos em uma cápsula de porcelana previamente tarada (P_C). A cápsula foi levada à estufa a 100 - 102° C por 24 horas sendo em seguida transferida para dessecador, e, após esfriar, foi submetida a uma nova pesagem (P_{LS}). A amostra resultante foi levada ao forno mufla a uma temperatura de 550° C por 30 min. Após este período a amostra foi resfriada naturalmente no próprio forno em seguida transferida para dessecador e, após totalmente fria, foi pesada novamente (P_{LF}). O percentual de sólidos voláteis, equivalente ao teor de matéria orgânica foi determinado pela equação:

$$\% \text{ Matéria Orgânica} = \left(1 - \frac{P_{LF} - P_C}{P_{LS} - P_C} \right) \times 100$$

4.6.2 Teor de Umidade a 65° C

A umidade influi nas propriedades mecânicas do lodo acarretando o aumento de volume. A determinação do percentual de umidade estabelecido em função de 100g de lodo seco menos a pesagem do lodo após secagem em estufa a 65° C define o percentual de água existente na amostra que pode ter evaporado devido a tal temperatura. A parcela de água que pode ser retirada de uma partícula de água através da evaporação é a água de partícula que é a parcela de água íntima e quimicamente ligada às partículas inorgânicas, quimicamente ligadas às células. Este teor foi determinado gravimetricamente através da perda de água na amostra a 65°C. Inicialmente, uma mostra de lodo de 200 g (P_L) foi colocada em uma cápsula de porcelana previamente tarada (P_C). A cápsula com a amostra foi colocada em estufa a 65° C por 24 horas e, após este período, foi realizada uma nova pesagem (P_{LS}). O percentual de umidade é dado pela equação a seguir:

$$\% \text{ Umidade } 65^{\circ}\text{C} = \left(1 - \frac{P_{LS} - P_C}{P_L - P_C} \right) \times 100$$

4.6.3 Densidade Real

Este ensaio foi realizado pelo método do picnômetro. Para realização da análise, o picnômetro foi previamente tarado e, posteriormente, foram realizadas mais três pesagens: picnômetro com água, picnômetro com amostra, e picnômetro com água e uma pequena quantidade de amostra. A densidade foi obtida pela equação a seguir:

$$\text{Densidade real} = \left(\frac{P_2 - P_1}{P_4 + P_2 - P_1 - P_3} \right)$$

Onde: P_1 = peso picnômetro; P_2 = peso picnômetro + amostra; P_3 = peso picnômetro + água + amostra; P_4 = peso picnômetro + água.

4.6.4 pH

Sua determinação foi realizada eletronicamente utilizando um potenciômetro com capacidade para leitura de diferença de potencial ou pH, numa escala de 0 a 14. O princípio da medição eletrométrica do pH é a determinação da atividade iônica do hidrogênio, que consiste de uma haste de platina sobre a qual o gás hidrogênio flui a uma pressão de 101 KPa.

4.6.5 Condutividade

É a medida de capacidade de conduzir corrente elétrica em uma amostra sendo dependente do número e do tipo de espécies iônicas nela dispersas. Foi determinada com condutivímetro constituído de dois eletrodos quimicamente inertes de marca Digimed.

4.6.6 Coliformes Termotolerantes

O método utilizado foi o dos tubos múltiplos com o preparo de meios de cultura de caldo lactosado e EC para confirmação dos coliformes termotolerantes.

A técnica consiste em inocular alíquotas da amostra ou diluições dela em uma série de tubos com meio de cultura apropriado e observar o crescimento bacteriano. Este se manifesta como mudança na cor do meio líquido, adquirindo um aspecto turvo, podendo ocorrer somente surgimento da turbidez, ou o surgimento da turbidez com formação de gás. O gás se observa retido em tubos especiais (tubos de Durham), que são previamente colocados dentro do tubo de ensaio com o meio de cultura.

Pode-se inocular a amostra bruta ou diluições dela; o volume a ser inoculado depende do número de bactérias que se suspeita estar presente na amostra.

O procedimento de fermentação em tubo múltiplo estabelece para resultado o Número Mais Provável (NMP) que é um registro do número de bactérias coliformes com maior probabilidade de ocorrer por grama.

Foram realizadas diluições decimais das amostras em água tamponada. Para o preparo das diluições, a amostra foi bem homogeneizada por agitador e, usando uma pipeta estéril foram transferidos 10 mL da amostra para um frasco contendo 90 mL de água tamponada, correspondendo à primeira diluição decimal (10^{-1}). Uma alíquota de 1 mL da mesma corresponde a 0,1 mL da amostra original. Em seguida, o frasco com a primeira diluição era agitado vagarosamente e, com uma nova pipeta estéril, foram transferidos 10 mL para um outro frasco contendo 90 mL de água tamponada. Esta segunda diluição corresponde a 0,01 mL da amostra bruta. Dessa mesma maneira foram realizadas várias seqüências das diluições desejadas conforme as recomendações descritas no manual de Métodos de Análises Microbiológicas em Reciclagem Agrícola de Lodos de Esgotos (Andreoli, 2000).

Para a primeira análise foram realizadas diluições de 10^{-1} a 10^{-8} para possibilitar uma maior faixa de detecção do número de coliformes termotolerantes.

O meio de cultura foi preparado pesando-se 15,60 g de caldo lactosado duplo-lactose broth e diluído em 600 mL de água destilada. Para o meio EC foram pesados 22,20 g de EC Médiu (bacto-desidratado) e diluído em 600 mL de água destilada. O meio de cultura foi colocado nos tubos de ensaio (com os tubos de Durham invertidos), repousaram por 15 minutos e, em seguida, foram autoclavados a 121°C por 15 minutos, para esterilização.

Para a preparação das amostras foram pesados 100 g de lodo seco, triturado, peneirado e diluído em 900 mL de água destilada. Após um período de repouso de uma hora, aproximadamente, foi iniciado o preparo das diluições e inoculação das amostras. Foi retirado da diluição a parte líquida acima do sedimentado e abaixo do sobrenadante, evitando as partículas sólidas. As concentrações utilizadas foram 10 mL e 1 mL, e desta última, mais oito diluições de 10^{-1} a 10^{-8} , com cinco variáveis (tubos) cada. Ou seja, do lodo diluído em 900 mL de água destilada, 10 mL eram transferidos para cinco tubos de ensaio com caldo lactosado, e tubos de Durham invertidos (primeira série). Em seguida 1 mL foi colocado em cinco tubos de ensaio com meio de cultura (segunda série). As etapas seguintes foram realizadas com as diluições: na primeira (10^{-1}), foi transferido 1 mL do frasco com a respectiva diluição para os cinco tubos de ensaio com o meio de cultura e, as diluições seguintes foram realizadas de maneira semelhante. Preenchidos todos os tubos de ensaio, a série completa foi colocada na estufa por um período de 24 horas a 35° C.

A leitura era realizada contando em cada série quantos tubos apresentaram bolhas de gás dentro do tubo de Durham. Como nas análises iniciais, a confirmação de coliformes só foi observada nas séries até 10^{-5} . Para as demais análises não foram feitas diluições de 10^{-6} a 10^{-8} .

Para cada tubo de ensaio com existência de gás nos tubos de Durham, foi feita a inoculação em meio EC, para verificação de coliformes termotolerantes. Esta etapa consistiu em colocar uma pequena parcela do meio lactosado, com ajuda de uma alça (vareta de metal), para tubos de ensaio meio EC e, em seguida, colocá-los em banho-maria por um período de 24 horas a 44° C.

A confirmação da presença de coliformes termotolerantes é idêntica à anterior, ou seja, a leitura foi realizada também pelo número de tubos que apresentaram gás no tubo de Durham. Os resultados positivos das séries de diluições são utilizados para a obtenção do número mais provável de coliformes através de uma tabela contendo as várias combinações possíveis de resultados positivos.

4.6.7 Nitrogênio

O método utilizado foi o Kjeldahl com Digestão Úmida (Sistema Aberto). O nitrogênio na forma amoniacal $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (proteínas, aminoácidos e uréia) é transformado em (NH_3) , que é fixado pelo ácido bórico e posteriormente titulado com H_2SO_4 até a nova

formação de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ na presença de indicadores de ácido/base. A matéria orgânica é oxidada com ácidos minerais concentrados, pelo método a quente. Os ácidos HCl , HNO_3 , HClO_4 e H_2SO_4 são utilizados individualmente ou misturados. O nitrogênio determinado da digestão sulfúrica também é chamado N-Kjeldahl. Neste trabalho foi utilizada a solução digestora $\text{H}_2\text{SO}_4 + ((\text{Na}_2\text{SeO}_3) 5\text{H}_2\text{O}) + (\text{K}_2\text{SO}_4) + (\text{CuSO}_4)$ que são catalisadores.

Procedimento:

- 1ª fase – Digestão (a matéria orgânica é oxidada pelo ácido, sendo transformada em NH_3).

Do lodo seco triturado e peneirado foi pesado 0,1 g e junto com 7 mL da solução digestora, foi colocado nos tubos do bloco digestor, o qual, depois de ligado, teve sua temperatura aumentada gradativamente até alcançar a temperatura de 350°C , sendo digerido por 2 horas.

- 2ª fase – Destilação (a amônia é destilada em meio fortemente alcalino e coletada em solução de ácido bórico - H_2BO_3).

Após a digestão, foi adicionado em cada tubo 10 mL de água destilada e, muito lentamente, 25 mL de NaOH (40%), sendo estes tubos colocados no destilador. Um erlenmeyer de 125 mL, com ácido bórico (4%) mais os indicadores (Vermelho de Metila e Verde de Bromocresol) foi acoplado na ponta do destilador para coletar a amônia destilada. A destilação é concluída quando o destilado atingir no erlenmeyer 75 mL de solução. A coloração da solução de ácido bórico passa de vinho para verde.

- 3ª fase – Titulação

Com ácido clorídrico 0,011 N foi realizada a titulação até a mudança de cor para rosa. Foram anotados os valores de ácido gastos para cada amostra e a prova em branco. A porcentagem de Nitrogênio foi determinada pela equação a seguir:

$$\% N = \frac{(Vm - Vb) \times N \times 14}{10 \times p}$$

Onde: V_m = Volume de ácido clorídrico gasto na titulação; V_b = Volume de ácido sulfúrico gasto na prova em branco; N = Normalidade do ácido sulfúrico; P = peso da amostra em grama; 10 = fator de conversão.

4.6.8 Fósforo Total

Foi realizada a digestão em meio ácido para a conversão de todas as formas de fósforo em ortofosfato. Em seguida, o ortofosfato total resultante foi determinado pelo método colorimétrico do ácido ascórbico.

Procedimento:

Foram pesados 10 g de lodo seco triturado e peneirado em um erlenmeyer de 125 mL e adicionado 100 mL de solução extratora. A mistura ficou em repouso por um período de 12 horas. Após este período foram adicionados 5 mL de solução ácida de molibdato de amônio diluída e uma pitada (+/- 30 mg) de ácido ascórbico em pó, como redutor.

Foi necessário um período de uma hora para mudança de cor e, logo após, foi realizada a leitura da densidade ótica no fotocolorímetro, usando-se filtro vermelho (comprimento de onda de 660 nm). Como as amostras possuíam elevada concentração de fósforo foram realizadas diluições para possibilitar a leitura no aparelho e comparação com a curva de calibração.

4.6.9 Helmintos

Os helmintos de interesse sanitário no lodo de esgotos são os nematóides e cestóides (Andreoli *et al*, 2000). Foi utilizado para determinação do número de ovos e sua viabilidade o método de Meyer, (1978) e suas modificações. O princípio fundamental do método é a separação por flotação dos resíduos presentes na amostra e sua metodologia é sucintamente apresentada a seguir.

- São pesados 75 gramas de lodo e colocados em tubos de centrífuga com capacidade para 250 mL;
 - Coloca-se 100 mL de hipoclorito de sódio a 2,62% (água sanitária) junto ao lodo nos tubos da centrífuga, misturando-se para homogeneizar e aguarda-se sedimentar por 10 min; Centrifuga-se a 3200 rpm por 2 minutos a 4°C;
 - Remove-se o sobrenadante por aspiração;
 - Mistura-se vigorosamente o sedimento com 2 mL de solução de detergente aniônico;
-

- Acrescenta-se água destilada até completar 225 mL;
- Centrifuga-se a 3200 rpm por 2 minutos a 4°C;
- Lava-se o sedimento duas vezes com água destilada e despreza-se o sobrenadante a cada vez;
- Adiciona-se ao sedimento 75 mL de ZnSO₄ a 33,2%;
- Centrifuga-se a 3200 rpm por 2 minutos a 4°C e espera-se 2 min (aumentar a flutuação);
- Decanta-se o sobrenadante para um filtro com membrana de 0,45 micrômetros e filtra-se sob pressão negativa;
- Lava-se o filtro lentamente com água destilada;
- Coloca-se o filtro de membrana com os ovos em placa de petri de 100 x 15 mm contendo 10 a 15ml de H₂SO₄ a 0,1 N para desenvolvimento dos embriões;
- Recupera-se bem o material da membrana com auxílio de uma espátula e lava-se o filtro com fortes jatos de água destilada;
- Incuba-se a placa de petri com o material em incubadora a 25°C no escuro;
- Examina-se em 10 dias para verificar o desenvolvimento dos embriões;
- Faz-se a contagem com auxílio de uma placa subdividida (quadriculada).

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1 CARACTERÍSTICAS DO SUBPRODUTO

O material analisado é um lodo característico de um sistema de tratamento de esgoto secundário, realizado em uma lagoa facultativa primária, sendo um dos tipos de subprodutos gerados nesse tipo de tratamento (Figura 5.1).



Figura 5.1 Lodo flotante característico do tratamento de esgoto em lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra.

O lodo flotado, dentro da lagoa de estabilização facultativa primária, é constituído de flocos de lodo bem definidos. A coloração em sua maioria é de cor preta, com nuances de verde em parte de sua superfície, área que fica em contato com a radiação solar, sugerindo a presença de microorganismos, tais como algas ou outro tipo de vegetação que germinará certamente, caso não seja realizada a limpeza da lagoa. A Figura 5.2 mostra o surgimento de bolhas e, conseqüentemente, o surgimento do floco de lodo vindo da camada de sedimento. A Figura 5.3 mostra a camada de lodo mais consistente e espessa quando o lodo não é retirado de dentro da lagoa.

Durante o período de sol forte e predominância de ventos, mesmo não havendo uma operação constante de retirada do lodo, a quantidade gerada é menor, haja vista que o vento forma ondas, arremessando os flocos de lodo contra o talude frontal da lagoa, e estes, desestabilizados, tornam a sedimentar. A Figura 5.4 mostra uma pequena parcela de lodo

constituído em sua maioria por sementes e pouquíssimos flocos de lodo, ficando a lagoa, em muitas ocasiões, sem nenhum lodo flotante. A maior produção do lodo acontece na ausência de luz solar, com a temperatura do ar menor que a temperatura no interior da lagoa. Neste caso são mantidas as atividades da fase anaeróbia, e, conseqüentemente, todo processo físico-químico na camada interior da lagoa e a flotação de parte do lodo da camada anaeróbia.

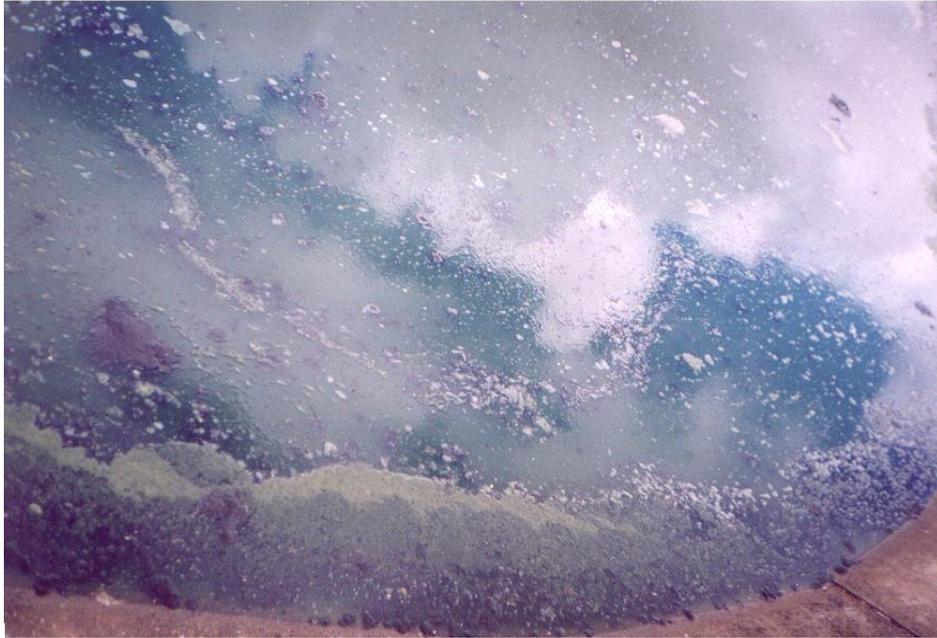


Figura 5.2 Vista do surgimento de lodo arrastado junto com os gases formados no interior do reator.



Figura 5.3 Vista de flocos de lodo mais aglutinados devido à falta de remoção da superfície do reator.



Figura 5.4 Vista da entrada da lagoa facultativa com pouca formação de lodo flotante devido à grande influência dos ventos que desestabilizam os flocos.

Os resíduos sólidos existentes no lodo flotado de esgoto são de diversas naturezas (Figura 5.5) entre os quais pode ser destacada a presença de cotonetes, canudos de plástico, absorventes, preservativos, tampas de garrafas de pet e outros tipos de resíduos, como sacos plásticos, fraldas descartáveis e muitas sementes de melão e melancia como também caroços de feijão.

A avaliação realizada em 1,9 kg de lodo seco procurou separar gravimetricamente os tipos de resíduos sólidos encontrados no lodo sobrenadante (Figuras 5.6 e 5.7). A justificativa da presença destes materiais é que os mesmos não são retidos na unidade de tratamento preliminar (grande abertura entre as barras do gradeamento) e como a maioria é de plástico, também flutuam tornando-se parte do lodo.



Figura 5.5 Resíduos sólidos existentes no lodo sobrenadante com destaque para a grande quantidade de sementes.



Figura 5.6 Tampas de pedaços de material plástico existentes no lodo sobrenadante.



Figura 5.7 Canudos e outras hastes plásticas, preservativos e restos de absorventes existentes no lodo sobrenadante.

Na ausência de luz solar é maior a formação do lodo, devido às reações desencadeadas no reator. A Figura 5.8 mostra o surgimento de bolhas como uma efervescência e, em seguida, a flotação do lodo para a superfície da lagoa. Muito do lodo flotado sedimenta, desestabilizado, devido ao processo de floculação desencadeado na superfície.

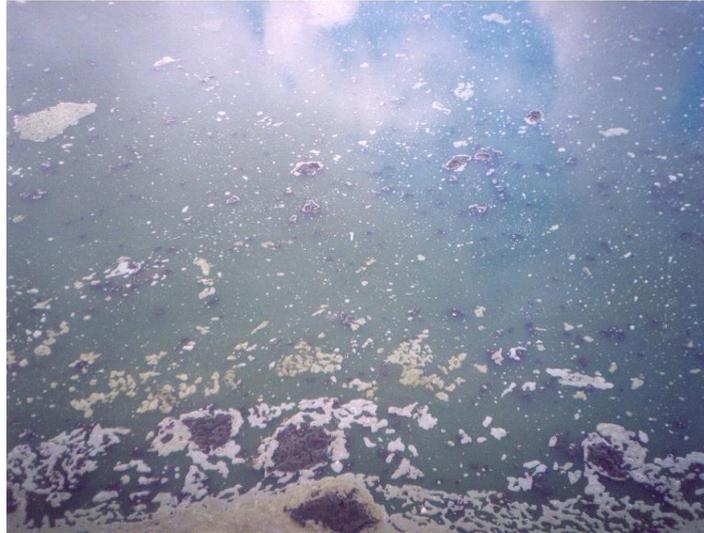


Figura 5.8 Vista do processo inicial de formação de lodo sobrenadante na lagoa facultativa.

Durante o processo com pouca flotação de lodo é flotado lodo fluido com pouco sobrenadante, mas com bastante resíduos sólidos. Neste caso, a formação do flocó é espessa. O sobrenadante da lagoa tem aspecto simplesmente de gordura, sem flocos definidos, mas com resíduos sólidos presentes (Figura 5.9).



Figura 5.9 Lodo com aspecto pastoso com pouquíssima formação de flocos, mas com grande quantidade de resíduos sólidos presentes.

5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO MATERIAL

Após o período de exposição solar no dispositivo de secagem o lodo tinha aparência de esterco, mas com flocos resistentes com características de cimentação (Figuras 5.13). As médias dos resultados obtidos durante o período de monitoramento do dispositivo de secagem estão apresentadas na Tabela 5.1. Os parâmetros avaliados no lodo seco foram pH, condutividade, teor de matéria orgânica, umidade e densidade real, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, fósforo, nitrogênio, coliformes termotolerantes e helmintos.



Figura 5.10 Amostras de lodo retirada do leito de secagem para realização de análises.

O lodo seco apresentou cor escura e flocos bem formados. Seu odor é característico quando fresco, e mantém-se após secagem. Poucos vetores (mosquitos) foram encontrados no dispositivo de secagem, mas com grande quantidade de resíduos graúdos (sólidos), que passaram pelas grades da caixa de desarenação. A maior quantidade desse tipo de resíduo apresentou-se durante os meses considerados de alta estação, o que corresponde aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

A tabela 5.2 mostra as condições climáticas do período de janeiro a dezembro de 2005, para velocidade do vento, precipitações e insolação, os dados são provenientes da Estação Climatológica da UFRN. A apresentação dos resultados sob a forma de gráficos permite a observação do comportamento das características do lodo durante o período de pesquisa.

Tabela 5.2 Dados climatológicos da Estação Climatológica Principal – UFRN

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Velocidade do vento											
4,5	4,5	3,5	4,1	3,4	5,5	4,5	5,1	5,3	5,4	4,8	4,9
Precipitação											
2,0	36,4	186,3	144,0	548,3	772,3	115,2	134,6	43,9	31,6	1,2	10,4
Insolação											
263,7	247,7	240,4	235,3	17,9	164,0	262,0	258,0	259,5	314,4	292,3	288,5

Fonte: Estação Climatológica Principal – UFRN-2005.

5.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

A primeira etapa de tratamento dos dados consistiu na análise estatística básica (estatística descritiva) com vistas à obtenção das medidas de tendência central (médias aritméticas, geométricas e medianas) e medidas de dispersão (faixas de variação – Mín e Max, e desvios padrões - DP) de todas as variáveis monitoradas no lodo. A Tabela 5.1 apresenta os resultados do tratamento estatístico básico aplicado aos resultados encontrados.

Tabela 5.1 Resultados da estatística descritiva básica aplicada aos dados brutos das variáveis monitoradas no lodo flotante da lagoa facultativa primária – ETE Ponta Negra.

	N	Média	Média Geométrica	Mediana	Min	Max	Desvio Padrão
Fósforo (mg/kg)	10	540	501	459	256	990	225
Condutividade ($\mu\delta/cm$)	9	1149	1128	1056	862	1727	247
Coliformes termotolerantes (NMP/g)	9	542511	459254	450000	16000	30000000	10752182
Nitrogênio (%)	10	4,67	4,0	4,1	2,6	5,1	2,19
Sólidos totais (%)	15	66	58	46	31	180	41
Sólidos totais fixos (%)	15	19	14	14	1	68	16
Sólidos totais voláteis (%)	15	47	41	34	25	112	28
pH	11	6,0	6,3	6,3	5,8	7,0	0,4
Teor de Matéria orgânica (%)	15	0,72	0,71	0,72	0,57	0,98	0,11
Teor de umidade (%)	9	32	19	13	4	77	30

Analisando os dados apresentados na referida tabela fica evidente que, com exceção de nitrogênio, pH e teor de matéria orgânica, ocorreram diferenças entre os valores das médias, médias geométricas e medianas, indicando provável ausência de normalidade dos dados devido à pouca quantidade de dados.

Com o objetivo de verificar a normalidade dos dados foram realizados testes específicos estatísticos, tais como Kalmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk's, juntamente com as interpretações gráficas através de histogramas de frequência e distribuição normal de probabilidade. Analisando todos os resultados, foi confirmada a completa falta de ajuste dos

dados à distribuição normal ($p < 0,05$) para todas as variáveis exceto pH e teor de matéria orgânica.

As Figuras 5.10 e 5.11 apresentam os resultados característicos para a maioria das variáveis (falta de normalidade) e exemplificam as análises realizadas em todos os grupos de dados.

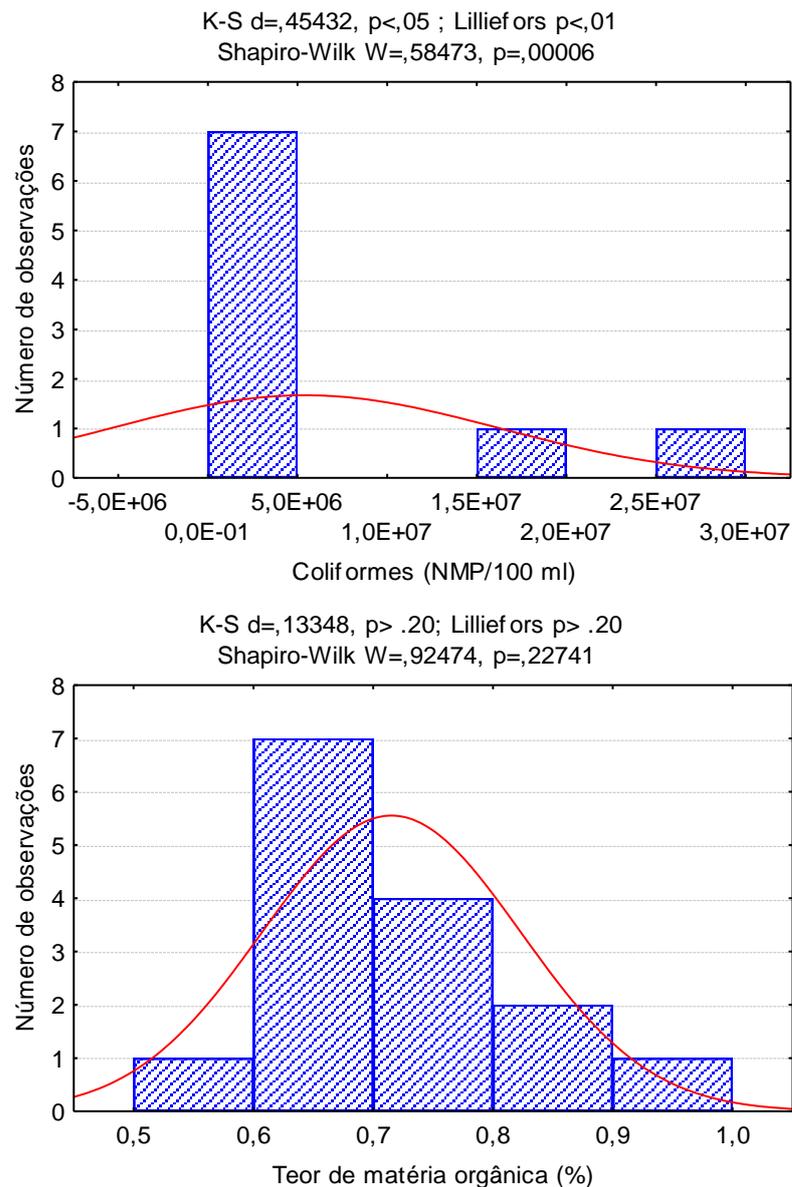


Figura 5.11 Histogramas de frequência de coliformes e teor de matéria orgânica indicando falta de normalidade e normalidade dos dados, respectivamente.

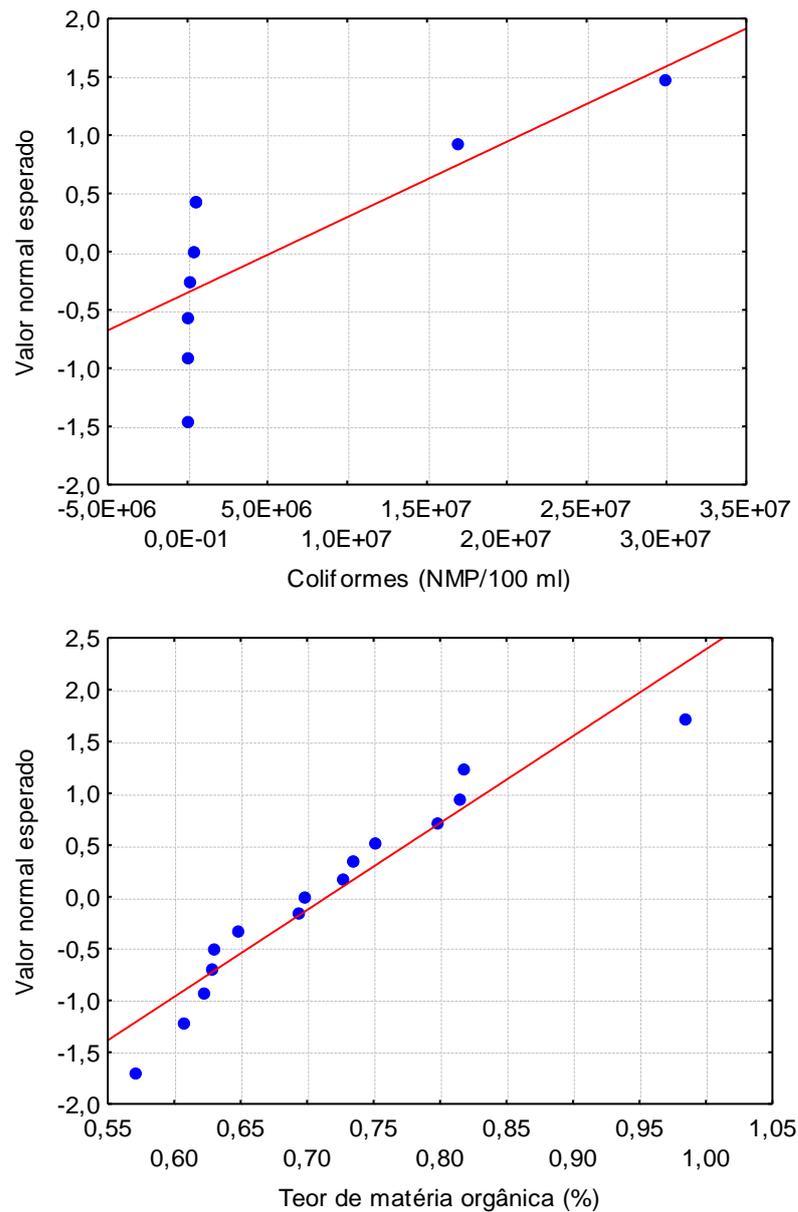


Figura 5.12 Distribuição normal de probabilidade de coliformes e teor de matéria orgânica indicando a falta de normalidade e normalidade dos dados, respectivamente.

Na tentativa de normalização dos dados, foi efetuada a transformação logarítmica para todas as amostras, sendo os testes de verificação de normalidade novamente aplicados aos dados transformados. A Figura 5.12 exemplifica os testes realizados através da apresentação de histograma de variação e gráfico de distribuição normal de probabilidade, respectivamente, para os dados transformados de coliformes. Através desta figura pode ser verificado que os dados transformados (Log da concentração) tiveram um comportamento tendendo para a distribuição normal (mais ajustados às linhas de tendência), sendo obtidos para todas as estações de coleta valores de $p > 0,05$.

Com base nos resultados apresentados, decidiu-se trabalhar com os valores das médias geométricas e medianas, visto que estas apresentam um valor mais realista em relação às médias aritméticas. Para nitrogênio, pH e teor de matéria orgânica, foram utilizadas as médias aritméticas (desvios padrões). Graficamente, foi feita a opção de se trabalhar com gráficos de coluna para apresentar tendência de variação temporal, gráficos associados a gráficos “Box-Plot” para apresentar, simultaneamente, valores centrais (médias ou medianas), valores de dispersão (desvios padrões ou quartis) e valores extremos (mínimos e máximos).

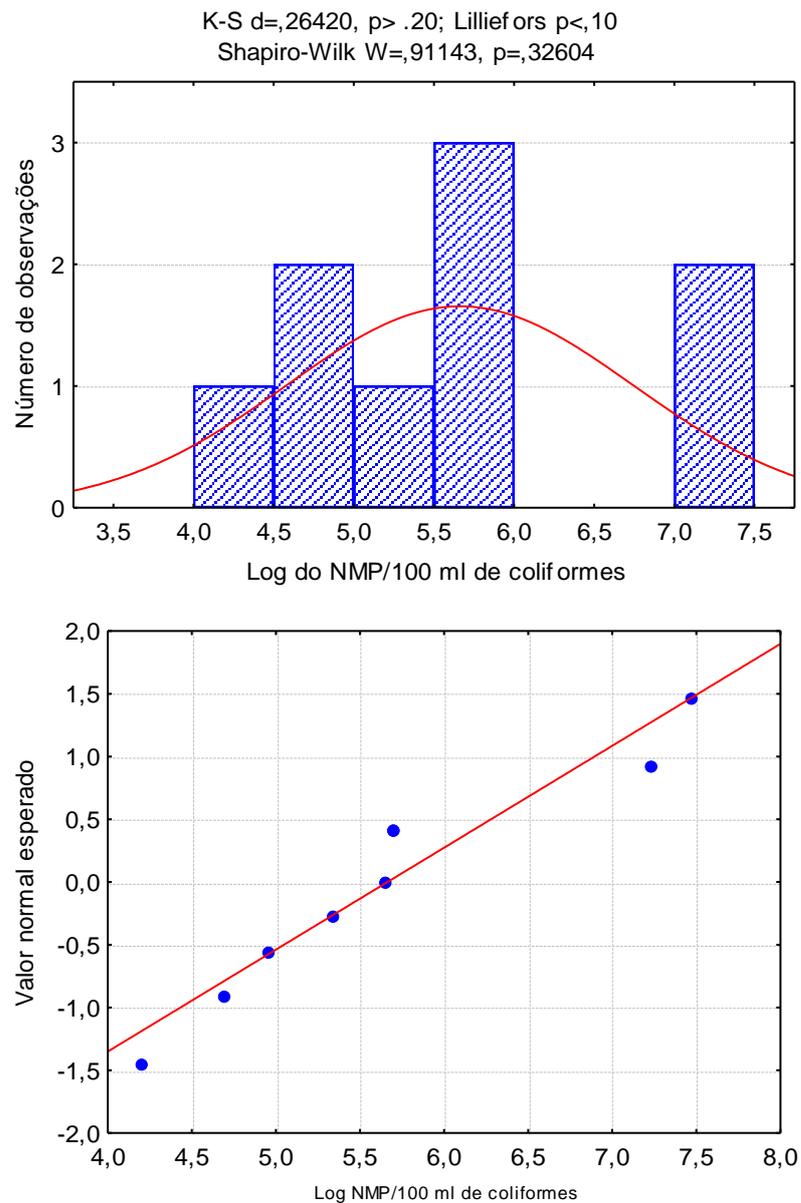


Figura 5.13 Histograma e distribuição normal de probabilidade de coliformes após transformação logarítmica indicando a normalidade dos dados, respectivamente.

5.3.1 Fósforo Total

O teor de fósforo total nas amostras apresentou uma faixa de variação de 383,38 mg/kg a 990,41 mg/kg, com valor mediano de 459 mg/kg (figura 5.14). A variação dos teores, também pode ser justificada por uma variação pluviométrica na região ocasionando uma maior diluição do fósforo, outro fator é a contribuição e característica da população contribuintes de esgoto que é flutuante na região.

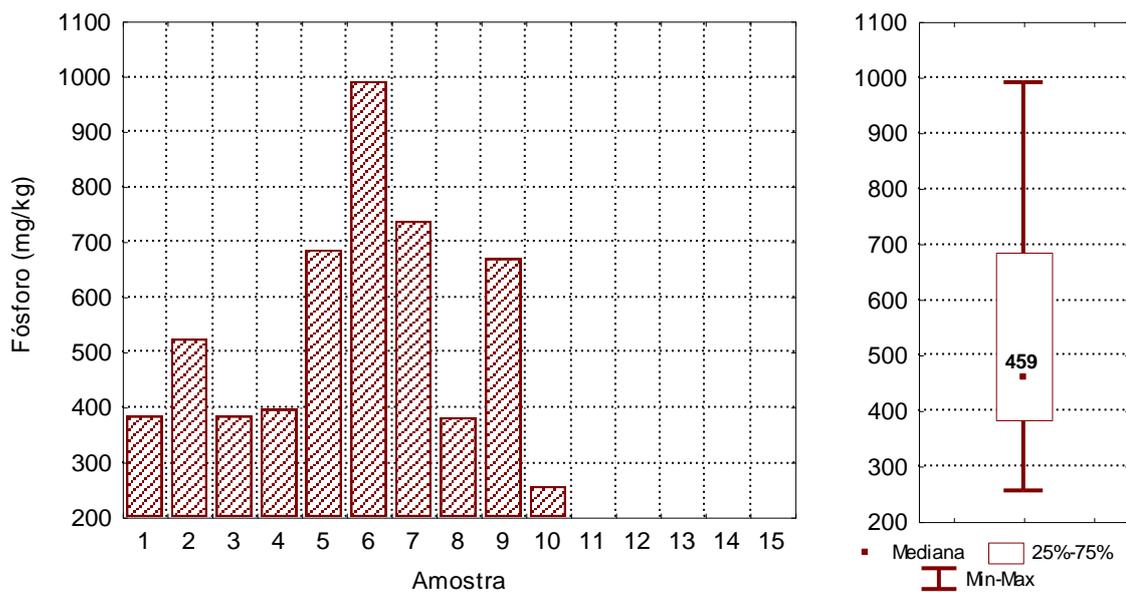


Figura 5.14 Variação das concentrações de fósforo (mg/kg) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

5.3.2 Nitrogênio

Os resultado das análises mostraram um valor médio de 4,1% de nitrogênio (Figura 5.15). Os maiores teores podem-se justificar possivelmente pelo aumento da população contribuinte do sistema de esgotamento sanitário que é variante. Os menores índices podem-se justificar pelo aumento da temperatura que acelera as perdas do nitrogênio por volatilização.

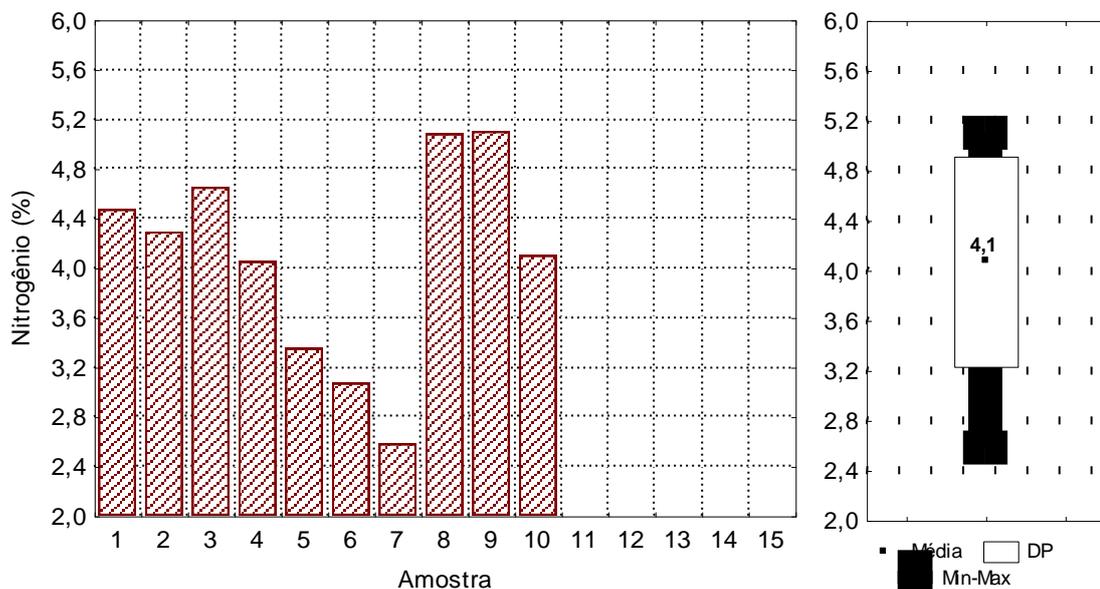


Figura 5.15 Variação das concentrações de nitrogênio (%) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

5.3.3 Condutividade

A condutividade (Figura 5.16) mostrou um valor mínimo de 862 $\mu\delta/\text{cm}$, que pode significar um menor número de sólidos voláteis no esgoto, ou um esgoto muito diluído na formação dessa amostra de lodo, e um valor máximo de 1.727 $\mu\delta/\text{cm}$ que pode ser devido a maior contribuição de esgotos da população e da maior demanda de matéria orgânica, conseqüentemente maior parcela de sólidos voláteis. O valor médio foi de 1.056 $\mu\delta/\text{cm}$.

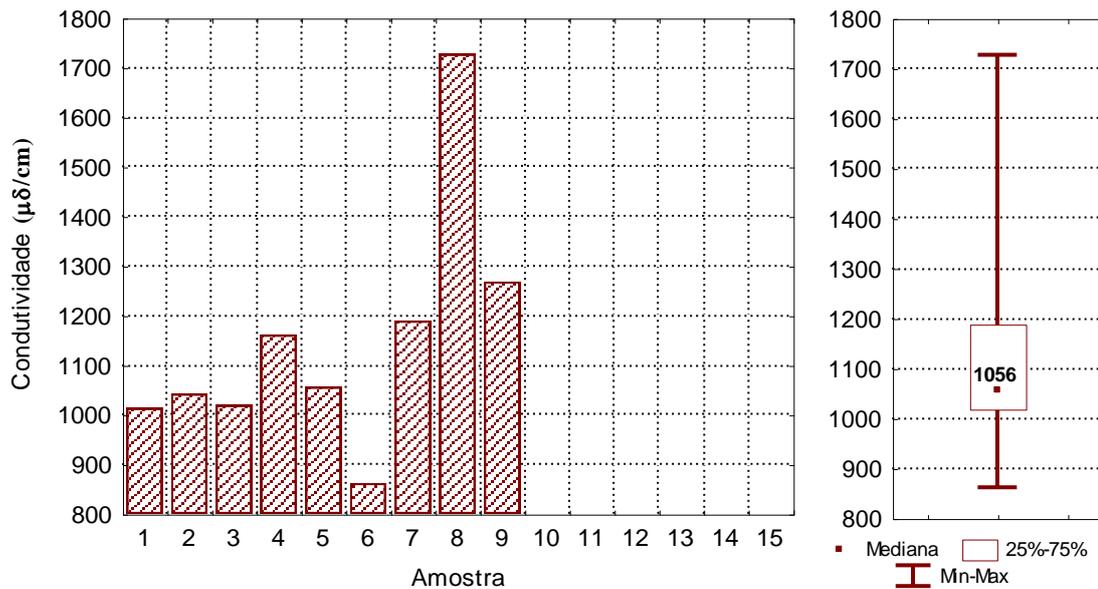


Figura 5.16 Variação das concentrações de condutividade ($\mu\delta/\text{cm}$) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

5.3.4 Coliformes Termotolerantes

São bastante variáveis os resultados de coliformes termotolerantes, o que pode também ser justificado pelo aumento da contribuição no sistema coletor de esgoto. Mas, também, deve-se considerar o período de exposição do lodo ao sol bem como a intensidade de radiação solar no período. A média de $4,5E+05$ (Figura 5.17) pode ser devido as características de um esgoto bruto, como também indica uma concentração de bactérias no lodo flotado.

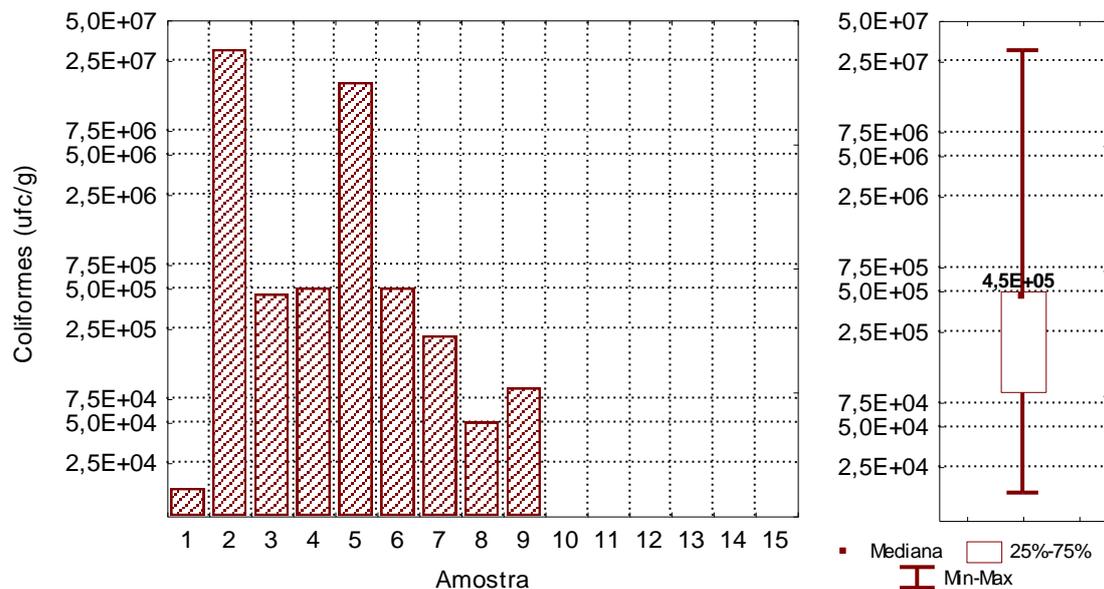


Figura 5.17 Variação das concentrações de coliformes termotolerantes (ufc/g) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

5.3.5 Sólidos Totais

Os sólidos totais que corresponde a soma dos sólidos voláteis e sólidos fixos mostraram uma mediana de 46g/kg. O maior valor encontrado para os sólidos totais foi referente a uma amostra coletada no dia 10/10/05. Neste dia o lodo tinha um aspecto pastoso, fluído, com pouquíssimo lodo flotante. A justificativa para os picos de sólidos totais é o aumento do valor nos sólidos voláteis apresentado na parte de gordura do lodo flotante mais fluído. A Figura 5.18 apresenta os resultados de sólidos totais.

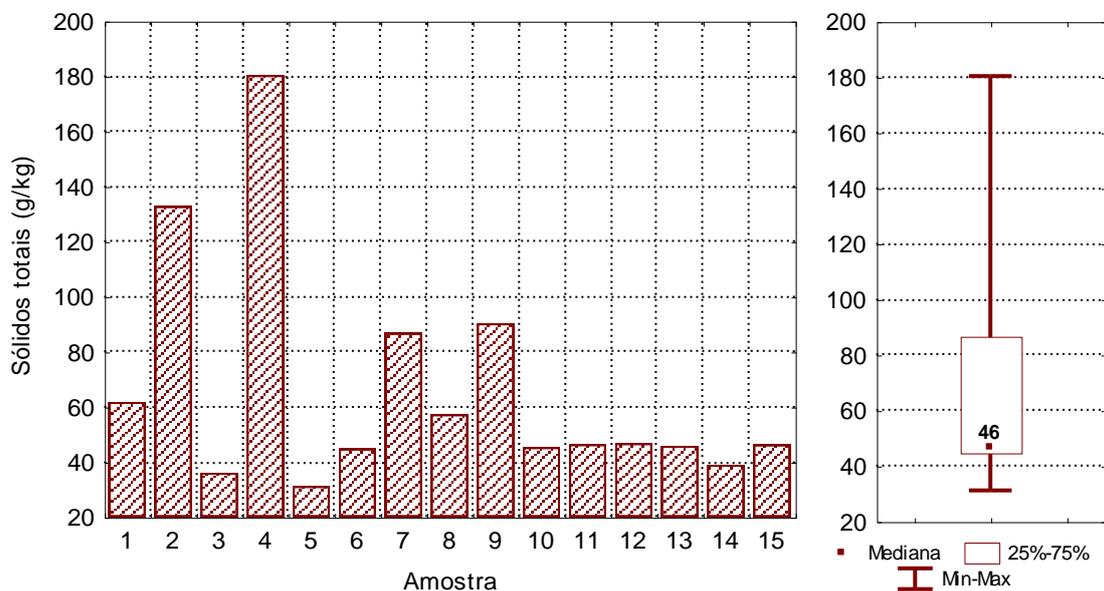


Figura 5.18 Variação das concentrações de sólidos totais (g/kg) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

5.3.6 Sólidos Totais Fixos

A diferença entre os sólidos totais e o que volatilizou, representa o percentual de sólidos fixo no lodo. A média do valor de sólidos fixo é 14g/kg (Figura 5.19), o que representa em geral a parcela de areia existente no lodo. Justificam-se os maiores valores para sólidos fixos, conseqüentemente, devido ao maior número de sólidos totais existente na amostra.

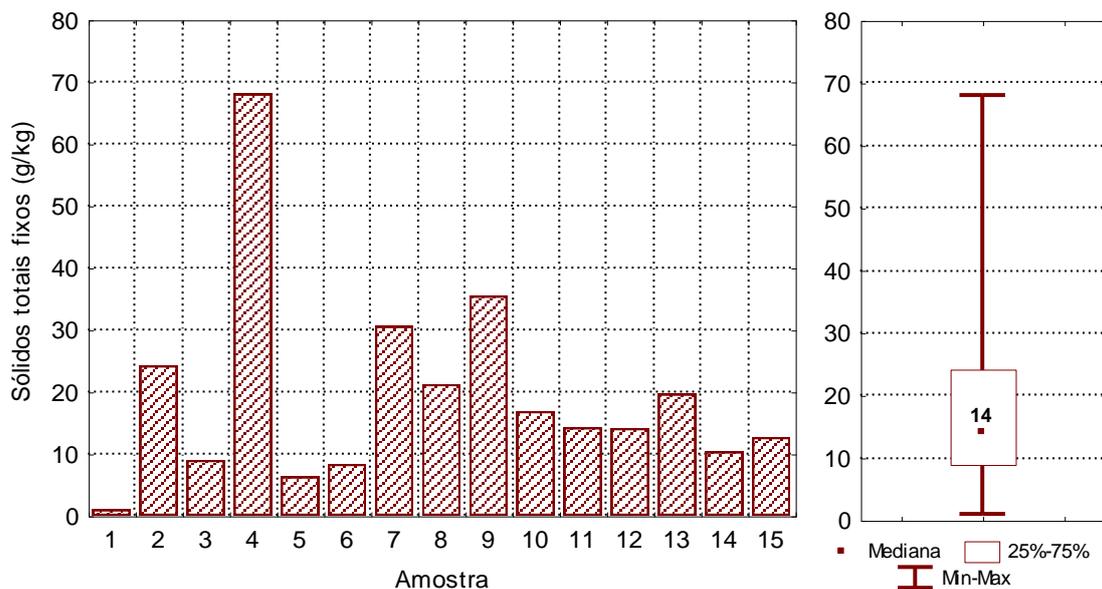


Figura 5.19 Variação das concentrações de sólidos fixos (g/kg) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

5.3.7 Sólidos Voláteis

A parcela de sólidos voláteis (Figura 5.20) correspondem à parcela de matéria orgânica que foi volatilizada em forno mufla, a menor parcela é 24,89g/kg e a maior é 112,29 g/kg de sólidos voláteis, mas a média entre as amostras analisadas é de 34 g/kg de sólidos voláteis ou matéria orgânica.

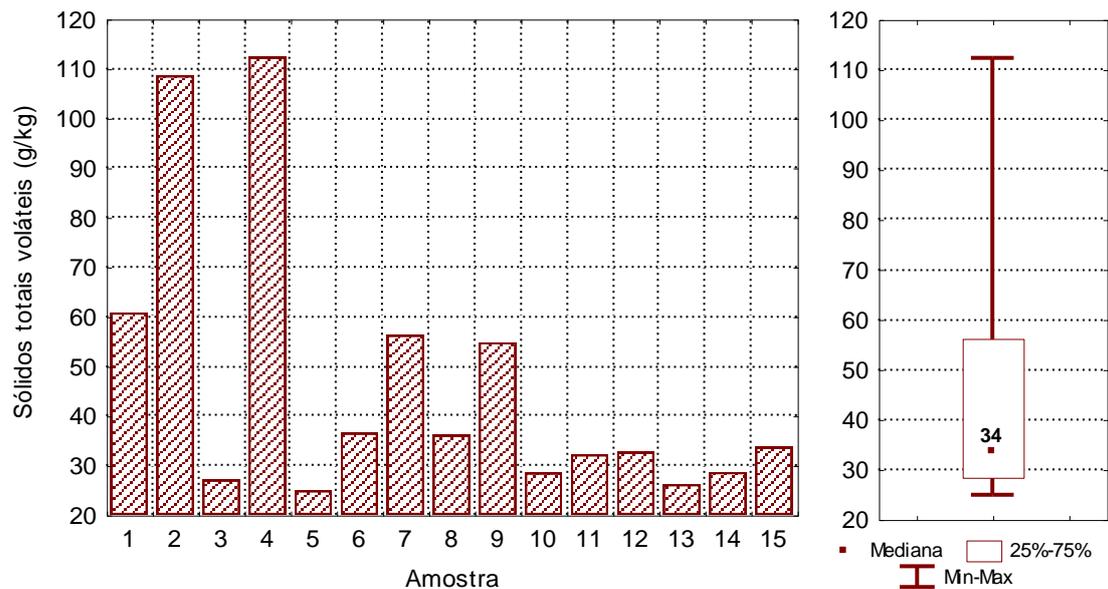


Figura 5.20 Variação das concentrações de sólidos voláteis (g/kg) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

5.3.8 pH

O potencial hidrogeniônico - pH, nas amostras de lodo tem características acida tendendo ao neutro, sendo seu valor médio igual a 6,3, (Figura 5.21). Este valor tendendo ao neutro se justifica devido o processo de estabilização do lodo ser aeróbio na superfície da lagoa e no dispositivo de secagem, após sua flotação.

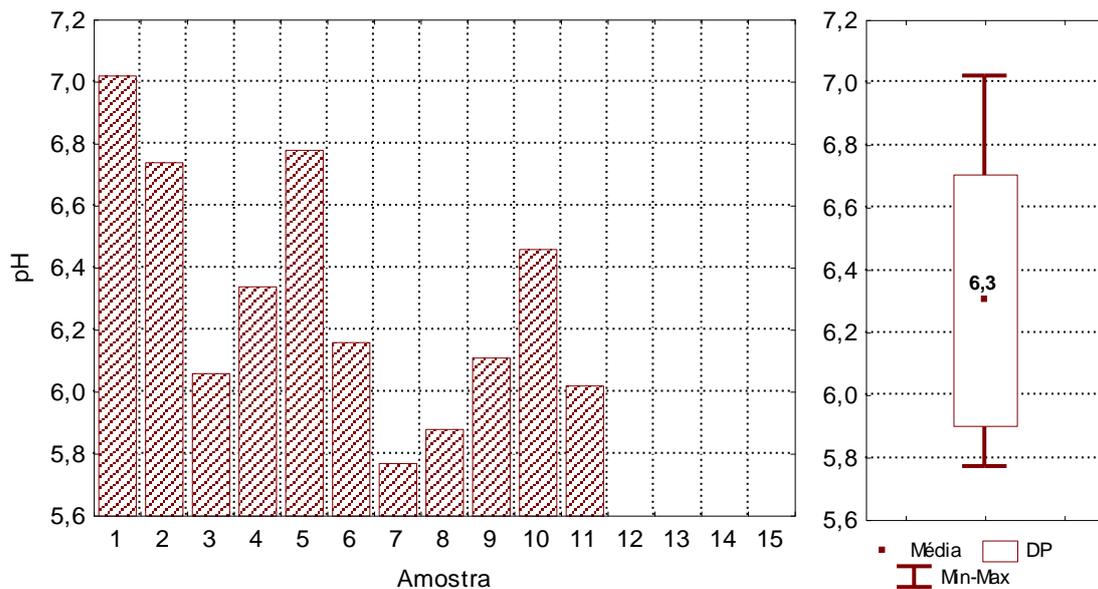


Figura 5.21 Variação das concentrações de pH ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

5.3.9 Relação Sólidos Voláteis / Sólidos Totais

A média encontrada para a relação entre os sólidos voláteis e os sólidos totais é 0,72. Em 67,67 % das amostras o lodo teve a relação SV/ST menor que 0,65 (Figura 5.22) o que se caracteriza como lodo digerido, e em apenas 33,33 % com valores iguais e maiores que 0,75% que é característica de lodo não digerido.

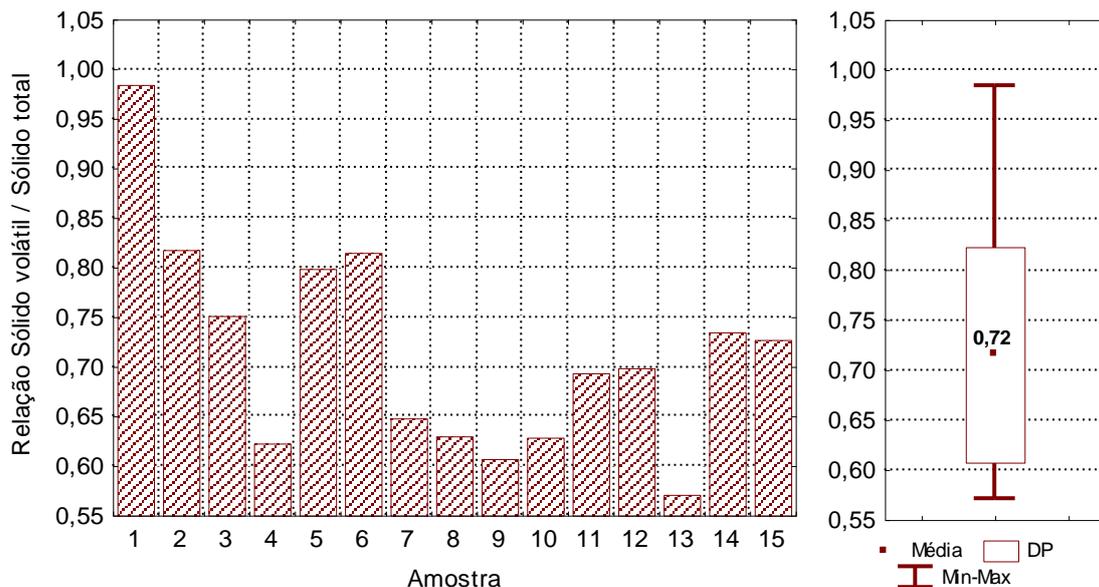


Figura 5.22 Variação da relação sólidos voláteis / sólidos totais ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

Os resultados das análises mostram que a maior parte dos sólidos, presentes no lodo flotado da lagoa de estabilização primária, é constituído de matéria orgânica. As amostras coletadas para caracterização mostram valores variáveis, para as amostras do lodo flotante com coletas realizadas em diferentes épocas do ano. Entretanto em alguns casos, a razão de sólidos voláteis e sólidos totais (lodo seco) mostra valores maiores que 0,65, que indica alto teor de matéria orgânica. Neste caso não houve flotação de lodo, apenas a formação de uma camada de gordura. Os menores valores de matéria orgânica ocorreram nos meses de agosto, e os maiores nos meses de outubro.

5.3.10 Teor de Umidade

Os valores apresentados dos resultados das análises mostram que a sua maioria é formada por amostra de lodo com pouco percentual de umidade. Os maiores valores apresentaram-se nos meses de agosto. A média de umidade ficou em 13% o que faz perceber que a maior parte das amostras apresentadas do lodo, após secagem, no leito de secagem (dispositivo) teve grande parcela de água retirada pelo escoamento e pela radiação solar ou sejam já não possui considerável umidade. A Figura 5.23 apresenta os resultados dos teores de umidade no lodo.

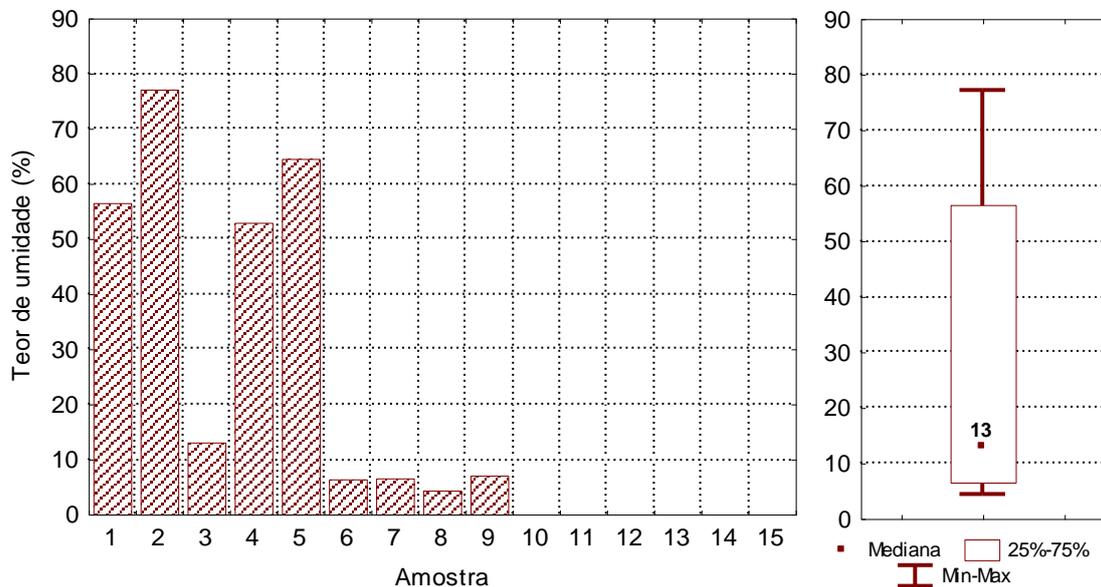


Figura 5.23 Variação do teor de umidade (%) ao longo do monitoramento e resumo estatístico (mediana, quartis, faixa de variação).

5.3.11 Densidade

O lodo flotante apresenta uma densidade inferior à da água, pois se mantém sobre a superfície da mesma. As análises realizadas comprovaram tal observação estando a média o valor de 0,89 para a densidade de 80% das amostras.

5.3.12 Helmintos

Foram verificados inúmeros círculos e ovóides com coloração azul fluorescente, como também círculos e ovóides sem coloração, mas em quantidade que

inviabilizou a contagem, isto em 70% das análises; em 10% das análises não existiu coloração, restando 20% delas sem nenhuma indicação da presença de ovos de helmintos. Este não esperado valor é justificado pela flotação de recente material sedimentado, entre eles os ovos de helmintos. Sendo o lodo um meio propício para sedimentação dos ovos, torna-se, devido ao tempo de permanência, um meio inatúvel para permanência da viabilidade não apenas dos ovos de helmintos, mas de vários microrganismos. Esperava-se a não existência de ovos e, caso fossem encontrados, que estivessem na forma de inviável.

5.4 ELEMENTOS QUÍMICOS

Os elementos químicos encontrados nas amostras de lodo estão apresentados na tabela 5.3.

Tabela 5.3 Elementos químicos encontrados no lodo flotante (Análise Química Semi-quantitativa).

Elementos	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Média	Amostra 04 Fundo da lagoa
Alumínio - Al	2,326	2,491	2,621	2,479	2,393
Sílica - Si	7,967	8,283	8,824	8,358	11,531
Fósforo - P	2,178	2,163	2,21	2,183	1,262
Enxofre - S	42,651	35,605	31,762	36,672	25,003
Potássio - K	0,506	0,544	0,518	0,522	0,594
Cálcio - Ca	11,851	9,492	7,973	9,772	5,177
Titânio - Ti	1,031	1,248	1,401	1,226	0,825
Ferro - Fe	6,522	6,724	7,155	6,800	5,516
Cobre - Cu	0,286	0,357	0,439	0,360	0,14
Zinco - Zn	0,679	0,764	0,853	0,765	0,301
Magnésio - Mg	-	0,31	0,227	0,26	-

Os teores de Al, Si, K, O₂ e Mg podem representar partículas inorgânicas presentes no lodo, provenientes de rochas minerais. Foi visualizada areia no lodo.

Os teores de fósforo e titânio são elevados para a provável quantidade de areia presente. A presença de Al, Si, K, Ca e Mg são indicativos da presença de areia no lodo.

5.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O LODO SOBRENADANTE

O material sobrenadante existente na lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra é formado pelo lodo flotado do fundo da lagoa, após várias reações químicas ocorridas na camada de lodo, lá existente. As reações produzem, entre outros elementos, em decorrência da degradação da matéria orgânica, gases, e estes tendem a buscar a superfície arrastando consigo, em um processo de flotação, partículas recentemente sedimentadas, ou flocos de lodo já formados.

Existe, também, junto ao lodo flotado na superfície, grande quantidade de resíduos sólidos (lixo) que adentram pelo sistema de tratamento secundário devido à ineficiência do tratamento preliminar em vista do grande espaçamento existente entre as barras da grade, o que permite a passagem desse material.

Foi observado que grande parte desses resíduos é composta por material de higiene pessoal, sendo característico do tipo da população contribuinte. Foi observada a existência de preservativos, absorventes e cotonetes, dentro do espelho de água da lagoa, flutuando junto ao lodo flotado. Como a área de esgotamento é composta, em parte, por empreendimentos turísticos, com visitantes de origem européia, uma parcela dos resíduos sólidos encontrados explica-se, também, pelos costumes destes que possuem um sistema único de coleta onde todos os resíduos são lançados.

Como o objetivo desta pesquisa é de conhecer para melhor destinar o lodo flotante da lagoa, verificou-se, após coletas de amostras e análises físico-químicas e microbiológicas, tratar-se de um material com excelente potencial agrônômico, haja vista tratar-se de material proveniente de efluentes domésticos, com grande conteúdo de matéria orgânica e nutrientes (fósforo e nitrogênio), embora seja também grande a presença de resíduos sólidos e sementes.

A parte sólida é formada em sua maioria de matéria orgânica, ou seja, de sólidos voláteis. A parte fixa mostra características de solo arenoso, o que é justificado pela parcela de areia que atinge o sistema de coleta de esgotos, e em especial o trecho de contribuição da Via Costeira que margeia o Parque das Dunas e a orla marítima onde a areia é arremessada por força do vento, bem como hábitos higiênicos de limpeza após banho de mar.

O nordeste do Brasil tem, como uma de suas características, o clima com a presença de sol na maioria do ano. Esta característica é preponderante para o bom funcionamento de sistema de lagoas de estabilização e também para o bom funcionamento de leitos de secagem. Como a maioria das estações de tratamento de esgotos não possui a etapa para tratamento de lodo, em especial aquelas formadas por lagoas de estabilização, o lodo formado por este tipo de tratamento concentra-se no fundo da lagoa, sendo estimada a sua remoção apenas após longos períodos, geralmente em torno de 20 anos. No entanto, foi constatado que este tipo de tratamento também produz resíduos quase que diariamente, devendo os mesmos ser removidos durante a etapa de operação e manutenção da ETE, como forma de tornar o tratamento eficiente.

O leito de secagem é um dos métodos mais antigos e simples para separação do lodo da água. Constitui-se de processo de filtração seguido de desidratação por radiação solar. Este tipo de tratamento foi desenvolvido para um lodo procedente de tratamento onde o mesmo, após ser submetido a uma pressão hidrostática, e ter o seu deságüe em contato com a atmosfera, tende a flotar, ficando a parte fluida em contato com a camada drenante e filtrante. O leito filtrante, composto de areia e seixos de menor granulometria, fica em contato com o lodo e, após certo período onde acontece a percolação devido à força da gravidade, ocorre o entupimento dos vazios e a separação da água dá-se por evaporação. O lodo flotado, apesar de possuir densidade próxima à da água, flutua sobre ela e não está sujeito a nenhuma pressão que o faça flotar no leito de secagem, até porque sua retirada é feita por peneira, o que já permite uma considerável separação de água do lodo; o restante da água é retirada das partículas por escoamento no solo e por radiação solar.

Para construção do dispositivo utilizado nessa pesquisa foi definida uma inclinação de forma a permitir o escoamento. Desta maneira, a água procura sua estabilidade na parte mais baixa do dispositivo, onde encontra o sistema de drenagem que a leva de volta para a lagoa.

A finalidade do dispositivo é o deságüe da parcela de lodo flotado, diminuindo, desta maneira, a poluição do meio ambiente e a preservação da sanidade dos operadores das ETEs ou de qualquer outra pessoa que tenha contato com este resíduo, haja vista que, através das análises, o número de patógenos encontrados é considerável. Sua construção é mais simplificada, o que a torna mais viável economicamente, permitindo sua construção em cada ETE que possua lagoa de estabilização.

O lodo flotado tem valor agronômico conforme visto nas análises realizadas; sua composição é constituída, em sua maioria, por água, mas com grande parte de matéria orgânica, o que também o torna um excelente condicionante agrícola. Porém, a existência de resíduos sólidos, em princípio, inviabiliza tal alternativa, haja vista também a existência da grande parcela de sementes ainda viáveis, o que exige que se proceda a sua separação da massa de lodo.

Imprescindível é a correta destinação deste resíduo, que, após um processo mais simplificado de desaguamento, pode ser direcionado a uma área destinada da própria ETE, já com bem menos carga orgânica, mas ainda com grande carga patogênica, a menos que seja submetido, anteriormente, a um processo de desinfecção, como a calagem, por exemplo.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados da pesquisa, literatura sobre o lodo e observações realizadas “in loco” pode-se concluir que:

- A formação do lodo flotante se dá em toda lagoa, mas em maior quantidade na entrada do dispositivo, onde ocorre maior disposição das partículas sólidas e maior formação da camada de lodo;
 - A incidência de pouco vento provoca a formação do lodo, mas quando há formação de ondas no interior da lagoa o vento provoca a quebra dos flocos do lodo arremessando-os nos taludes da lagoa, provocando novamente sua sedimentação;
 - O lodo flotante é formado por flocos de lodo e de resíduos sólidos jogados no sistema de esgotamento sanitário. Tem o aspecto gelatinoso, envolto em grande parcela de água, mas as partículas de lodo são bem definidas;
 - A composição do lodo flotante é, em sua maioria, de sólidos voláteis, devido à grande presença de matéria orgânica. Os sólidos fixos são, em geral, a parcela de areia que adentram pelo sistema de esgotamento;
 - A presença de agentes patogênicos no lodo implica na adoção de um processo de higienização;
 - O lodo flotante possui em sua composição matéria orgânica e nutriente que são componentes de fertilizantes orgânicos.
-

- A presença de resíduos sólidos e sementes constituintes do lodo flotante implica na necessidade de sua separação para possibilitar sua utilização como fertilizante;

- O dispositivo de secagem que utiliza a técnica mais simplificada de leito de secagem possibilita a separação da água existente no lodo por escoamento e por radiação solar, promovendo uma matéria com pouca umidade.

Todo o processo desenvolvido na pesquisa do lodo flotado da lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra foi realizado para dar um destino correto a este resíduo de tratamento de esgoto secundário. Produzido diariamente, em sua maioria, este resíduo provoca danos ao tratamento, se permanece na superfície da lagoa. Entre os quais, pode-se citar a diminuição da radiação solar no espelho de água da lagoa provocando a diminuição do fenômeno da fotossíntese desencadeado pelas algas, e conseqüentemente a todo processo físico-químico desenvolvido no sistema secundário de tratamento de esgoto, que tem como principais participantes as bactérias em simbiose com as algas e outros microrganismos.

7 RECOMENDAÇÃO

Como mostram as análises físico-química e bacteriológicas / helmintos, percebe-se o potencial agrônômico e de microorganismos existentes no lodo sobrenadante das lagoas facultativas. Com relação aos agentes patogênicos este material não pode ser depositado arbitrariamente, negligenciando-se todo aspecto ambiental no qual se está inserido. Recomenda-se, diante deste enfoque, que sejam construídos em toda estação de tratamento de esgotos que possuam lagoas de estabilização primária, dispositivos de secagem para destinação deste tipo de lodo, bem como que sejam aplicados nos mesmos uma dosagem de cal que permita a redução dos patógenos, já que um descaso deste tipo provoca danos à saúde humana e ambiental.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIS, K. L. e MARA, D. D. - Research on waste stabilization ponds in the UK: sludge accumulation in pilot-scale primary facultative ponds. *Environmental Technology*, Vol. 26, pp. 449 – 457, 2005.

ABNT – Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – Disponível em: www.abnt.org.br/ - acesso em 27/05/05.

ANDRADE NETO, C. O. - **Sistemas Simplificados para Tratamento de Esgotos**. Apostila de Curso. UFRN/ABES–RN, 1994.

ANDREOLI, C. V. et al – **Lodo de Esgotos - Princípios do Tratamento Biológico de águas Residuárias** – V. 6 - Tratamento e disposição final. Curitiba-PR, 2001.

_____ – **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**. Curitiba–PR: Sanepar, 2000.

_____ - **Reciclagem de Biossólidos – Transformando Problemas em Soluções**. Curitiba–PR, 2001.

_____ (coordenador) - **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Rio de Janeiro–RJ: PROSAB, 2001.

_____ - **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**. Rio de Janeiro–RJ: PROSAB, 1999.

APHA et al. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th edition. Washington, D.C: American Public Health Association, 1992.

ARAÚJO, A. L. C – **Comportamento de Formas de Fósforo em Sistemas de Lagoas de Estabilização, em Escala-Piloto, sob Diferentes Configurações, Tratando Esgoto Doméstico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, 1993.

_____ - **The Phosphorus and Sulphur cycles in wastewater Storage and Treatment Reservoirs in Northeast Brazil**. PhD Thesis – Univesity of Leeds, 1999.

ARAÚJO, A. L. C et al - **Avaliação da ETE Ponta Negra (Natal-RN): Remoção de Matéria Orgânica e Ciclo do Fósforo**. Joinville-SC: Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2003.

BANKS, C. J.; HEAVEN, S. e ZOTOVA, E. A. **Some observation on the effects of accumulated benthic sludge on the behavior of waste stabilization ponds**. Avignon, France: Anais do 6th International Conference on Waste Stabilization Ponds. 28 de setembro a 1 de outubro, pp. 157 – 164, 2004.

BENTES, M. da C.G. **Estudo dos Sedimentos de Fundo do Sistema Estuarino Lagunar Nísia Floresta-Papeba- Guarairas** Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia - Programa de Pos-Graduação em Engenharia Sanitária- Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2006.

BRITO, E. R. – **Introdução à Biologia Sanitária** – Rio de Janeiro–RJ: ABES, 1994.

CAMPOS, J. R. - **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água** – 2. Edição. São Paulo–SP: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB, vol.2, 1979.

CHAGAS, W. F. – **Estudo de Patógenos e Metais em Lodo digerido Bruto e Higienizado para Fins Agrícolas, das Estações de Tratamento de Esgotos da Ilha do Governador e da Penha no Estado do Rio de Janeiro..** Dissertação de Mestrado - Fundação Osvaldo Cruz Rio de Janeiro-ENSP, 1999.

ELLIS, K. V. – **Stabilization Ponds: Design and Operation**. Critical Reviews in Environmental Control, 13 (2), pp 69 – 102,1983.

FELTRE, R. et YOSHINAGA, S. – **Química Segundo Grau** vol. 2. São Paulo–SP: Ed. Moderna, 1977.

FRANCI, R. – **Gerenciamento do Lodo de Lagoas de Estabilização Não Mecanizadas - PROSAB (Coordenação)**. Rio de Janeiro–RJ: ABES, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Disponível em www.ibge.gov.br/home/estatística/população/condicoesdevida/pnsb.pdf - acessado em 28/08/06.

IMHOFF, K. – **Manual de Tratamento de Águas Residuárias** – 21. Edição Alemã (tradução). São Paulo–SP, 1966.

IMHOFF, K. et IMHOFF, K. R. – **Manual de Tratamento de Águas Residuárias** – 26. Edição Alemã – 1985 (tradução). São Paulo–SP, 2002.

JORDÃO, E. P. et PESSOA, C. A. – **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro–RJ: ABES, 1995.

KELLNER, E. et PIRES, E. C. – **Lagoas de Estabilização – Projeto e Operação**. Rio de Janeiro – RJ: ABES, 1998.

KLAR, A. E. – **Relações Água – Solo – Planta**. Brasília–DF: ABEAS, 1987.

MAHAN, Bruce M. et MYERS, Rollie J – **Química – Um curso Universitário**, 4. Edição. Americana. São Paulo - SP, 1997.

MALTA, T. S. – **Aplicação de lodos de ETEs na agricultura: Estudo de caso Município de Rio das Ostras**. Dissertação de Mestrado. RJ– FIOCRUZ/ENSP, 2001.

MARA, D.D. Sewage Treatment in Hot Climates. Chichester: John Wiley & Sons, 1976.

MENDONÇA, S. R. – **Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente: Novos Conceitos**. João Pessoa–PB, 1990.

NELSON, K. L.; CISNEROS, B. G.; TCHOBANOGLOUS, G. e DARBY, J. L. **Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in central Mexico**. Water Research, 38, pp. 111-127, 2004.

NUNES, J. A. – **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais** – 2. Edição revista e complementada. Aracaju–SE: Gráfica Editora J. Andrade, 1996.

NUVOLARI, A. et A. Roberto – **Esgoto Sanitário – Coleta e Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola** / Coordenação. São Paulo–SP, 2003.

OLIVEIRA, T.S., **Metais pesados como indicadores de materiais de origem de solos**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Viçosa – MG, 1996.

OLIVEIRA, R. – **The Performance of Deep Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil**. UK– Ph. D. Thesis, University of Leeds, 1990.

PAPADOPOULOS, A.; PARISOPOULOS, G.; PAPADOPOULOS, F. e KARTERIS, A. **Sludge accumulation patter in anaerobic pond under Mediterranean climatic conditions**. Water Research, 37, pp. 634 – 644. 2003.

PARLATORE, A. C. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água** – 2. ed. São Paulo – SP: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB, vol.2, 1979.

PEARSON, H.W. Agae Associated With Sewage Treatment. In: Microbial Technology in the Developing Word. (Ed. E.J. da Silva, Y. R. Dommergues, E.J. Nyns and C. Ratledge). New York: Oxford University Press, pp. 260-288. 1987.

PICOT, B.; SAMBUCCO, J. P.; BROUILLET, J. L. e RIVIERE, Y. **Wastewater stabilization ponds: sludge accumulation, technical and financial study on desludging and sludge disposal case studies in France**. Water Science and Technology, 51 (12), pp. 227 – 234. 2005.

SILVA, FÁBIO CÉSAR DA (organizador) – Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes – EMBRAPA – Brasília, 1999.

SILVA, S.A. On the Treatment of Domestic Sewage in Waste Stabilization Ponds in Northesast Braazil. Ph.D. Thesis, University of Dundee, Uk. 1982.

SILVA, S. A. et MARA, D. D. – **Tratamentos Biológicos de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização**. Rio de Janeiro–RJ: ABES, 1979.

SOARES, J.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R.; ARAÚJO, A. L. C.; MARA, D. D. e PEARSON, H. W. **Ammonia removal in a pilot-scale WSP complex in northeast Brazil**. Water Science and Technology. Vol. 33, No. 7, pp. 165 – 171. 1996.

UJVARI, S. C. – **A História e Suas Epidemias – A Convivência do Homem com os Microorganismos**. São Paulo-SP: Editora Senac, 2003.

VAN Haandel, A.C. et LETTING, G. – **Tratamento Anaeróbio de Esgotos – Um Manual para regiões de Clima Quente**. Campina Grande-PB, 1994.

VON SPERLING, M. – **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** – volume 1 - **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte–MG, 1996.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION . **Environmental health criteria 85 - Lead**. Geneva, 1989.
