



**Universidade Federal do Espírito Santo  
Centro Tecnológico  
Programa de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental**

# **AVALIAÇÃO DA HIGIENIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CAIXA DE AREIA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

**Luciana Harue Yamane**

---

Prof. Dr. Florindo dos Santos Braga  
Orientador – UFES

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Regina de Pinho Keller  
Co-orientadora – UFES

---

Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini  
Examinador Interno – UFES

---

Prof. Dr. Fernando Avancini Tristão  
Examinador Interno – UFES

---

Prof. Dra. Jacqueline Rogéria Bringhenti  
Examinadora Externa - CEFETES

Coordenador do PPGEA: Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini

**Vitória, 06 de junho de 2007**

**LUCIANA HARUE YAMANE**

**AVALIAÇÃO DA HIGIENIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CAIXA DE  
AREIA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Florindo dos Santos Braga

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina de Pinho Keller

**Vitória  
2007**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

Y19a Yamane, Luciana Harue, 1981-  
Avaliação da higienização do resíduo de caixa de areia de estações de  
tratamento de esgoto / Luciana Harue Yamane. – 2007.  
148 f. : il.

Orientador: Florindo dos Santos Braga.  
Co-Orientadora: Regina de Pinho Keller.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo,  
Centro Tecnológico.

1. Desinfecção e desinfetante. 2. Areia. 3. Cal. I. Braga, Florindo dos  
Santos. II. Keller, Regina de Pinho. III. Universidade Federal do Espírito  
Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 628

---

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família, em especial:

Aos meus pais, Noboru e Irani, por todo amor, dedicação, investimento, apoio, compreensão, incentivo, presença e todas as palavras que aqui não caberão, a minha eterna gratidão.

A minha irmã Fabiana, que depois de conhecer a maternidade, passou a cuidar de mim e deixou um pouco de ser irmã para ser um pouco minha mãe também.

Ao meu afilhado Fábio por ter iluminado minhas horas de desânimo com seu sorriso maravilhoso.

A Windy, minha eterna companheira de estudos.

"Eu pedi forças... e Deus me deu dificuldades para fazer-me forte.  
Eu pedi sabedoria... e Deus me deu problemas para resolver.  
Eu pedi prosperidade... e Deus me deu cérebro e músculos para trabalhar.  
Eu pedi coragem... e Deus me deu perigos para superar.  
Eu pedi amor... e Deus me deu pessoas com dificuldades para ajudar.  
Eu pedi dádivas... e Deus me deu oportunidades.

Eu não recebi nada do que pedi,  
mas eu recebi tudo que precisava"

(Howard Hendricks)

## AGRADECIMENTOS

A minha tia e madrinha Cristina, por ser uma pessoa maravilhosa que sempre me espelha e por estar presente nos momentos mais importantes da minha vida.

Ao meu orientador, *Florindo dos Santos Braga*, que durante cinco anos, não apenas me orientou, mas confiou em mim. Obrigado pelo apoio, pelas broncas e pelos elogios.

A minha co-orientadora *Regina de Pinho Keller*, que além de me orientar, sempre esteve presente e do meu lado. Obrigado pelas lições de vida, pelo apoio, pela sensibilidade e pelas palavras de incentivo nos momentos que mais precisei.

A bolsista *Patrícia Lee Wigner* por todo apoio, amizade, compreensão, esforço, enfim, por ter sido muito mais do que uma colega de projeto.

Ao bolsista *Saulo Alves Aduan* pela amizade e colaboração.

À Prof<sup>a</sup> *Eliana Zandonade* pelo apoio nas análises estatísticas que mesmo tão atarefada não deixou de me ajudar.

Ao Prof. *Fernando Avancini* pela colaboração e apoio nas análises granulométricas e de determinação de matéria orgânica, e por ser sempre tão atencioso.

Ao Prof. *Sérvio Túlio*, pelas contribuições feitas ao trabalho.

A Prof<sup>a</sup> Jacqueline, por ter aceito o convite para participar da minha banca e pelas valiosas contribuições.

Aos funcionários do LEMAC, em especial ao *Márcio*, pelo apoio na realização das análises granulométricas

À eterna turma do GEARSOL, em especial à Denise Izoton, Daniella Buzzi e Fábio Uliana (membro honorário).

As minhas grandes amigas por toda compreensão, apoio e amizade.

À CESAN, pelo apoio financeiro e operacional, em especial ao Fernando Baptista, Amâncio, Miguel e operadores das ETES Márcilio de Noronha e Bandeirantes.

Ao PPGEA e a CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

## Resumo

O processo de tratamento de esgoto doméstico gera resíduos sólidos que precisam ser constantemente removidos afim de se manter a eficiência do tratamento, dentre eles, o resíduo depositado no fundo das caixas de areia. A caixa de areia tem como objetivo remover do esgoto areia e outras partículas, incluindo as orgânicas, presentes no esgoto *in natura*, que através do processo de sedimentação são arrastadas para o fundo. Apesar de não receber a devida importância, uma vez que a prática é enterrar este resíduo em valas ou dispor no solo sem tratamento, atualmente, este resíduo passou a ser considerado um problema no gerenciamento de estações no que se refere ao manuseio, tratamento e destinação final, devido a exigências por parte das empresas de saneamento. Visto a necessidade de buscar novas fontes de obtenção de areia, o resíduo de caixa de areia poderia ser uma opção a ser utilizada na construção civil desde que seja realizada a higienização prévia do material. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da caleagem e da insolação natural na higienização do resíduo de caixa de areia através da avaliação da redução de bactérias do grupo coliforme e de ovos de helmintos. A metodologia adotada neste trabalho possui 2 etapas. Na primeira etapa, Estudos Preliminares, buscou-se conhecer as características físicas e microbiológicas da areia, desenvolver procedimentos de coleta e montagem dos experimentos e testar processos de higienização através da caleagem, cloração e insolação natural. Na segunda etapa, Estudo Piloto, avaliou-se a eficiência da caleagem na higienização através da repetição de experimentos. Os resultados obtidos permitiram constatar a eficiência da caleagem na higienização do resíduo de caixa de areia a partir da dosagem de 10% pode ser considerada eficiente na remoção de bactérias e ovos de helmintos após uma semana de tratamento e a dosagem a partir de 15% eficiente após 48 horas de tratamento e as análises preliminares visando utilizar a areia higienizada demonstram ser viável sua aplicação na construção civil sob o ponto de vista sanitário, e garantem a segurança do manuseio, transporte e destinação final.

## Abstract

The process of treatment for wastewater produces solid waste that need to be constantly removed for to keep the treatment's efficiency, amongst it, the waste deposited in the deep of the grit removal. The grit removal has the objective of to remove from wastewater the grit and others particulas, including the organics, presents in the wastewater *in nature*, that to be dragged to the deep by sedimentation process. Although not to be to receive had importance, a time that is to embed this waste in ditches or to make use in the ground without treatment, currently, this waste it is starting to be a problem in management of stations in what it is mentioned to handle, treatment and final destination, had requirements by sanitation's companies. Had necessity of to search new sources of attainment of grit, the grit removal waste it could be an option to be use in the civil construction since either carried through the disinfection of the material. The objective this work it was to evaluate the efficiency of the lime stabilization and the natural insolation in the disinfection of the grit removal waste through evaluation in the reduction of the bacteria to coliform group and helmintos eggs. The methodology used in this work has 2 stages. In the first stage, Preliminary Study, search to know the physics and microbiological characteristic's of the grit, to develop procedures to collect and mount of the experiments and to test process of disinfection through to lime stabilization, chlorination and natural insolation. In the second stage, Pilot Study, evaluated the efficiency to lime stabilization in the disinfection through of the repetition to experiments. As results, the lime stabilization to leave of the dosage to 10% it can be considered efficient in removal to bacterial and helmintos eggs after one week of the treatment and the dosage to leave to 15% efficient after 48 hours of the treatment and the preliminary analysis searching to use the disinfection grit demonstrate to be viable your application in the civil construction and guarantee the security in the handle, transport and final destination.



# SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	18
<b>2. Objetivos</b> .....	20
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos.....	21
<b>3. Revisão Bibliográfica</b> .....	22
3.1 – A problemática do resíduo de caixa de areia de ETE.....	23
3.2 – Tratamento preliminar de esgoto doméstico.....	24
3.2.1 – Caixa de Areia de ETES.....	24
3.2.1.1 – Tipos de caixa de areia de ETES.....	25
3.3 – Resíduo de caixa de areia de ETES.....	26
3.3.1 – Características físico-químicas do resíduo de caixa de areia.....	26
3.3.2 - Características microbiológicas do resíduo de caixa de areia.....	27
3.3.3 – Geração de resíduo de caixa de areia de ETES.....	27
3.3.4 – Legislação sobre resíduos sólidos.....	29
3.3.4.1 – Areias de contato primário.....	30
3.3.4.2 – Areia para construção civil.....	33
3.4 – A problemática da areia na construção civil.....	34
3.5 – Microorganismos patogênicos presentes no resíduo de caixa de areia.....	35
3.5.1 – Ovos de Helmintos.....	36
3.5.2 – Grupo Coliformes.....	39
3.5.2.1 – <i>Escherichia coli</i> .....	41
3.6 – Métodos de detecção de bactérias do grupo coliforme.....	42
3.6.1 – Tubos Múltiplos.....	42
3.6.2 – Membrana filtrante.....	44
3.6.3 – Substrato Cromo-fluorogênico.....	45
3.7 – Higienização.....	46
3.7.1 - Cloração.....	48

3.7.1.1 – Concentração de cloro.....	49
3.7.1.2 – Principais compostos de cloro utilizados na cloração.....	50
3.7.1.3 – Mecanismo de ação da cloração.....	51
3.7.1.4 – Desvantagens da cloração.....	52
3.7.1.5 – Pesquisas utilizando a cloração para higienização.....	52
3.7.2 – Caleagem.....	53
3.7.2.1 – Tipos de cal utilizados na caleagem.....	54
3.7.2.2 – O uso da cal hidratada na construção civil.....	54
3.7.2.3 – Mecanismo de ação da caleagem.....	55
3.7.2.4 – Desvantagens da caleagem.....	57
3.7.2.5 - Pesquisas utilizando a caleagem para higienização.....	57
3.7.3 – Insolação Natural.....	59
<b>4. Materiais e Métodos.....</b>	<b>62</b>
4.1 – Etapa 1 - Estudos Preliminares.....	64
4.1.1 - Fase 1 - Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia.....	65
4.1.1.1 – Visitas técnicas às ETEs Bandeirantes e Marcílio de Noronha.....	65
4.1.1.2 – Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia.....	67
4.1.1.3 – Definição dos procedimentos de lavagem da areia para realização das análises microbiológicas.....	68
4.1.1.4 - Definição dos parâmetros microbiológicos de monitoramento.....	69
4.1.1.4.1 – Determinação de Coliformes Totais e <i>E. coli</i> .....	69
4.1.1.4.2 – Técnica de detecção de ovos de helmintos.....	72
4.1.1.5 - Definição dos parâmetros físico-químicos de monitoramento.....	72
4.1.2 - Fase 2 - Teste de métodos de higienização do resíduo de caixa de areia.....	73
	73

4.1.2.1 – Procedimentos de coleta e amostragem de areia nas ETEs.....	
4.1.2.2 – Procedimentos de montagem e monitoramento das pilhas, e, de coleta de amostras para ensaios laboratoriais.....	74
4.1.2.3 – Testes preliminares de higienização do resíduo de caixa de areia.....	75
4.1.3 - Fase 3 - Avaliação do método de higienização selecionado para o resíduo de caixa de areia.....	76
4.1.4 - Fase 4 – Ajuste de procedimentos na caleagem do resíduo de caixa de areia.....	77
4.2 – Etapa 2 - Estudo Piloto.....	78
4.2.1 – Análise Estatística.....	81
<b>5. Resultados e Discussões.....</b>	<b>82</b>
5.1 - Etapa 1 - Estudos Preliminares.....	83
5.1.1 - Fase 1 - Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia.....	83
5.1.2 - Fase 2 – Teste de métodos de higienização do resíduo de caixa de areia.....	84
5.1.3 - Fase 3 – Caleagem do resíduo de caixa de areia.....	86
5.1.4 - Fase 4 – Avaliação da caleagem do resíduo de caixa de areia da Fase 3 através da repetição do experimento.....	87
5.2 - Etapa 2 – Estudo Ajustado.....	88
5.2.1 - Remoção de Coliformes Totais e <i>E. coli</i> .....	88
5.2.2 - Remoção de ovos de helmintos.....	94
5.2.3 - Variação de pH.....	97
5.2.4 – Umidade.....	99
5.2.5 - Remoção de Matéria Orgânica.....	101
5.2.6 – Granulometria.....	101
<b>6. Conclusão.....</b>	<b>105</b>

<b>7. Recomendações</b> .....	109
<b>8. Referências</b> .....	111
<b>9. Apêndices</b> .....	123
Apêndice A.....	124
<b>10. Anexos</b> .....	139
Anexo A - Técnica adaptada de detecção e identificação de ovos de helmintos segundo Meyer (1978).....	140
Anexo B - Monitoramento Metereológico dos Estudos Preliminares.....	141
Anexo C - Monitoramento Metereológico do Estudo Piloto.....	143
Anexo D – Análise Estatística.....	144
Anexo E - Resultados obtidos nas análises de determinação do teor de matéria orgânica.....	145
Anexo F - Resultados do Estudo Piloto – Variação de pH.....	146
Anexo G - Resultados do Estudo Piloto – Ovos de Helmintos.....	147
Anexo H - Resultados do Estudo Piloto – Coliformes totais e <i>E. coli</i> .....	148

## Lista de Figuras

### 3 – Revisão Bibliográfica

Figura 3.1 – Fluxograma do tratamento preliminar de esgoto doméstico.....	24
Figura 3.2 – Caixa de areia em canal – vista em planta e foto ilustrativa.....	25
Figura 3.3 - Diagrama representativo do grupo coliforme.....	40

### 4 – Material e Métodos

Figura 4.1 – Caixas de Areia da ETE Bandeirantes.....	66
Figura 4.2 – Coleta de amostra na caixa de areia da ETE Marcílio de Noronha.....	67
Figura 4.3 – Pilhas da Fase 1 – Estudos Preliminares.....	68
Figura 4.4 – Procedimentos de “lavagem” da areia.....	69
Figura 4.5 – Seqüência das etapas da análise de CT e <i>E.coli</i> .....	71
Figura 4.6 – Cartelas Quanti-tray utilizadas nas análises de CT e <i>E.coli</i> .....	71
Figura 4.7 – Coleta de amostras nas ETEs Bandeirantes (a) e Marcílio de Noronha (b).....	73
Figura 4.8 – Pontos de coleta de amostra em cada pilha.....	74
Figura 4.9 – Pilhas da Fase 2 - Estudos Preliminares.....	75
Figura 4.10 – Pilhas da Fase 3 – Estudos Preliminares.....	77
Figura 4.11 – Fluxograma do protocolo experimental das campanhas.....	79

### 5 – Resultados e Discussão

Figura 5.1 – Densidades médias de Coliformes Totais na areia controle e na areia higienizada com cal hidratada nas dosagens 10%, 15%, 20%, 25% e 30% das campanhas do Estudo Piloto.....	89
Figura 5.2 – Densidades médias de <i>E.coli</i> na areia controle e na areia higienizada com cal hidratada nas dosagens 10%, 15%, 20%, 25% e 30% das campanhas do Estudo Piloto.....	90

Figura 5.3 – Densidade média de coliformes totais e <i>E.coli</i> na areia controle das campanhas do Estudo Piloto.....	91
Figura 5.4 – Pátio de estocagem a céu aberto dos resíduos (lodo, resíduo de gradeamento e resíduo de caixa de areia) da ETE Marcílio de Noronha.....	92
Figura 5.5 – Densidade média de coliformes totais e <i>E.coli</i> na areia higienizada com cal hidratada na dosagem 10% das campanhas do Estudo Piloto.....	93
Figura 5.6 – Densidade média de ovos de helmintos (ovo/gMS) na areia controle e na areia higienizada com cal das campanhas do Estudo Piloto.....	95
Figura 5.7 – Foto obtida em dia de coleta mostrando Helmintos retidos no gradeamento da ETE Marcílio de Noronha.....	97
Figura 5.8 – Variação média de pH das campanhas do Estudo Piloto.....	97
Figuras 5.9 – Médias da variável Umidade das campanhas do Estudo Piloto...	100
Figura 5.10 – Gráfico da análise granulométrica das amostras de areia controle e areia higienizada com cal nas proporções 10% e 15% do Estudo Piloto.....	103

## **9 – Apêndices**

Figura 9.1 – Caçamba com resíduo de caixa de areia da ETE Bandeirantes....	122
Figura 9.2 – Coloração da areia úmida (A) e seca após 20 dias (B).....	123

## Lista de Tabelas

### 3 – Revisão Bibliográfica

Tabela 3.1 – Características do esgoto bruto e lodo primário.....	27
Tabela 3.2 – Concentrações médias de alguns microorganismos encontrados nas fezes humanas, esgoto bruto e lodo primário bruto.....	27
Tabela 3.3 – Concentração máxima de microorganismos proposta em areia seca de contato primário.....	31
Tabela 3.4 – Limites máximos de colimetria para classificação da areia utilizada em recreações de contato primário no Rio de Janeiro.....	32
Tabela 3.5 – Limites granulométricos de agregado miúdo.....	33
Tabela 3.6 - Doenças Helmínticas do Sistema Digestivo Humano.....	38
Tabela 3.7 – Vantagens e desvantagens dos métodos de detecção de bactérias do grupo coliforme.....	46
Tabela 3.8 – Tipo de esgoto e dosagem de cloro.....	50

### 4 – Material e Métodos

Tabela 4.1 – Análises físico-químicas.....	72
--	----

### 5 – Resultados e Discussão

Tabela 5.1 – Porcentagem média retida acumulada na análise granulométrica das amostras de areia controle e areia higienizada com cal nas proporções 10% e 15%.....	102
--	-----

### 9 - Apêndices

Tabela 9.1 – Características físico-químicas e microbiológicas do resíduo de caixa de areia na Fase 1.....	124
Tabela 9.2 – Resultados obtidos nas análises de CT e <i>E.coli</i> da Fase 2 dos Estudos Preliminares.....	125

Tabela 9.3 - Resultados obtidos nas análises de Ovos de helmintos da Fase 2 dos Estudos Preliminares.....	126
Tabela 9.4 – Resultados das análises de umidade na Fase 2 dos Estudos Preliminares.....	127
Tabela 9.5 – Resultados obtidos nas análises de CT e <i>E.coli</i> da Fase 3 dos Estudos Preliminares.....	129
Tabela 9.6 – Resultados obtidos nas análises de ovos de helmintos da Fase 3 dos Estudos Preliminares.....	130
Tabela 9.7 – Resultados das análises de umidade na Fase 3 dos Estudos Preliminares.....	130
Tabela 9.8 - Resultados das análises de pH na Fase 3 dos Estudos Preliminares.....	131
Tabela 9.9 – Resultados obtidos nas análises de CT e <i>E.coli</i> da Fase 4 dos Estudos Preliminares.....	132
Tabela 9.10 – Resultados obtidos nas análises de ovos de helmintos da Fase 4 dos Estudos Preliminares.....	133
Tabela 9.11 – Resultados das análises de umidade na Fase 4 dos EP.....	134
Tabela 9.12 - Resultados das análises de pH na Fase 4 dos Estudos Preliminares.	135



## **Lista de Siglas**

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
CESAN – Companhia Espírito Santense de Saneamento  
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente  
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
LABERSOL - Laboratório de Estudos em Resíduos Sólidos  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
ST – Sólidos Totais  
EP – Estudos Preliminares  
L – litros  
CT – Coliformes Totais  
NMP – Número Mais Provável  
gMS – grama de Massa Seca  
UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância  
UV – Ultra Violeta

# Capítulo 1

## *Introdução*

---

## **Capítulo 1**

### **INTRODUÇÃO**

O esgoto doméstico é um efluente líquido originado do uso doméstico da água (banheiros, cozinha, etc) e contém aproximadamente 99,9% de água. A fração restante, 0,1% inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, em suspensão e dissolvidos, bem como microorganismos (SANTOS, 2003).

O tratamento do esgoto doméstico tem como objetivo remover os sólidos grosseiros, dissolvidos e em suspensão, algumas impurezas orgânicas e microorganismos patogênicos do esgoto. Ao final do processo é gerada uma grande quantidade de resíduos. Os sólidos grosseiros ficam retidos nas grades, o lodo nos decantadores ou fundo de lagoas e a areia no fundo dos decantadores específicos para este material denominado caixa de areia.

A caixa de areia tem como objetivo remover do esgoto areia e outras partículas, que através do processo de sedimentação são arrastadas para o fundo. Segundo a SABESP (2005), as finalidades básicas da remoção da areia em uma ETE são:

- Evitar abrasão nos equipamentos e tubulações;
- Eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução em tubulações, tanques, orifícios, sifões, etc;
- Facilitar o transporte líquido, principalmente à transferência de lodo, em suas diversas fases.

Os resíduos gerados nas ETEs precisam ser constantemente removidos, seja de forma manual ou mecanizada, afim de se manter a eficiência do processo de tratamento.

O resíduo gerado nas caixas de areia é uma mistura de areia com outras partículas, incluindo as orgânicas, presentes no esgoto *in natura*, além de microorganismos patogênicos. Na verdade, quando da remoção dos sólidos tem-se um sedimento constituído de areia contaminada por microorganismos existentes no esgoto.

Apesar de não receber a devida importância, uma vez que a prática é enterrar este resíduo em valas ou dispor no solo sem nenhum tratamento, atualmente, a areia removida das caixas de areia de ETEs passou a ser considerado um problema no gerenciamento de estações no que se refere ao manuseio, tratamento e destinação final, devido a necessidade de atender requisitos legais por parte das empresas de saneamento.

Como pouco se conhece sobre este resíduo, os operadores da ETE e também do aterro sanitário, que o manuseiam podem estar expostos a doenças devido à presença de microorganismos patogênicos oriundos do esgoto.

Por outro lado, no cenário atual, a construção civil encontra-se carente de novas alternativas para obtenção de areia, visto que a exploração de areia natural em leitos de rios, cavas e áreas de restinga, tem grande potencial de degradação ambiental e tem sido cada vez mais restrita pelos órgãos de fiscalização ambiental.

O resíduo de caixa de areia poderia ser uma opção a ser utilizada na construção civil desde que seja realizada a higienização com o objetivo de eliminar ou reduzir significativamente a densidade de microorganismos patogênicos, tornando-a segura do ponto de vista microbiológico para as possíveis aplicações desejadas.

Dentre os processos de higienização existentes, a caleagem e a cloração, já são bastante conhecidas por sua utilização em lodo de ETE's e ETA's, higienização de água e esgoto e por serem econômicas e de fácil aplicação.

Neste contexto, este estudo busca avaliar a eficiência da higienização do resíduo de caixa de areia gerado em estações de tratamento de esgoto através da redução de coliformes totais, *E. coli* e ovos de helmintos submetidos à caleagem e a insolação natural.

# Capítulo 2

## *Objetivos*

---

## **Capítulo 2**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1 – Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência da higienização do resíduo de caixa de areia através da avaliação da remoção de bactérias do grupo coliforme e de ovos de helmintos.

#### **2.2 – Objetivos Específicos**

- Determinar as características físicas, físico-químicas e microbiológicas do resíduo de caixa de areia;
- Testar métodos de higienização através da avaliação da remoção de coliformes totais, *E. coli* e ovos de helmintos no resíduo de caixa de areia submetido à caleagem, cloração e insolação natural.
- Avaliar a eficiência do método selecionado na remoção de coliformes totais, *E. coli* e ovos de helmintos no resíduo de caixa de areia.
- Avaliar o resíduo de caixa de areia higienizado como material alternativo na construção civil sob aspectos sanitários.

# Capítulo 3

## *Revisão Bibliográfica*

---



## **Capítulo 3**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 – A problemática do resíduo de caixa de areia de ETE**

Uma das finalidades do tratamento de esgoto doméstico é a remoção dos sólidos em suspensão, que é realizada por meio de processos físicos no tratamento preliminar. Nesta etapa, a remoção dos resíduos grosseiros ocorre através das grades e a remoção da areia é feita por sedimentação nas caixas de areia.

A destinação final adequada dos resíduos sólidos de uma estação de tratamento de esgoto é atualmente uma necessidade de grande relevância para a preservação do meio ambiente, haja visto que dia a dia vem absorvendo cada vez mais a atenção de especialistas da área ambiental, que ao desenvolverem projetos de ETEs, não devem visar apenas o tratamento do esgoto, mas também atender às normas e legislações ambientais vigentes sobre a destinação final dos resíduos sólidos gerados no processo (SILVEIRA *et al*, 2005).

No entanto, muitas vezes, ao se projetar uma ETE não se prevê mecanismos para o adequado manuseio e destinação dos resíduos de caixa de areia, sendo estes na maioria das vezes, removidos e estocados temporariamente em algum local de armazenamento, e depois enterrados ou dispostos no solo, sem tratamento, devido à falta de prioridade por parte das empresas de saneamento, além de cobrança e fiscalização do órgão ambiental.

Assim, os resíduos de ETEs dispostos no meio ambiente, são também contaminados por microorganismos patogênicos, colocando em risco os operadores da ETE e a população, e causando poluição dos cursos d'água e do solo.

### 3.2 – Tratamento preliminar de esgoto doméstico

Uma estação de tratamento de esgoto (ETE) convencional em geral, pode ter até três níveis de tratamento, denominados tratamento preliminar, tratamento secundário e tratamento terciário, sendo que o tratamento preliminar consiste basicamente em duas etapas, o gradeamento e a caixa de areia (Figura 3.1).

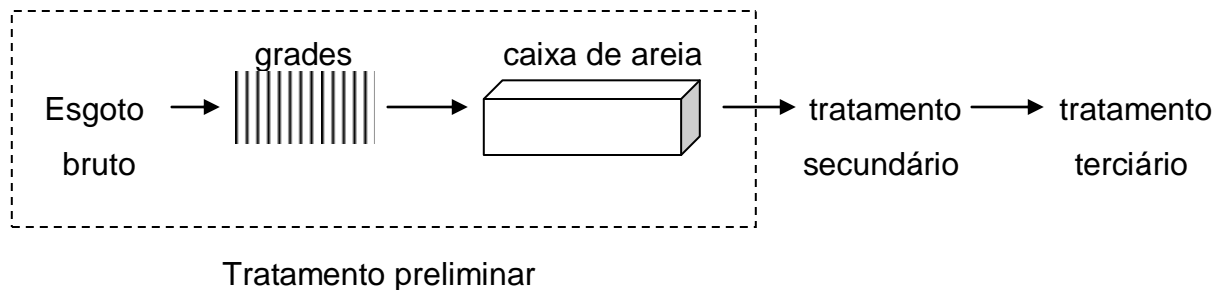


Figura 3.1 – Fluxograma do tratamento preliminar de esgoto doméstico

Fonte: adaptado de Andreoli (2001)

No gradeamento ocorre a retenção de sólidos grosseiros, tais como: garrafas plásticas, sacos plásticos, restos de plantas, trapos, pedaços de madeira, cabelos, camisinhas, copos plásticos. O material de dimensões maiores do que o espaçamento entre as barras é retido e removido. Na caixa de areia ou desarenador ocorre a retenção da areia através do processo de sedimentação.

#### 3.2.1 – Caixa de Areia de ETEs

A caixa de areia disposta serialmente logo após as grades, conforme Figura 3.1, destina-se a remover do esgoto partículas de areia com diâmetro via de regra igual ou superior a 0,20 mm e peso específico de aproximadamente  $2,65\text{g/cm}^3$ .

A areia sedimentada deve ser retirada periodicamente por processos manuais ou mecânicos. Segundo Dacach (1991), a limpeza manual normalmente limita-se a estações atendendo populações inferiores a 50 mil habitantes.

### 3.2.1.1 - Tipos de caixa de areia de ETEs

Os três principais tipos de caixa de areia usuais são: caixa de areia em canal, com raspador e aerada (DACACH, 1991).

Na caixa de areia em canal, o esgoto desloca-se horizontalmente na caixa de areia com velocidade de 0,30 m/s e as partículas de areia depositam-se no fundo. O controle de velocidade é realizado, através de um vertedor instalado a jusante da caixa de areia (vide Figura 3.2).

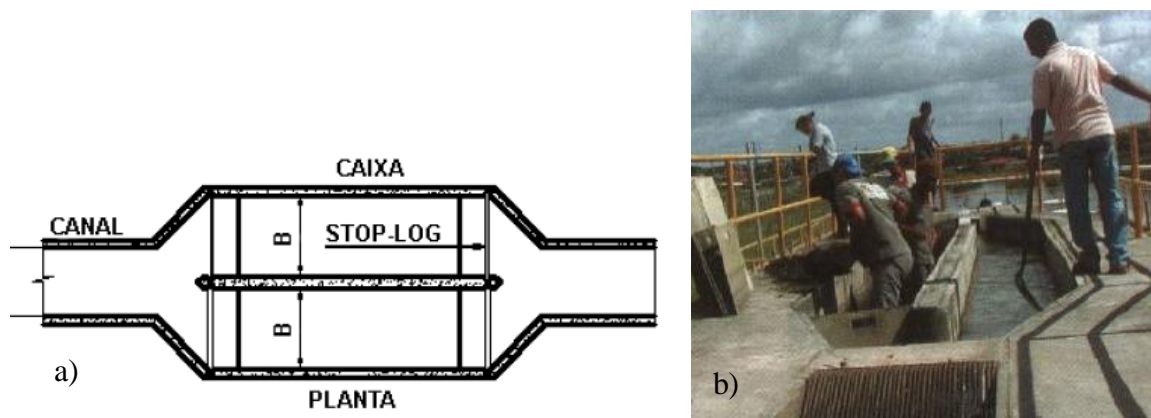


Figura 3.2 – Caixa de areia em canal – vista em planta (a) e foto ilustrativa (b)

Fonte: Adaptada de ZATTONI, 2006

A caixa de areia com raspador mecânico é um tanque via de regra de seção horizontal quadrada. No fundo do tanque existe um rebaixamento de forma circular, onde se desloca com movimento giratório lento um raspador destinado a lançar num poço o material depositado.

A caixa de areia aerada consiste na injeção de ar difuso, de baixo para cima, na massa de esgoto em movimento. A injeção de ar propicia a flutuação da matéria orgânica que seria arrastada para baixo pelas partículas minerais pesadas.

### 3.3 – Resíduo de caixa de areia de ETEs

A seguir são apresentadas as características físico-químicas e microbiológicas, dados de geração e a legislação referente ao resíduo de caixa de areia, objeto do presente estudo.

Dada a escassez de estudos publicados sobre as características físico-químicas e microbiológicas do resíduo de caixa de areia buscou-se neste trabalho a exploração de informações sobre esgoto bruto e lodo, já que a areia removida é a parte sólida pesada retirada do esgoto bruto no início do tratamento de esgoto.

#### 3.3.1– Características físico-químicas do resíduo de caixa de areia

Segundo Dacach (1991), a composição do resíduo de caixa de areia é basicamente uma mistura de areia com outras partículas, tais como sementes, pó de café, cinza, argila, pedrisco e até mesmo partículas orgânicas declaradamente leves, indesejáveis pelo mau odor provocado por sua decomposição, que encontram-se junto à areia porque são arrastadas para baixo pelas partículas minerais pesadas.

Segundo Silva (1977), baseado em dados ingleses, o teor de matéria orgânica na areia removida é próximo de 25% e a umidade em torno de 40%.

Na Tabela 3.1 são apresentadas algumas características físico-químicas do esgoto bruto e do lodo primário já que não foram encontrados na literatura valores de pH e sólidos para o resíduo de caixa de areia.

Tabela 3.1 – Características do esgoto bruto e lodo primário

	<b>Esgoto Bruto</b>	<b>Lodo Bruto</b>
Sólidos Totais	945 - 1336 mg/l	2 a 6 %
pH	7,35 - 8,06	5,5 a 6,5

Fonte: Adaptado de Fernandes (1997) e Santos (2003)

### 3.3.2– Características microbiológicas do resíduo de caixa de areia

Segundo Santos (2003), podem estar presentes tanto no esgoto quanto no lodo cinco grupos de microorganismos patogênicos que são: helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias.

Na Tabela 3.2 são apresentadas as concentrações médias de alguns microorganismos observados no esgoto bruto e no lodo primário bruto nos Estados Unidos.

Tabela 3.2 – Concentrações médias de alguns microorganismos encontrados no esgoto bruto e lodo primário bruto

<b>Tipo de microorganismo</b>	<b>Esgoto Bruto</b> (número/ml de esgoto)	<b>Lodo primário bruto</b> (número/g de peso seco)
Coliformes Totais	$10^5$ a $10^6$	$1,2 \times 10^8$
Coliformes Fecais	$10^4$ a $10^5$	$2,0 \times 10^7$
Ovos de Helmintos	$10^{-2}$ a 10	20 a 700

Fonte: Metcalf & Eddy (1991) e EPA (1985) *apud* Andreoli, 2001.

### 3.3.3 – Geração de resíduo de caixa de areia de ETEs

Segundo Antonini *et al* (2002), em uma ETE são gerados resíduos como o biogás, o lodo estabilizado, areia, sólidos grosseiros e o próprio efluente tratado. O registro das quantidades geradas de cada resíduo é uma importante ferramenta no gerenciamento da estação.

A quantidade de resíduo de caixa de areia em relação ao total de resíduos sólidos gerados em uma ETE representa em geral um pequeno percentual, sendo o maior percentual representado pelo lodo.

Segundo a empresa responsável pela destinação final do resíduo de caixa de areia de ETEs operadas pela CESAN (Companhia Espírito-Santense de Saneamento) nos municípios de Vitória, Guarapari, Vila Velha e Cariacica, entre os meses de setembro a outubro de 2006, foram aterradas um total de 105,88 toneladas. O custo de disposição destes resíduos foi de R\$ 41,53 por tonelada, sendo considerados resíduos Classe IIA.

Alguns estudos realizados nas cidades de São Paulo e Porto Alegre apresentam dados de geração do resíduo de caixa de areia das ETEs.

Segundo Santos (2003), em cinco ETEs da região metropolitana de São Paulo em funcionamento na época da publicação, eram gerados relatórios mensais com informações como material removido (grade e areia) e geração de subprodutos (lodo e gás). Todos os resíduos sólidos gerados eram transportados por caminhões aos aterros Bandeirantes e São João. O resíduo de caixa de areia representa apenas 2,14% do total de resíduos sólidos gerados no sistema de esgotos da região metropolitana de São Paulo por dia, porém ressalta-se que a geração média era de aproximadamente 7 t/dia.

O Sistema Navegantes trata aproximadamente 13% dos esgotos da cidade de Porto Alegre, gerando em média 8 t/dia de material retirado das caixas de areia (ANTONINI *et al*, 2002).

### **3.3.4 – Legislação sobre resíduos sólidos**

Segundo a legislação de diversos países, e mesmo a brasileira, a responsabilidade pelos problemas que podem ser causados pelo destino inadequado dos resíduos sólidos é sempre dos produtores do resíduo, que podem ser enquadrados na lei de crimes ambientais (Lei nº 9.605 de 12/02/98). Neste sentido, alguns órgãos ambientais estão exigindo o detalhamento da alternativa de disposição final no processo de

licenciamento das ETEs, o que representa um grande avanço na gestão ambiental do nosso país (ANDREOLI, 2001).

Segundo a NBR 10.004/1987, os resíduos gerados em estações de tratamento de esgotos domésticos não são caracterizados como patogênicos. Em 2004, a NBR 10.004 foi atualizada, porém manteve os resíduos gerados em ETEs como não sendo classificados segundo critérios de patogenicidade.

Em relação aos resíduos gerados em ETEs, os limites da normatização brasileira são referentes apenas à aplicação do lodo na agricultura e à qualidade do efluente final, não contemplando critérios e procedimentos seja para disposição final ou para o reaproveitamento da areia.

A Instrução Normativa Paranaense, que regula os indicadores ambientais e sanitários para reciclagem do lodo proveniente do tratamento de esgotos, admite um valor máximo de 0,25 ovos de helmintos por grama de massa seca, valor também adotado nos Estados Unidos e na Comunidade Européia (ANDREOLI *et al.*, 2003).

Em relação a areia gerada em estações de tratamento de esgoto, a legislação brasileira não determina parâmetros ou limites para a caracterização e a aplicação do resíduo, porém a Resolução Conama Nº 375, de 29 de agosto de 2006, define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.

Considerando que não há uma legislação referente à areia gerada em ETEs no Brasil, a normatização de areia utilizada na construção civil e areias de contato primário podem ser utilizadas para fins de análise do material deste estudo.

#### **3.3.4.1 – Areias de contato primário**

As areias de contato primário são aquelas utilizadas em recreação em praias, creches e parques, que podem se tornar veículo de transmissão de doenças quando

contaminadas por excretas de animais e a secreções do corpo com microorganismos patogênicos. A presença desses microorganismos nas areias têm sido responsável por um número significativo de doenças por contato direto, como por exemplo: micoses, verminoses, gastroenterites e outras doenças, que comprometem o bem estar, principalmente de crianças, que são os principais usuários de areia de contato primário (SILVA, 2005).

Um estudo epidemiológico realizado em São Paulo pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, em 5 praias da região de Santos, mostrou que somente o contato com a areia já constitui fator de risco para a manifestação de gastroenterites (SATO *et al*, 1999).

Devido a incidência de micoses e infecções bacterianas contraídas por crianças que freqüentam locais de recreação, tem surgido uma preocupação das autoridades públicas com a contaminação das areias (MAIER *et al*, 2003).

Em relação às areias de contato direto, a legislação brasileira não determina um limite de contaminação, mas a resolução CONAMA 274/2000 em seu Art.8º, recomenda aos órgãos ambientais a avaliação das condições parasitológicas e microbiológicas da areia, para futuras padronizações. Como não são disponíveis padrões ou valores limites estabelecidos pela legislação brasileira para areias, o que se tem usado atualmente são valores propostos por pesquisadores portugueses, Mendes *et al* (1993), no "Guideline for Microbiological Quality of Sands" (DEMONER, 2003), cujos valores são mostrados na tabela 3.3.



Tabela 3.3 - Concentração máxima de microorganismos proposta em areia seca de contato primário

Parâmetros	Valor Proposto pelo "Guideline for Microbiological Quality of Sand" (NMP/100g de areia seca)
Coliformes Totais	$10^6$
Coliformes Termotolerantes	$10^5$
Streptococos Fecais	$10^5$
<i>Candida sp</i>	$10^5$

Em março de 2005 a resolução CONAMA 274/2000 que dispõe sobre balneabilidade foi atualizada pela resolução CONAMA 357/2005, esta porém não faz nenhum acréscimo com relação à qualidade das areias de contato primário.

Considerando a lacuna existente na legislação Federal, notadamente nas Resoluções do CONAMA, sobre os padrões para classificação da qualidade das areias das praias e considerando que a Constituição Federal determina em seu artigo 30, inciso I, que compete aos Municípios legislar sobre assuntos de interesse local, a SMAC - Secretaria Municipal de Meio Ambiente, do Rio de Janeiro estabelece os limites máximos de colimetria para classificação da areia para recreações de contato primário, apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Limites máximos de colimetria para classificação da areia utilizada em recreações de contato primário no Rio de Janeiro

Classificação	Coliformes Totais (NMP/100g de areia seca)	Coliformes Fecais (NMP/100g de areia seca)
****	até $10^4$	até 10
***	$> 10^4$ a $2 \times 10^4$	$> 10$ a $2 \times 10^2$
**	$> 2 \times 10^4$ a $3 \times 10^4$	$> 2 \times 10^2$ a $4 \times 10^2$
*	acima de $3 \times 10^4$	acima de $4 \times 10^2$

Obs: Não serão recomendados contatos com areias que possuam classificação igual a \*

Fonte: Resolução SMAC nº 081 de 28/12/2000.

Ribeiro (2002), em monitoramento microbiológico realizado nas areias da Praia de Camburi – Vitória (E.S.), encontrou valores de contaminação de  $10^5$ NMP/100g areia seca para *E. coli*,  $10^5$  NMP/100g areia seca para coliformes totais e  $10^5$  NMP/100g areia seca de *Streptococcus* fecais e nos pontos de areia seca nenhuma das amostras ultrapassou o limite proposto por Mendes *et al* (1993), porém em relação ao recomendado pela Resolução SMAC nº 081, os valores encontrados por Ribeiro (2002) enquadram-se acima do limite.

Silva (2005), realizou estudo para avaliar a qualidade sanitária das areias de contato primário em escolas e logradouros públicos de Vitória – ES e constatou que os valores de coliformes totais observados situaram-se em torno de  $10^5$ NMP/100g areia seca e para *E. coli* o valor de contaminação mais alto situou-se em torno de  $10^4$ NMP/100g de areia seca estando abaixo do limite proposto pela legislação portuguesa.

Vaz *et al* (2005), em seu estudo sobre qualidade sanitária de areia proveniente de escolas públicas do município de Vitória – ES, concluiu que as amostras analisadas apresentaram um elevado nível de contaminação por Coliformes Totais e *Candida*, estando as areias dos parques das praças e escolas analisadas impróprias para utilização, segundo limite proposto por Mendes *et al* (1993).

#### **3.3.4.2 – Areia para construção civil**

A areia é um elemento fundamental em qualquer construção. É usada em várias partes, desde as fundações até as coberturas passando pela estrutura, vedações e acabamentos. Para cada finalidade deve ser escolhido um tipo, variando a granulometria e a pureza do material (CAMPOS, 2007) porém não há normatização e legislação quanto a patogenicidade em relação a areia utilizada na construção civil. As normas da ABNT estabelecem limites do teor máximo de matéria orgânica e de composição granulométrica, dentre outras propriedades.

Segundo a NBR NM 49/2001 – Determinação de impurezas orgânicas em agregado miúdo, o método colorimétrico indica a quantidade de matéria orgânica comparando a cor da solução obtida com a solução padrão limite (300 ppm). Se a cor for mais clara está abaixo do limite e se a cor for mais escura está acima do limite.

A composição granulométrica é determinada pela NBR 7217/1987, e a classificação do agregado é realizada conforme NBR 7211 /1983, que estabelece os limites granulométricos para agregado miúdo, conforme Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Limites granulométricos de agregado miúdo

Peneira ABNT	Porcentagem, em peso, retida acumulada na peneira ABNT, para a			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,76 mm	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,38 mm	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,18 mm	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3 mm	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15 mm	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

Fonte: NBR 7211/1983.

Segundo Campos (2007), na construção civil, a classificação granulométrica da areia (fina, média ou grossa), determina a sua finalidade. Em geral, o concreto utiliza areia grossa ou média e as argamassas utilizam areia média e fina.

### 3.4 – A problemática da areia na construção civil

Segundo Almeida & Lima (2005), estima-se que 90% da produção nacional de areia natural têm como origem os leitos dos rios. A exploração de areia natural proveniente dos leitos dos rios tem grande potencial de degradação ambiental, além de causar problemas sanitários à população local. Nas cavas, a retirada de areia natural, causam

gigantescas “poças” de água parada, criando então um ambiente ideal para proliferação de mosquitos que transmitem doenças, entre eles o *aedes aegypti* causador da dengue e da febre amarela. Por isso a exploração de areia natural tem sido uma prática cada vez mais coibida pelos órgãos ambientais responsáveis pela fiscalização do meio ambiente.

Os impactos decorrentes da exploração de areia, muitas vezes feita de forma desordenada, causam graves problemas ambientais, pois agridem as calhas naturais dos rios, levando a um aumento da vazão de água e acelerando o processo de erosão das margens. A erosão acaba retirando a cobertura vegetal dessas áreas e tornando o solo estéril, sem crescimento de vegetação e sem possibilidade de recomposição do ambiente explorado (BUEST, 2006).

Nos últimos anos, o esgotamento das jazidas de agregado miúdo natural nas proximidades dos grandes centros consumidores, o aumento dos custos de transporte, o acirramento da competição comercial entre os produtores de concreto e a conscientização da sociedade, que demanda leis de proteção ambiental, vieram a contribuir para um melhor entendimento sobre a importância dos agregados (SBRIGHI NETO, 1995).

Segundo Buest (2006), nos portos de areia em leito de rio e cava submersa, praticamente todo o material extraído é comercializado, e os resíduos (predominantemente silicosos e de granulação menor que 0,074 mm) retornam ao local em lavra, para preenchimento da cava.

Na construção civil, o principal uso da areia é como agregado para concreto, argamassa, filtros, abrasivos, bases de pavimentos de concreto e asfalto, dentre outros. O principal segmento consumidor de areia costuma ser dos pequenos construtores, que responde por cerca de 80 % do consumo total, ficando o dos empreiteiros em segundo lugar. O outro segmento que mais utiliza areia é o de pavimentação de ruas e rodovias (FRAZÃO, 2002).

A exaustão de áreas próximas aos grandes centros consumidores e a restrição desta atividade extrativa pelos órgãos de fiscalização ambiental conduz o mercado consumidor dos grandes centros urbanos a buscarem agregados (areia e britas) em lavras cada vez mais distantes. Como consequência disso, tem-se a elevação do custo final do produto (cerca de 70%) e degradação em outras áreas (BUEST, 2006).

### **3.5 – Microorganismos patogênicos presentes no resíduo de caixa de areia**

Não existem estudos específicos sobre microorganismos patogênicos presentes no resíduo de caixa de areia, porém podem-se associar as características microbiológicas do lodo e do esgoto que são bastante exploradas, e a qualidade microbiológica de areias de contato primário às características microbiológicas do resíduo de caixa de areia.

No esgoto são encontrados vírus, fungos, bactérias e parasitas (protozoários e helmintos), e, embora a grande maioria desses organismos seja inofensiva, alguns grupos de patógenos são considerados perigosos pelo risco que representam para a saúde humana e animal (ANDREOLI, 2001).

Em relação às areias de praia, os microorganismos a serem monitorados ainda não estão tão bem definidos e correlacionados com doenças como já estão os indicadores de qualidade sanitária das águas recreacionais, mostrando que mais pesquisas precisam ser realizadas para indicadores de qualidade das areias (RIBEIRO, 2002).

Segundo Demoner (2003), os mais prováveis indicadores da qualidade da areia de contato primário são: *E. coli*, coliformes totais, leveduras do gênero *Cândida*, helmintos e larvas migrans.

Segundo Andreoli (2001), estudos epidemiológicos têm mostrado que ovos de helmintos, cistos de protozoários e bactérias representam maiores riscos à saúde humana e animal, pois esses organismos apresentam ampla distribuição geográfica,

grandes tempo de sobrevivência, além da alta frequência de parasitismo na população.

Dentre os patogênicos, os helmintos despertam grande interesse e preocupação, pois o ambiente encontrado nos processos de tratamento de esgoto é propício ao embrionamento de seus ovos (Hays, 1977 *apud* Andreoli, 2001). Essa é a classe que apresenta maior resistência às condições do meio, portanto, uma vez realizado o controle desses patógenos, os demais estarão automaticamente em níveis admissíveis, compatíveis com o uso agrícola, não suscitando riscos ao ambiente e aos usuários do produto (CASSINI *coord.* 2003).

### **3.5.1 – Ovos de Helmintos**

Os helmintos patogênicos aos seres humanos pertencem a dois filios: Platyhelminthes (platelmintos – vermes achatados) e Aschelminthes (asquelmintos – vermes cilíndricos ou redondos). O filo Platyhelminthes inclui as classes Trematoda (trematóides) e Cestoda (cestóides) e o filo Aschelminthes inclui a classe Nematoda (nematóides).

Os nematóides apresentam um dos mais bem sucedidos planos de organização funcional desenvolvidos pela natureza. O número de espécies, variedade de meios em que vivem e o tamanho de suas populações são provas disso. O tamanho varia entre um milímetro a um metro de comprimento. A forma típica é fusiforme, alongada, não segmentada e com sistema de simetria bilateral (REY, 1972). A grande maioria é de vida livre e ocupam basicamente todos os habitats nos quais microorganismos multicelulares conseguem sobreviver: terra, água salgada e água doce (JAWETZ *et al*, 1991).

Ainda segundo Jawetz *et al* (1991), os padrões de infecção variam bastante. Os nematódeos intestinais humanos podem infectar o indivíduo através dos alimentos, da água e do solo. As parasitoses encontram-se portanto, entre os grandes problemas médico-sanitários dos países em desenvolvimento, exigindo consideráveis recursos financeiros, organização e pessoal habilitado para combatê-los, pois sua presença no

esgoto reflete o nível de infecção nas respectivas populações, sendo um dos determinantes de seu perfil sanitário (ANDREOLI *et al.*, 2003).

Na Tabela 3.6 são apresentadas as doenças helmínticas do sistema digestivo humano.

Tabela 3.6 – Doenças Helmínticas do Sistema Digestivo Humano

<b>Doença</b>	<b>Patógeno</b>	<b>Comentários</b>
Tênias	<i>Taenia saginata</i> (boi); <i>T. solium</i> (porco)	Os helmintos vivem do conteúdo intestinal não digerido. Geralmente são transmitidos pela ingestão de carne.
Hidatidose	<i>Echinococcus granulosus</i>	Larvas formam-se no corpo. Transmitida pela ingestão de ovos da tênia.
Verme Oxiúro	<i>Enterobius vermicularis</i>	Causa um prurido próximo ao ânus
Ancilóstomos	<i>Necator americanus</i> , <i>Ancylostoma duodenale</i>	As larvas entram pela pele. Grandes infestações podem resultar em anemia.
Ascaridíase	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Transmitida pela ingestão de ovos das fezes
Triquinose	<i>Trichinella spiralis</i>	As larvas se encistam no músculo estriado. Transmitida pela ingestão de larvas na carne

Fonte: TORTORA *et al.*, 2005

Alguns helmintos são endêmicos em vários países do mundo. Em 1989, cerca de 25% da população mundial estava infectada com ovos de *Ascaris*, destacando-se na contribuição desses números as populações dos países em desenvolvimento. Em estudo epidemiológico realizado no Brasil, no final dos anos 1980, em amostra de 2,5 milhões de pessoas, foi identificada a contaminação por *Ascaris lumbricoides* em

59,5% desse total, havendo entre Estados taxas de contaminação que variaram de 26,7% a 97,7% (ANDREOLI *et al*, 2003). Os dados disponíveis sobre o Brasil mostram taxas que oscilam entre 65% a 97% na Região Amazônica e em torno de 86% para todo o Nordeste (REY, 1972).

*Ascaris lumbricoides* é um nematóide de grande interesse por apresentar ovos de constituição particularmente resistente e capaz de sobreviver no solo por até sete anos, sendo uma das infecções helmínticas mais disseminadas (ANDREOLI & BONNET, 2000).

O ciclo de vida começa quando os ovos são disseminados nas fezes de uma pessoa e, em más condições de saneamento, são ingeridos por outra pessoa. No intestino superior, os ovos eclodem em pequenas larvas vermiformes que passam à corrente sanguínea e então aos pulmões. A seguir, migram para a garganta e são deglutidas. As larvas se desenvolvem em adultos que colocam ovos nos intestinos retornando ao início do ciclo (TORTORA *et al*, 2005).

Uma fêmea de *Ascaris* pode conter 27 milhões de ovos e eliminar em média 200 mil por dia (CHAGAS, 2000). A perda de umidade eventualmente destrói ovos de helmintos e cistos de protozoários, mas algumas formas e particularmente *Ascaris spp*, são notavelmente resistentes à dessecação. Processos de estabilização química são parcialmente eficientes na eliminação de ovos de helmintos (ANDREOLI & BONNET, 2000).

### **3.5.2 – Grupo Coliformes**

As bactérias do grupo coliforme, por estarem presentes, em grande número, no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, sendo eliminadas em grande número pelas fezes, constituem o indicador de contaminação fecal mais utilizado em todo mundo, sendo empregadas como parâmetro bacteriológico básico (NUVOLARI coord., 2003) pois, apesar de não serem patogênicas em sua maioria, indicam que o



ecossistema foi contaminado com esgoto e assim, outros patógenos podem estar presentes, causando transmissão de doenças à comunidade (UFPA, 2007).

As bactérias do grupo coliforme são caracterizadas como bacilos Gram-negativos não-esporulados, facultativos, que fermentam a lactose com produção de ácido e gás em um período de 48h a 35°C (PELCZAR *et al*, 1996). As enterobactérias incluídas no grupo coliforme são *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter* e vários gêneros previamente classificados como microorganismo paracoli: *Serratia*, *Edwardsiella* e *Citrobacter* (DAVIS *et al*, 1979).

As enterobactérias são bastonetes curtos que podem formar cadeias. A morfologia típica é encontrada no crescimento *in vitro* em meios sólidos, mas a morfologia é extremamente variável em amostras clínicas (JAWETZ, 1991).

Na Figura 3.3 é mostrado um diagrama representativo dos agrupamentos do grupo coliforme.

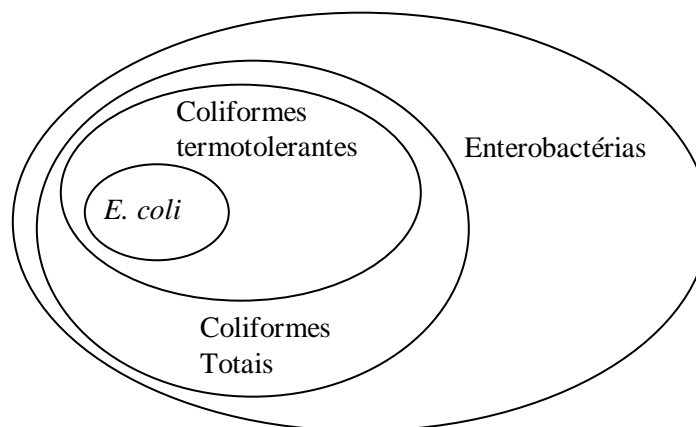


Figura 3.3 - Diagrama representativo do grupo coliforme

Fonte: SILVA, 2005.

Os coliformes podem ser encontrados amplamente na natureza. Com relação ao homem, estes patógenos estão entre os principais agentes de infecção hospitalar e, sem dúvida, constituem a principal causa de infecção intestinal em muitos países. As suas relações com os animais também interessam muito ao homem não só porque

causam perdas econômicas, mas também porque os animais representam um vasto reservatório de patógenos humanos (TRABULSI *et al*, 2002).

As infecções causadas podem ser intestinais ou extra-intestinais, as últimas podem ser localizadas ou sistêmicas. As infecções localizadas mais freqüentes são as das vias urinárias, dos pulmões, do sistema nervoso central, da pele e do tecido celular subcutâneo (feridas). As bacteremias também são bastante freqüentes e podem ocorrer em consequência da translocação para a corrente sanguínea de enterobactérias presentes nos intestinos (TRABULSI *et al*, 2005).

Segundo Pelczar *et al* (1996), a presença de coliformes na água é evidência que ela está poluída com material fecal de origem humana ou de outros animais de sangue quente. Este tipo de poluição indica que qualquer microorganismo patogênico que ocorre no trato intestinal desses animais podem também estar presentes na água.

### **3.5.2.1 – *Escherichia coli***

O gênero *Escherichia* compreende as espécies *Escherichia coli*, *Escherichia blattae*, *Escherichia fergusonii*, *Escherichia hermannii* e *Escherichia vulneris*. Entretanto, a única espécie de maior importância prática é a *Escherichia coli* (TRABULSI, 2002).

A *Escherichia coli*, como a maioria das enterobactérias formam colônias lisas, convexas, circulares e com bordas bem definidas (JAWETZ, 1991).

A espécie bacteriana *Escherichia coli* é membro da flora intestinal normal do homem, sendo uma espécie facultativa predominante no intestino grosso (DAVIS *et al*, 1979). Sua presença na água e nos alimentos é um indicador de contaminação fecal. A *E. coli* não é normalmente patogênica. Entretanto, pode ser uma causa de infecções do trato urinário, e certas linhagens produzem enterotoxinas que causam a diarreia do viajante e ocasionalmente causam várias doenças graves de origem alimentar (TORTORA *et al*, 2005).

A *Escherichia coli* é abundante em fezes humanas e de animais de sangue quente, tendo somente sido encontrada em esgotos, efluentes, águas naturais e solos que tenham recebido contaminação fecal recente (CONAMA nº 274/2000).

Com o objetivo de atenuar ou eliminar o odor e a presença dos patógenos descritos acima, busca-se empregar processos de higienização, que devem ser econômicos, seguros e de fácil aplicação prática, como a cloração e a calagem.

### **3.6 – Métodos de detecção de bactérias do grupo coliforme**

Os métodos convencionais para determinação de coliformes fecais em amostras de água são baseados na temperatura elevada ( $44,5 \pm 0,2$  °C), seja pela técnica de fermentação de tubos ou da filtração em membrana (CERQUEIRA *et al*, 1998), porém atualmente vem sendo questionados por serem baseados apenas em temperatura como critério de definição e quantificação em uma amostra (KELLER, 2000).

Ainda segundo Keller (2000), as pesquisas sobre a prevalência de bactérias, protozoários, fungos e helmintos têm sido focalizadas principalmente para o uso de técnicas de detecção rápida que utilizam substratos cromogênicos, amplificação do material genético e sondas moleculares para a detecção de organismos indicadores tradicionais e outros organismos emergentes.

De acordo com APHA (1995), as técnicas utilizadas para detecção de bactérias do grupo coliformes em amostras de água e esgoto são: tubos múltiplos, membrana filtrante e substrato cromo-fluorogênico.

#### **3.6.1 – Tubos Múltiplos**

Segundo Bettega *et al* (2006), a técnica de tubos múltiplos é empregada como padrão no controle microbiológico de água para consumo humano, por ser amplamente preconizada pela vigilância sanitária e outros órgãos regulamentadores.

Esta técnica é baseada no princípio de que as bactérias presentes em uma amostra podem ser separadas por agitação, resultando em uma suspensão de células bacterianas, uniformemente distribuídas na amostra. A determinação do NMP (número mais provável) de coliformes é feita através de diluições decimais consecutivas na qual volumes decrescentes da amostra são inoculados em meio de cultura adequado, sendo que cada volume é inoculado em série de 5 ou 3 tubos. Através do decréscimo dos volumes inoculados obtém-se uma determinada diluição em que todos os tubos, ou a maioria, fornecem resultados negativos. A combinação dos resultados positivos e negativos permite a obtenção de uma estimativa da densidade das bactérias, através da aplicação de cálculos de probabilidade (UFPA, 2007).

Esta técnica, além de apresentar sensibilidade e especificidade inferiores (maior ocorrência de falso-positivos e negativos), são bem mais trabalhosas: requerem duas temperaturas de incubação ( $35,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  para CT e  $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  para coliformes termotolerantes) e sucessivas repicagens, podendo totalizar 72 h para leitura conclusiva (APHA, 1995).

Muitos outros fatores podem afetar significativamente a detecção por tubos múltiplos, especialmente durante a fase presuntiva. Esta técnica carece precisamente de termos qualitativos e quantitativos. O tempo requerido para obtenção de resultados é alto quando comparado com a técnica de membrana filtrante. A técnica de tubos múltiplos é um utensílio fácil e pode ser realizado por um técnico com treinamento básico de microbiologia, mas o método pode tornar-se muito maçante quando muitas diluições devem ser processadas para cada amostra (ROMPRÉ, 2002 *apud* SILVA, 2005).

### **3.6.2 – Membrana filtrante**

O método da membrana filtrante é adequado apenas para amostras líquidas (CHAGAS, 2000).

Este método consiste na filtração de uma amostra de água por uma membrana estéril com 0,45µm de porosidade que retêm bactérias, incubando este filtrado sob um meio seletivo e enumerando colônias típicas sob o filtrado (ROMPRÉ, 2002 *apud* SILVA, 2005).

Para bactérias coliformes, o filtrado é incubado à 35°C durante 18-24h. O sucesso da metodologia depende da utilização efetiva de um meio seletivo que pode facilitar a identificação de colônias bacterianas crescendo sobre a superfície da membrana (MAIER *et al*, 2000).

Em relação as outras técnicas, comparações estatísticas obtidas entre os resultados da técnica de tubos múltiplos e de membrana filtrante mostraram que esta é mais precisa (APHA, 1995) e em relação ao sistema cromogênico, estudo realizado por Cerqueira *et al* (1998) conclui que a técnica de detecção de *E.coli* pelo sistema cromogênico apresenta sensibilidade similar ou superior ao teste convencional de detecção de coliformes termotolerantes sendo adequadas para amostras ambientais além de ser mais simples e agilizar a execução das análises.

Em seu trabalho, Vianna (2000) descreve a implementação do controle microbiológico preconizado pela Portaria 36/90, do Ministério da Saúde, exercido em 1991 pela COPASA MG em todos os sistemas operados pela companhia. A metodologia para detecção de coliformes utilizada até então era a técnica das membranas filtrantes, porém foram realizados testes utilizando águas de diversas procedências, sempre com o objetivo de verificar se os resultados entre o método convencional e o método do substrato cromogênico eram semelhantes. O uso do método do substrato cromogênico obteve sucesso e apresentou as seguintes vantagens:

- Estaria eliminado o vaivém de frascos esterelizados pelas estradas, sujeitos a extravios, perdas materiais e contaminações no transporte, além da perda de validade das amostras devido a demoras excessivas em se trazerem essas amostras ao laboratório

- Por suas características de mudança de cor, em caso de contaminação, o novo método de controle ofereceria uma transparência notável ao processo de controle

### 3.6.3 – Substrato Cromo-fluorogênico

A metodologia empregada na técnica do substrato cromogênico é baseada na presença/ausência de enzimas específicas do metabolismo de bactérias dos grupos coliformes e coliforme fecal, apresentando maior clareza na visualização dos resultados e levando metade do tempo para obtenção dos mesmos porém apresenta um custo mais elevado, o que é compensado, uma vez que os meios já vêm estéreis, o que elimina o uso da autoclave (BETTEGA *et al*, 2006).

Segundo SILVA (2005 *apud* CERQUEIRA *et al.*, 1999; APHA, 1995; BASTOS, 2000), os métodos cromo-fluorogênicos são reconhecidamente superiores em sensibilidade e especificidade na detecção de coliformes totais e *E. coli* por serem baseados na hidrólise de substratos definidos por enzimas específicas das espécies. Adicionalmente, apresentam as grandes vantagens de dispensarem o emprego de temperatura elevada ( $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ) e fornecer leitura em 24h, tanto para coliformes totais quanto para *E. coli*.

Na Tabela 3.7 são apresentadas as vantagens e desvantagens dos métodos de detecção de bactérias do grupo coliforme.

Tabela 3.7 - Vantagens e desvantagens dos métodos de detecção de bactérias do grupo coliforme

<b>Metodologia</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Tubos Múltiplos (NMP)	Baixo custo	Tempo de detecção (48h) Baixa precisão
Membrana Filtrante	Alta precisão Tempo de detecção	Alto custo Não aplicável a amostras turvas
Substrato Cromogênico	Menor tempo de detecção (16 a 24h) Alta precisão	Elevado custo (123% maior)

Fonte: RIBEIRO (2002)

Os estudos realizados por RIBEIRO (2002), VAZ (2005) e SILVA (2005), com areias de contato primário, utilizaram o método do substrato cromo-fluorogênicos para detecção de coliformes totais e *E. coli*, tendo sido adotados os mesmos procedimentos para análise laboratoriais.

### 3.7 – Higienização

A higienização refere-se à destruição seletiva de organismos causadores de doenças, sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos. A higienização é usualmente conseguida através do uso dos seguintes agentes e meios: agentes químicos; agentes físicos; meios mecânicos; radiação (CHERNICHARO, 2001).

Os agentes e meios devem destruir os organismos patogênicos, e não devem ser tóxicos aos seres humanos e animais domésticos e também não devem causar odor ou sabor nas águas. Além disso, devem ser disponíveis a baixo custo e oferecer condições seguras de transporte, aplicação, manuseio e armazenamento (BORGES & GUIMARÃES, 2000).

Segundo Nuvolari (2003), os três mecanismos primários de inativação de patogênicos são:

- Destruição ou danificação estrutural da organização celular, pelo ataque aos principais componentes das células, tais como paredes ou função semipermeáveis das membranas;
- Interferência com o balanço energético do metabolismo através de substratos enzimáticos em combinação com grupos de enzimas prostéticas, deste modo produzindo enzimas não funcionais;
- Interferência com a biossíntese e crescimento, impedindo a síntese normal de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, ou a parede das células.

Os principais processos de higienização do lodo de esgoto são: a compostagem, que elimina os agentes patogênicos pelo efeito da temperatura e tempo de exposição; a caleagem, que associa a ação de altos níveis de pH ao calor gerado pelas reações químicas de hidratação da cal (óxido de cálcio); a secagem, que reduz patógenos pela exposição aos raios solares ou ao calor; o uso de radiação gama; e a pasteurização (ANDREOLI *et al.*, 2003).

Na prática não há um desinfetante ideal e que atenda a todos os requisitos independentes da situação de uso. Cada agente desinfetante apresenta vantagens e desvantagens em função de condições específicas de sua utilização, e depende, para otimização de seus resultados, tanto da qualidade da água a ser desinfetada (características físicas, químicas e grau de contaminação microbiológica), como das condições de projeto, operação e manutenção das unidades. Dessa forma, a seleção da tecnologia apropriada a cada realidade deve levar em conta esses aspectos e outros fatores que influenciam na confiabilidade, continuidade e eficiência do sistema (MONTEIRO *et al.*, 1999).

A necessidade da higienização dos resíduos oriundos de ETEs está ligada principalmente à redução dos microrganismos patogênicos contido no esgoto, redução



na produção de odores, visando a proteção da saúde do operador que lida com o resíduo diariamente e a reciclagem destes resíduos para utilização na agricultura e/ou na construção civil.

Dentre os processos de higienização atualmente utilizados no tratamento de águas, esgoto e lodo são descritos a seguir a cloração, a caleagem e a insolação natural.

### **3.7.1 – Cloração**

Segundo Pessôa (1982), a cloração é uma forma de higienização, onde o cloro, ou o agente desinfetante, penetra nas células dos microorganismos e reage com suas enzimas, destruindo-as.

A cloração (com cloro gasoso ou com hipoclorito de sódio) é o método mais utilizado na higienização de águas para fins de abastecimento público no Brasil. A prática da cloração em águas de abastecimento foi introduzida no início do século XX e vem trazendo controvérsia desde o início de sua implantação, principalmente devido aos problemas relacionados a odor e sabor, porém, é notório o benefício que este procedimento trouxe à saúde pública (BORGES & GUIMARÃES, 2000).

O reconhecimento formal da aplicabilidade do cloro para a higienização de esgotos ocorreu pela primeira vez na Inglaterra, em 1854, embora a cloração naquele país só tenha ocorrido, de fato, a partir de 1884. A utilização crescente do cloro ocorreu na primeira década do séc. 20, quando foram iniciadas investigações mais sistemáticas sobre a eficiência deste elemento (CHERNICHARO, 2001).

A cloração também pode ser praticada com outros fins, como:

- Controle de odor;
- Reduzir a carga orgânica inicial numa estação de tratamento de esgoto;
- Facilitar a remoção da espuma em decantadores;
- Aumentar a eficiência da decantação;

- Reduzir a carga orgânica de um efluente lançado *in natura* num corpo receptor, ou o número de organismos;
- Reduzir o comprimento de emissários subaquáticos de esgoto;
- Elemento auxiliar ou corretivo nos processos de filtração biológica e/ou de lodos ativados;
- Elemento auxiliar ou de controle no tratamento e disposição do lodo.

### **3.7.1.1 - Concentração de cloro**

Segundo Gonçalves (2003), o cloro é o produto mais utilizado em todo mundo para desinfecção de águas e esgotos.

Segundo Chernicharo (2001), na desinfecção de esgotos com compostos de cloro, a concentração do desinfetante se altera com o tempo e, particularmente durante os momentos iniciais da aplicação do cloro, este passa por transformações rápidas, desde a forma livre até as formas combinadas. Dessa forma torna-se mais importante a determinação da concentração de cloro residual do que a de cloro aplicado. Outros aspectos relevantes e que interferem no processo de desinfecção são:

- Presença de sólidos no efluente, uma vez que estes podem proteger os microorganismos da ação do desinfetante;
- pH do efluente, já que a inativação de microorganismos aumenta com o decréscimo de pH, tanto para residuais de cloro livre como de cloro combinado;
- Temperatura, uma vez que o aumento desta também aumenta a taxa de inativação dos microorganismos.

O cloro tem se mostrado eficiente no controle de organismos patogênicos de veiculação hídrica no esgoto doméstico, dependendo do estado do esgoto a ser clorado. Na Tabela 3.8 são apresentadas as dosagens utilizadas para cada tipo de esgoto doméstico.

Tabela 3.8 – Tipo de esgoto e dosagem de cloro

<b>Tipo de esgoto doméstico</b>	<b>Dosagem (ppm)</b>
Esgoto bruto	6 a 12
Esgoto bruto séptico	12 a 25
Efluente decantado	5 a 10
Efluente de precipitação química	3 a 10
Efluente de filtração biológica	3 a 10
Efluentes do processo de lodos ativados	2 a 8
Efluentes de filtros após tratamento secundário	1 a 5

Fonte: PESSÔA, 1982.

### **3.7.1.2 – Principais compostos de cloro utilizados na cloração**

Para desinfecção de esgotos, o cloro pode ser encontrado comercialmente nas formas gasosa ( $\text{Cl}_2$ ), líquida (hipoclorito de sódio) e sólida (hipoclorito de cálcio).

Comercialmente, o hipoclorito de cálcio é encontrado na forma sólida, em diversas marcas, sendo relativamente estável na forma seca, já o hipoclorito de sódio é encontrado na forma líquida (solução), em concentrações que usualmente variam de 1% a 16%. A quantidade relativa de cloro presente nessas fontes alternativas de cloro é expressa em termos de “cloro disponível” (CHERNICHARO, 2001).

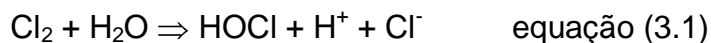
O hipoclorito de sódio ( $\text{NaOCl}$ ) é o produto mais adequado para cloração em sistemas simples e de pequeno porte, em virtude da facilidade de aplicação em pequenas vazões operacionais, de baixo risco de manuseio e armazenamento e do baixo custo (GONÇALVES, 2003).

### **3.7.1.3 – Mecanismo de ação da cloração**

A ação desinfetante do cloro deve-se principalmente ao mecanismo de oxidação do material celular. Entretanto, trabalhos científicos relatam inibição enzimática e danificação do material genético como outros mecanismos da higienização com cloro (GONÇALVES, 2003).

Quando o cloro gasoso, ou uma das formas de hipoclorito, é adicionado a uma água contendo quantidades desprezíveis de nitrogênio, matéria orgânica e outras substâncias que demandam cloro, estabelece-se, rapidamente, um equilíbrio entre as várias espécies químicas em solução. O termo “cloro livre disponível” é utilizado para se referir à concentração total de cloro como HOCl (ácido hipocloroso) e íons de hipoclorito (OCl<sup>-</sup>).

Formação de cloro livre



O cloro e seus derivados apresentam alto poder oxidante e reagem com a matéria orgânica presente no esgoto, formando o “cloro combinado disponível”. De modo simplificado, o cloro reage com a amônia para produzir uma série de compostos chamados cloroaminas. A monocloroamina (NH<sub>2</sub>Cl) e a dicloroamina (NHCl<sub>2</sub>), têm poder desinfetante.

Formação das cloroaminas:



#### **3.7.1.4 – Desvantagens da cloração**

Um inconveniente da desinfecção com cloro e seus compostos é a produção de subprodutos prejudiciais à saúde humana. As duas maiores classes de subprodutos oriundos da cloração são os trihalometanos e os ácidos haloacéticos, ambos com potencial carcinogênico reconhecido. Dentre os fatores que interferem na produção desses subprodutos estão o pH, a temperatura, a concentração do desinfetante, o brometo, o nitrato e a concentração de nitrogênio amoniacal e de carbono orgânico (GONÇALVES, 2003).

Durante a desinfecção com cloro livre, o cloro molecular em meio aquoso forma o ácido hipocloroso, HOCl. Uma parte deste ácido se dissocia para formar o ânion hipoclorito (OCl<sup>-</sup>) e o íon hidrogênio (H<sup>+</sup>). Portanto a extensão desta reação depende do pH do meio. Se o ânion brometo estiver presente durante o processo de desinfecção, ele é oxidado a ácido hipobromoso (HBrO). Os ácidos hipocloroso e hipobromoso reagem com material orgânico de ocorrência natural (MON) em água para formar subprodutos dentre os quais os trihalometanos (THMs). As quatro principais espécies de trihalometanos que são formadas são: clorofórmio (CHCl<sub>3</sub>), bromodiclorometano (CHBrCl<sub>2</sub>), dibromoclorometano (CHBr<sub>2</sub>Cl) e o tribromometano (CHBr<sub>3</sub>). A soma da concentração destes compostos é denominada TTHM – trihalometanos totais (BORGES & GUIMARÃES, 2000).

Ainda segundo Borges & Guimarães (2000), uma variedade de compostos orgânicos encontrados em águas naturais contribuem para a formação dos trihalometanos. Os principais grupos de precursores são os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos derivados de solos e da decomposição de material vegetal.

#### **3.7.1.5 – Pesquisas utilizando a cloração para higienização**

As pesquisas do PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, que utilizaram o hipoclorito de sódio comercial como agente desinfetante até o ano de 2001 foram empregadas em efluentes brutos (UFRGS), efluentes sanitários (PUCPR),

efluentes de lagoas facultativas (USP/FSP), e efluentes de filtros anaeróbios (UFRN) em dosagens que variaram entre 4 a 9 mg/L (GONÇALVES, 2003).

### **3.7.2 – Caleagem**

Desde o final do século passado sabe-se que a adição de produtos alcalinos tem efeito estabilizante no lodo de esgoto. Segundo Andreoli (2001), a caleagem consiste na adição e mistura de cal, até atingir pH 12 ou superior.

A cal, por ser um produto alcalino forte e normalmente de preço reduzido, é utilizada em diversas atividades relacionadas com a preservação das condições sanitárias e da higiene nas grandes e pequenas comunidades (CHAGAS, 2000).

Ainda segundo Andreoli (2001), a caleagem é um método muito utilizado na higienização e estabilização do lodo sendo utilizadas proporções que variam de 30% a 50% do peso seco do lodo, em geral com vistas para o uso agrícola, sendo uma prática cada vez mais comum.

O processo de caleagem, quando adequadamente operado, deve ser capaz de:

- Eliminar ou destruir microorganismos patogênicos;
- Reduzir odores;
- Melhorar as características de desaguamento do lodo;
- Reduzir valores de nitrogênio, resultante da remoção de amônia;
- Aumentar a alcalinidade total;
- Elevar a temperatura da mistura;
- Degradar parte da matéria orgânica;
- Fixar metais pesados.

### 3.7.2.1 – Tipos de cal utilizados na caleagem

Existem dois tipos de cal que podem ser utilizadas no processo de caleagem: a cal virgem e a cal hidratada. Segundo Andreoli (2001), a cal é um dos produtos alcalinos mais baratos e mais utilizados no saneamento.

A cal virgem, CaO ou óxido de cálcio, é resultante do aquecimento do carbonato de cálcio (calcinação), sendo mais utilizada a granel e para grandes quantidades.

A cal hidratada, Ca(OH)<sub>2</sub>, é originada da reação do óxido de cálcio com água, sendo vendida em embalagens de até 20 Kg e manipulada com maior facilidade. No preparo da cal hidratada, as pedras de cal virgem são moídas, misturadas com água e deixadas a hidratação (CAMPOS,2007).

As reações de formação de cal virgem (equação 3.6) e cal hidratada (equação 3.7) podem assim serem representadas:



### 3.7.2.2 – O uso da cal hidratada na construção civil

Na construção civil, o uso da cal hidratada mais comum é na produção de argamassas, que é uma mistura de areia, cimento e cal hidratada. As proporções destes elementos variam de acordo com a finalidade da argamassa.

As argamassas à base de cal hidratada têm resistência suficiente quanto à compressão e aderência e por ser um produto alcalino, impede a oxidação das ferragens e, também por essa característica, atua como bactericida e fungicida. A cal hidratada oferece vantagens em termos de poder aglomerante e plasticidade em relação a cal virgem. Ao ser misturada com a água, suas partículas muito finas funcionam como um tipo de lubrificante reduzindo o atrito entre os grãos de areia. A

cal hidratada tem enorme capacidade de reter água em torno de suas partículas (CAMPOS, 2007).

### 3.7.2.3 – Mecanismo de ação da caleagem

A cal virgem, quando entra em contato com a água, resulta em uma reação exotérmica, ou seja, que libera calor. Assim, a temperatura eleva-se até a mistura estabilizar. Este efeito depende da quantidade e da proporção de cal utilizada. Essencialmente, o pH é aumentado, porém, características químicas e físicas do lodo também são alteradas por reações como hidrólises, saponificações e neutralização de ácidos. Algumas dessas alterações são (ANDREOLI, 2001):

- Redução de sólidos voláteis (10% a 35%), devido a perda de orgânicos voláteis para a atmosfera;
- Aumento de sólidos totais, resultantes da adição de sólidos da cal e da precipitação de sólidos dissolvidos;
- Redução nos níveis de fósforo solúvel devido à reação com ortofosfato para formar precipitado de fosfato de cálcio.

Além do pH acima de 12, outro fator importante é o tempo de contato, pois o efeito higienizante da cal não é imediato. O período de contato tem reflexos sobre o dimensionamento das instalações, pois após a mistura o material deve ser estocado (FERNANDES, 2000).

As propriedades do hidróxido de cálcio (cal hidratada) derivam de sua dissociação iônica em íons cálcio e íons hidroxila, sendo que a ação destes íons sobre as bactérias explicam as propriedades biológicas e microbianas desta substância (ESTRELA & PÉCORRA, 2007). A reação de dissociação do hidróxido de cálcio é representada na equação 3.8.





Quando a cal é adicionada, os microrganismos envolvidos na decomposição do lodo e os patógenos são severamente inibidos, inativados ou destruídos, pelos altos níveis de pH (CHAGAS, 2000).

Segundo Estrela & Pécora (2007), a partir do conhecimento das características da citologia bacteriana e da dinâmica química do hidróxido de cálcio, pode-se discutir o mecanismo de ação da cal hidratada sobre as bactérias. O efeito do pH reflete no crescimento bacteriano, uma vez que influencia na atividade enzimática e no metabolismo celular. Existem poucas espécies que, em pH menor que 2 ou maior que 10, podem crescer. A maioria das bactérias patogênicas cresce melhor em meio neutro.

Segundo Kodukula *et al* (1988), em condições de pH elevado a atividade enzimática das bactérias é inibida. Aliado a este fato, cada enzima possui um pH ótimo para sua ação, segundo o qual reage com uma velocidade máxima. O pH interno das bactérias é diferente do pH externo, sendo que, internamente, seu valor oscila em torno da neutralidade. Acrescido a este fato, a diferença de pH interior e exterior da célula pode determinar o mecanismos através do qual a atividade celular é influenciada pela concentração de íons hidrogênio.

Considera-se, todavia, a existência de um gradiente de pH através da membrana citoplasmática, que é responsável por produzir energia para o transporte de nutrientes e componentes orgânicos para o interior da célula. Este gradiente pode ser afetado pela mudança no pH do meio, influenciando o transporte químico através da membrana (ESTRELA & PÉCOR, 1997).

ESTRELA *et al.* (1994) estudaram o efeito biológico do pH na atividade enzimática de bactérias anaeróbias. Como a localização dos sítios enzimáticos é na membrana citoplasmática, e por esta ser responsável por funções essenciais, como o metabolismo, crescimento e divisão celular, e participar dos últimos estágios da formação da parede celular, biossíntese de lipídios, transporte de elétrons, como

enzimas envolvidas no processo de fosforilação oxidativa, os autores acreditam que os íons hidroxila do hidróxido de cálcio desenvolvem seu mecanismo de ação a nível da membrana citoplasmática.

O efeito do elevado pH do hidróxido de cálcio, influenciado pela liberação de íons hidroxila, é capaz de alterar a integridade da membrana citoplasmática através de injúrias químicas aos componentes orgânicos e transporte de nutrientes, ou por meio da destruição de fosfolipídios ou ácidos graxos insaturados da membrana citoplasmática, observado pelo processo de peroxidação lipídica, sendo esta na realidade, uma reação de saponificação (ESTRELA *et al.*, 1995).

#### **3.7.2.4 – Desvantagens da caleagem**

A caleagem é um método com grande potencial de consolidação no processo de higienização e condicionamento do lodo para uso agrícola, embora existam os aspectos negativos de perda de nitrogênio e imobilização do fósforo durante a mistura da cal, bem como a limitação de seu uso em solos pouco ácidos, porém a principal desvantagem em relação a outros métodos de higienização é a agregação de volume (ANDREOLI, 2001).

#### **3.7.2.5 – Pesquisas utilizando a Caleagem para higienização**

O PROSAB, em pesquisas sobre a eficiência da caleagem como método de higienização de lodo, testou doses de 30%, 40% e 50% de cal hidratada em relação ao peso seco de lodo e pode ser constatado que a higienização com cal é bastante eficiente na eliminação de patógenos e indicadores (ANDREOLI, 2001).

A fim de verificar qual seria o melhor processo de eliminação de coliformes fecais e ovos de helmintos no lodo descartado de um reator UASB, PASSAMANI (2001) realizou um estudo utilizando a caleagem como processo químico e a pasteurização como processo térmico. A autora concluiu que, na higienização com cal hidratada, é

necessária a utilização de dosagens elevadas (acima de 50% para prevenir o recrescimento de coliformes fecais. Com relação aos ovos de helmintos, o estudo mostrou que 24 horas de contato com cal hidratada ou virgem são suficientes para inviabilizar 100% desses organismos.

FERNANDES *et al* (1996), em estudo sobre a eficiência dos processos de higienização do lodo aeróbio da ETE Belém, em Curitiba - PR, com vista a seu uso agrícola, através da caleagem do lodo nas proporções 30% e 50% em relação ao peso seco, obteve os melhores percentuais de redução na proporção 50%. Houve redução de 99,9% para coliformes totais, 100% para coliformes fecais e 77% para ovos de helmintos.

Segundo Andreoli *et al* (2003), os agentes patogênicos constituem importante elemento limitante ao uso do lodo na agricultura, porém, isso é facilmente controlado por meio da adoção de técnicas de higienização, imprescindíveis na redução do perfil poluidor do lodo de esgoto. Essas técnicas minimizam os riscos de poluição ambiental e efeitos nocivos à saúde humana e animal, inserindo o lodo nos padrões normativos para disposição final adequada.

CHAGAS (2000), realizou estudo de higienização de lodo digerido bruto das ETEs da Ilha do Governador e da Penha no Estado do Rio de Janeiro através da caleagem incorporando ao lodo dose de 50% de seu peso seco. Os resultados indicaram redução de 100% de *coliformes totais*, *coliformes fecais* e *salmonelas* nas amostras analisadas, portanto o lodo higienizado com cal utilizados nos experimentos poderia ser aplicado em solos agrícolas, respeitando os critérios para a escolha de áreas aptas a receberem o mesmo e monitoramento constante destes parâmetros.

MADER NETTO *et al* (2003), realizou um estudo das variações do pH no lodo caleado em função de diferentes dosagens de óxido de cálcio e teores de umidade, e, concluiu que a caleagem pode promover um aumento significativo do pH mesmo com teores de umidade bastante reduzidos

### 3.7.3 – Insolação Natural

Uma vez que o sol é uma fonte natural, universalmente disponível e gratuita, tanto de calor como de radiação UV, é de se imaginar que essa fonte pode ser a base de um sistema de desinfecção efetivo e de baixo custo.

A radiação solar atinge a superfície terrestre de duas formas, ou seja, radiação direta e difusa. O acúmulo desses dois componentes denomina-se radiação solar global. A quantidade e intensidade da radiação difusa dependem, basicamente, da latitude, altitude, declinação solar e da quantidade de nuvens (MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; B., M., 2003).

A radiação é um agente físico de desinfecção, isto é, não deixa residual no efluente, ao contrário da cloração que forma subprodutos indesejáveis com propriedades cancerígenas (PIRES, M.R.; PATERNIANI, J. E. S., 2000).

O processo de higienização pela energia solar tem dois componentes principais, sendo, a luz ultravioleta (UV), que altera o DNA das células, tornando o organismo incapaz de se reproduzir, dessa forma, o organismo é inativado com relação a sua capacidade de proliferação e transmissão da doença (BRYANT *et al*, 1992 *apud* MONTEIRO *et al*, 1999) e induz a transformação do oxigênio dissolvido ( $O_2$ ) na água em ozônio ( $O_3$ ), e, a radiação infra-vermelha que aquece a água (AMARAL *et al*, 2006).

A radiação natural de ultravioleta ocorre na luz solar além do espectro visível. Entretanto, pequenas frações de radiação ultravioleta artificial podem ser emitidas por lâmpada comuns, lâmpadas de halogênio, lâmpadas com alta eficiência, telas de computadores, entre outras (SANT´ANA, 2001).

Segundo Monteiro et al (1999), os estudos relativos à desinfecção solar tiveram seu início no final da década de 70, entretanto, só vieram a tomar corpo a partir de 1985. Os estudos iniciais foram financiados por organizações internacionais como a UNICEF e a *Integrated Rural Energy Sistem Association* (INRESA), da Universidade das Nações Unidas. Os avanços mais significativos surgiram a partir dos estudos realizados pelo Instituto Federal Suíço para Ciências Ambientais e Tecnologia (EAWAG) em colaboração com instituições de pesquisas da Colômbia, Costa Rica, Jordânia e Tailândia.

Diversos estudos têm sido realizados com objetivo de determinar o efeito da luz solar sobre diferentes organismos indicadores de contaminação e organismos patogênicos transmissores de doenças pela água.

Brandão et al (2000), realizou um estudo que consistiu na exposição à radiação solar, em tempos determinados, de volumes de 3 a 6 litros de amostras de água com características específicas. A higienização solar mostrou ser capaz de promover a completa inativação de quantidades significativas de *E. coli* ( $10^5$  NMP/100ml) e coliformes totais ( $10^3$  NMP/100ml) em recipientes com 5cm de lâmina de água em tempos de exposição ao sol da ordem de 3 horas, mesmo quando o dia apresentava-se parcialmente nublado.

Amaral et al (2006), realizaram estudo com objetivo de verificar a eficácia da utilização da radiação solar na higienização de água de poços rasos contaminadas naturalmente por microorganismos indicadores utilizando garrafas PET transparentes. Os resultados obtidos evidenciaram que a radiação solar foi eficaz na higienização da água com reduções, após 12 horas de exposição, de 99,9% e 100%, nos números de coliformes totais e *E.coli*, respectivamente.

Fleury, et al (2005), também avaliou a higienização de água de abastecimento em garrafas PET expostas a radiação solar durante certas horas do dia e a maioria dos

testes realizados demonstrou a eficiência da radiação solar combinada com a temperatura na destruição ou inativação de agentes patogênicos.

Monteiro *et al* (1999), em ensaios realizados de exposição solar controlada em água de abastecimento público, em testes de batelada, obteve resultados que indicam ótimas condições de rendimento para o caso do Distrito Federal, confirmando os dados e conclusões obtidas em outros estudos. E ainda ressalta que, de um modo geral, a presença de turbidez afeta negativamente a higienização, uma vez que os microorganismos podem proteger-se da ação dos desinfetantes ocluindo-se nas partículas em suspensão.

# Capítulo 4

## *Materiais e Métodos*

---

## ***Capítulo 4***

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo consistiu na avaliação da eficiência da higienização do resíduo de caixa de areia de ETE e foi desenvolvido no Pátio de Resíduos do Laboratório de Estudos em Resíduos Sólidos (LABERSOI) da Universidade Federal do Espírito Santo localizado no campus Universitário de Goiabeiras – Vitória (ES).

Ao longo deste capítulo serão descritos os procedimentos adotados para a realização deste trabalho. O plano experimental compreendeu a realização de duas etapas, no período de março a dezembro de 2006, a saber:

A primeira etapa, Estudos Preliminares, teve como objetivo principal determinar o método de higienização a ser avaliado no resíduo de caixa de areia através de testes preliminares e ajustes de procedimentos.

Na segunda etapa, Estudo Piloto, avaliou-se a eficiência do método selecionado em diferentes dosagens na higienização do resíduo de caixa de areia em escala piloto através da realização de 5 campanhas conforme protocolo experimental estabelecido a partir dos resultados obtidos na etapa anterior. Também foram realizadas análises preliminares visando a utilização da areia higienizada na construção civil.

Para a realização do plano experimental foi realizada previamente a revisão de material bibliográfico que visou fornecer noções básicas de higienização utilizando literatura sobre higienização de água, lodo e esgoto, como material de referência visto que não foram encontrados estudos específicos sobre higienização de resíduo de caixa de areia.



#### **4.1 – Etapa 1 - Estudos Preliminares**

Os Estudos Preliminares foram desenvolvidos no período de março a setembro de 2006 e foram divididos em 4 fases, conforme descrição a seguir:

Fase 1 – Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia

Fase 2 – Teste de métodos de higienização do resíduo de caixa de areia

Fase 3 – Avaliação do método de higienização selecionado para o resíduo de caixa de areia

Fase 4 – Ajuste de procedimentos de higienização na caleagem do resíduo de caixa de areia

O objetivo principal desta etapa do trabalho foi determinar qual o método de higienização do resíduo de caixa de areia seria melhor investigado no Estudo Piloto através de testes preliminares e ajuste de procedimentos.

Na Fase 1, buscou-se: conhecer preliminarmente as características físicas e microbiológicas do resíduo de caixa de areia das ETEs em estudo. Para isso, realizou-se visitas técnicas para identificação dos pontos amostrais; definiu-se os procedimentos para a realização dos ensaios laboratoriais; e definiu-se os parâmetros físico-químicos e microbiológicos de monitoramento.

A Fase 2 teve como objetivos realizar testes preliminares de higienização do resíduo de caixa de areia submetidos à caleagem, cloração e insolação natural, visando determinar qual o método seria investigado no Estudo Piloto, definir os procedimentos de coleta e amostragem de areia nas ETEs e de montagem e monitoramento das pilhas.

Na Fase 3, buscou-se avaliar a caleagem do resíduo de caixa de areia aplicando dosagens intermediárias entre 10% e 35% de cal, visto que os testes preliminares

realizados na Fase 2 indicaram que a caleagem apresentou melhor eficiência do que a cloração na higienização do resíduo de caixa de areia.

A Fase 4 teve como objetivos, repetir a caleagem do resíduo de caixa de areia para avaliar os resultados obtidos na Fase 3 e ajustar os procedimentos de coleta e análise.

Em todas as fases dos Estudos Preliminares foi realizado o monitoramento meteorológico durante o período do experimento dos parâmetros: precipitação pluviométrica e insolação (Anexo B). Os dados são provenientes da Rede Automática de monitoramento da qualidade do ar da região da Grande Vitória operada pelo Instituto Estadual de Meio-Ambiente (IEMA).

#### **4.1.1 - Fase 1 - Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia**

A Fase 1 compreendeu a realização de diversas atividades para o início do plano experimental, sendo elas (vide Apêndice A):

- Realização de visitas técnicas às ETEs do estudo para identificação dos pontos amostrais;
- Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia;
- Definição dos procedimentos de lavagem da areia para realização das análises microbiológicas
- Definição dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos de monitoramento.

##### **4.1.1.1 - Visitas técnicas às ETEs Bandeirantes e Marcílio de Noronha**

O objetivo destas visitas técnicas foi levantar informações sobre as estações e identificar os pontos amostrais de coleta de areia.

As ETEs Bandeirantes e Marcílio de Noronha atendem populações de baixa renda. As informações levantadas sobre cada ETE são apresentadas a seguir.

## ETE Bandeirantes

A ETE Bandeirantes está localizada no bairro Rio Marinho no município de Cariacica/ES e atende a população de cerca de 48 bairros de classe média baixa.

A estação possui duas caixas de areia cobertas mecanizadas (Figura 4.1) e os sólidos sedimentados são raspados continuamente e extraídos através de uma rosca transportadora que descarrega o resíduo diretamente em uma caçamba. A água retida no classificador transborda até a câmara de deságües. Antes de entrar no tratamento biológico, o afluente passa pelo medidor de vazão.



Figura 4.1 – Caixas de Areia da ETE Bandeirantes

## ETE Marcílio de Noronha

A ETE Marcílio de Noronha está localizada no bairro Marcílio de Noronha no município de Viana/ES e atende a população dos bairros Industrial e Marcílio de Noronha.

A estação possui uma caixa de areia do tipo canal (Figura 4.2). A limpeza da caixa é manual ou realizada por caminhões de sucção. O material retido na caixa de areia é removido com auxílio de pás, enxadas, ou caminhão de vácuo, e, é temporariamente estocado no próprio pátio da estação até que se acumule quantidade suficiente para encaminhamento até aterro sanitário. Inicialmente está prevista 1 (uma) limpeza semanal ou de acordo com a necessidade.



Figura 4.2 – Coleta de amostra na caixa de areia da ETE Marcílio de Noronha

#### **4.1.1.2 – Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia**

Para a caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia foi realizada uma coleta no dia 07/03/2006 na ETE Marcílio de Noronha. Para coleta da areia, interrompeu-se o fluxo de esgoto na caixa de areia e com uso de enxada e balde, retirou-se aproximadamente 48 L de areia em diversos pontos e acondicionou-se em bombona de 60 L para transporte até o pátio de resíduos do LABERSOL/UFES.

Após chegada no pátio, o resíduo de caixa de areia foi homogeneizado através do revolvimento com enxada e foram montadas pilhas de aproximadamente 8 L cada, com 10 a 15 cm de altura totalizando 3 pilhas (Figura 4.3). O material de cada pilha foi

monitorado diariamente por 20 dias, sem receber reviramento ou qualquer tipo de tratamento, para se observar aspectos físicos, como odor e cor.



Figura 4.3 – Pilhas da Fase 1 – Estudos Preliminares

Uma amostra de aproximadamente 400 gramas foi coletada após a homogeneização do resíduo para realização de análises físico-químicas e microbiológicas no LabSan – Laboratório de Saneamento da UFES.

#### **4.1.1.3 – Definição dos procedimentos de lavagem da areia para realização das análises microbiológicas**

No laboratório foi realizada a “lavagem” da areia afim de se obter uma solução para as análises microbiológicas e os procedimentos foram efetuados de acordo com Ribeiro (2002 *apud* SILVA, 2005). Em condições de assepsia eram separados 30 g de areia de cada amostra e colocados em um béquer de 500 ml, em seguida eram adicionados ao recipiente 300 ml de água fosfatada e autoclavada. Este era levado a um agitador automático e submetido à agitação por 10 minutos a 200rpm.

A Figura 4.4 ilustra um resumo dos procedimentos de “lavagem” da areia efetuados em laboratório.

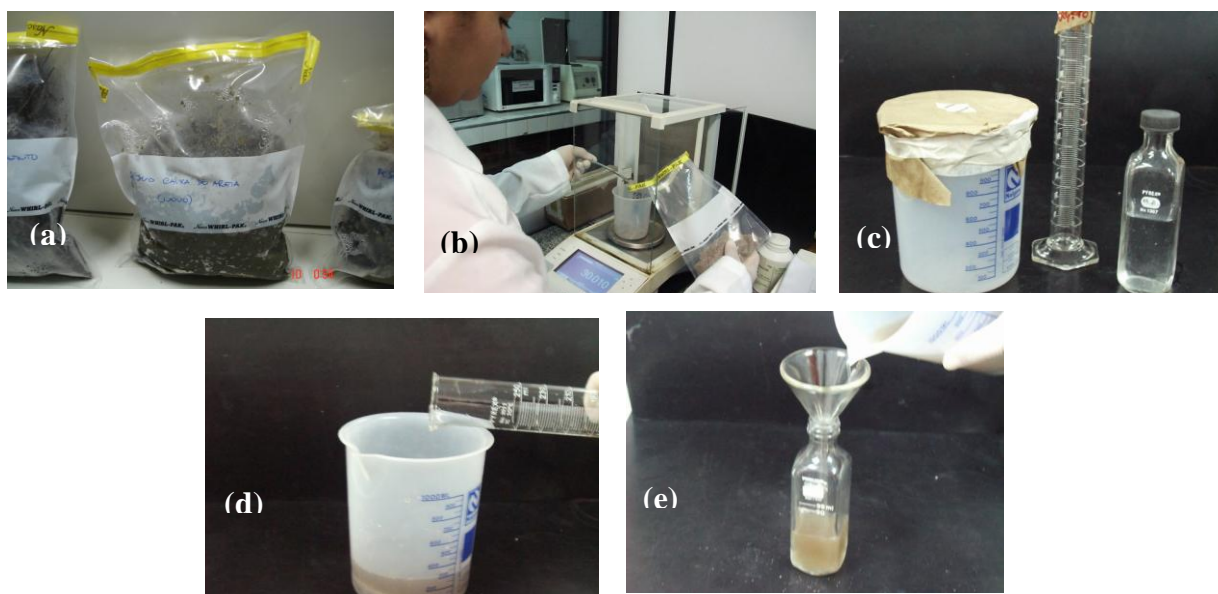


Figura 4.4 - Procedimentos de “lavagem” da areia. (a) amostra de areia, (b) Pesagem de 30 g de areia, (c) Material autoclavado, (d) Adição de 300 ml água fosfatada e autoclavada, (e) Solução obtida após agitação sendo colocada em frasco de diluição. Fonte: Adaptado de SILVA (2005).

O “lavado” gerado neste processo físico serviu de base para a realização das análises microbiológicas de coliformes totais e *E.coli*.

#### 4.1.1.4 - Definição dos parâmetros microbiológicos de monitoramento

A caracterização microbiológica foi realizada através dos parâmetros: Coliformes Totais, *E. coli* e Ovos de Helmintos.

##### 4.1.1.4.1 - Determinação de Coliformes Totais e *E. coli*

A realização das análises de Coliformes Totais e *E. coli* foi feita conforme a metodologia de substrato cromo-fluorogênico descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19<sup>th</sup> Edition, (1995). Utilizou-se cartela quanti-tray de 97 poços nos quais as amostras são incubadas.

O procedimento das análises recomendado pelo fabricante do meio, após os procedimentos descritos para areia (Figura 4.5), é fazer as diluições decimais seriadas do lavado escolhendo-se a diluição ideal a ser trabalhada em cada ponto. As diluições tornam-se necessárias quando a densidade de microorganismos são superiores a  $2,4 \times 10^3$  NMP/100ml. Em seguida foi adicionado o meio de cultura desidratado, em dose unitária para 100 ml de amostra que, depois de homogeneizado era vertido para a cartela com 97 poços, selada através de uma máquina seladora e colocada para incubar por 18-24h em estufa a 35°C (RIBEIRO, 2002).

Os resultados são considerados positivos para coliformes totais (CT) quando o conteúdo dos poços tem coloração amarela forte à luz ambiente, as tonalidades mais fracas alteradas de incolor para amarela também são lidas como positivas. Para *E. coli* o resultado positivo é dado pela emissão de fluorescência em luz ultravioleta (365nm) naqueles poços com resultado positivo para CT.

A Figura 4.5 mostra as etapas da análise de coliformes totais e *E.coli*. A contagem dos poços é feita para ambos os microorganismos separadamente e o resultado final expresso em NMP/100ml com auxílio de uma tabela estatística com 95% de confiança fornecida pelo fabricante (RIBEIRO, 2002 *apud* SILVA 2005).



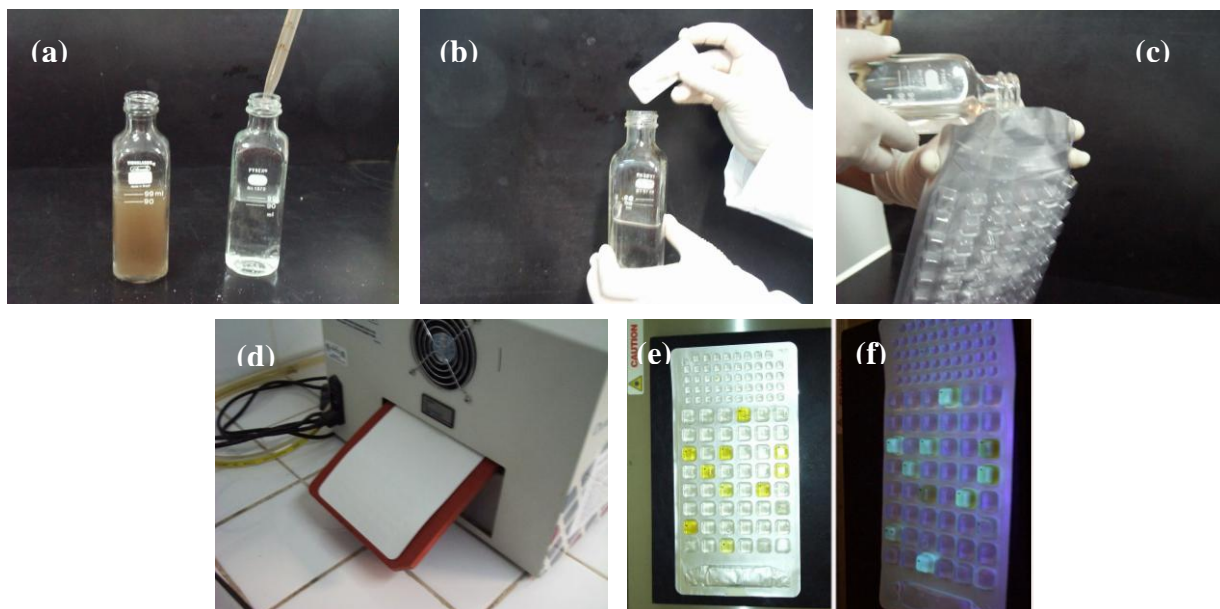


Figura 4.5 - Seqüência das etapas da análise de CT e *E.coli*.

(a) Diluição do lavado, (b) Adição de meio de cultura desidratado, (c) Despejo da solução homogeneizada na cartela, (d) Cartela saindo da máquina seladora, (e) Identificação dos resultados positivos para Coliformes totais e (f) Identificação dos resultados positivos para *E.coli*.

Fonte: SILVA (2005)

Quando todos os poços apresentam coloração amarela (Figura 4.6), o resultado final expresso é dado como  $> 2419,6$  NMP/100ml, indicando que na diluição adotada não se pode quantificar os coliformes totais pois os valores extrapolaram o limite de detecção do método.



Figura 4.6 – Cartelas Quanti-tray utilizadas nas análises de CT e *E.coli*



#### 4.1.1.4.2 – Técnica de detecção de ovos de helmintos

Para a realização da análise de detecção e identificação de ovos de helmintos utilizou-se a técnica de filtração e flutuação por sulfato de zinco segundo Meyer *et al* (1978), adaptando-se alguns passos, tais como:

- Filtrar a amostra com peneira e gase para a retirada de material de maiores dimensões;
- Aumentar a concentração da solução de Tween de 1% para 10% devido a grande quantidade de matéria orgânica presente nas amostras de resíduo de caixa de areia, o que aumenta o número de centrifugações necessárias para clarear a amostra.

A descrição resumida do procedimento encontra-se no Anexo A.

#### 4.1.1.5 - Definição dos parâmetros físico-químicos de monitoramento

As análises físico-químicas definidas para este estudo tiverem como objetivo fornecer dados complementares ao monitoramento dos tratamentos avaliados (pH e umidade), muito embora, tenham sido inicialmente previstas a realização de mais análises físico-químicas que por motivos operacionais e financeiros não puderam ser realizadas.

A caracterização físico-química foi realizada através das análises de umidade e pH e encontram-se referenciadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Análises físico-químicas

Parâmetros	Método	Referência
pH	Método eletrométrico	EPA 9045C
		Standard Methods
Umidade	Método gravimétrico	2540 D, 1995

#### 4.1.2 - Fase 2 – Teste de métodos de higienização do resíduo de caixa de areia

A Fase 2 teve como objetivos:

- Definir os procedimentos de coleta e amostragem de areia nas ETEs;
- Definir os procedimentos de montagem e monitoramento das pilhas, e, coleta de amostras para ensaios laboratoriais
- Realizar testes preliminares de higienização do resíduo de caixa de areia submetidos à caleagem e a cloração visando determinar o método a ser aplicado no Estudo Piloto

##### 4.1.2.1 – Procedimentos de coleta e amostragem de areia nas ETEs

Foi realizada uma coleta no dia 25/04/2006 nas caixas de areia das ETEs Bandeirantes e Marcílio de Noronha (Figura 4.7). Para coleta da areia, interrompeu-se o fluxo de esgoto na caixa de areia e com uso de enxada e balde, o operador da ETE cedido pela CESAN retirou aproximadamente 25 L da areia depositada no fundo em diversos pontos de cada caixa de areia e acondicionou-se em bombona de 60 L.



Figura 4.7 – Coleta de amostras nas ETEs Bandeirantes (a) e Marcílio de Noronha (b)

Em seguida, a bombona foi lacrada e transportada no carro disponibilizado pela CESAN em temperatura ambiente até o Pátio de Resíduos do LABERSOL/UFES.

#### **4.1.2.2 – Procedimentos de montagem e monitoramento das pilhas, e, de coleta de amostras para ensaios laboratoriais**

Após chegada no pátio, a bombona foi pesada e o resíduo de caixa de areia disposto no pátio e homogeneizado através do revolvimento com enxada pelo estagiário do projeto. Uma amostra (0h) foi coletada para caracterização físico-química e microbiológica do resíduo afim de se avaliar o grau de contaminação inicial. Foram montadas pilhas cônicas de peso variando entre 7 a 10 Kg, 10 a 15 cm de altura e 30 a 45 cm de diâmetro. O material de cada pilha recebeu revolvimento diário durante uma semana.

Para os ensaios laboratoriais foram coletadas amostras de cada pilha após 24h, 48h e 1 semana de aproximadamente 400g retirando-se em 3 pontos (base, meio e topo) segundo preconizado na norma NBR 10.007/2004, e foram acondicionadas em sacos plásticos, vedados em condições assépticas, e encaminhadas ao Laboratório de Saneamento (LABSAN) na UFES onde foram preservadas em refrigerador com temperatura constante de 4°C até a realização das análises físico-químicas e microbiológicas.

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados foram: umidade, coliformes totais, *E.coli* e ovos de helmintos.

#### **4.1.2.3 – Testes preliminares de higienização do resíduo de caixa de areia**

Os testes preliminares de higienização do resíduo de caixa de areia tiveram como objetivo definir um método de higienização a ser melhor investigado no Estudo Ajustado. Não foram encontrados na literatura estudos específicos de higienização do resíduo de caixa de areia sendo portanto utilizados como material de referência, estudos de higienização aplicados para água, lodo e esgoto.

Os testes preliminares definiram uma direção ao estudo de higienização, não sendo conclusivos em relação à eficiência da cloração. Foram montadas 7 pilhas, conforme ilustrado na Figura 4.9.

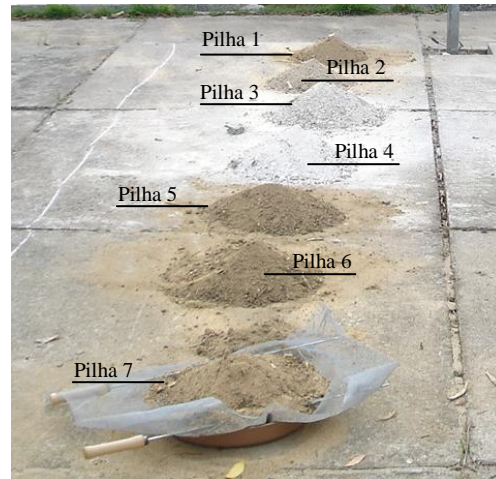


Figura 4.9 – Pilhas da Fase 2 - Estudos Preliminares

- Pilha 1 – Areia de ETE controle
- Pilha 2 – Areia de ETE + Cal 10% (em relação ao peso úmido)
- Pilha 3 – Areia de ETE + Cal 35% (em relação ao peso úmido)
- Pilha 4 – Areia de ETE + Cal 50% (em relação ao peso úmido)
- Pilha 5 – Areia de ETE + Cloro Granular T1
- Pilha 6 – Areia de ETE + Cloro Granular T2
- Pilha 7 – Areia de ETE + Água Sanitária

Cada uma das 7 pilhas recebeu tratamentos diferentes, sendo que a pilha 1 foi a controle, recebendo apenas insolação natural.

As pilhas 2, 3 e 4 foram submetidas à caleagem. Foram determinadas 3 proporções, sendo elas 10%, 35% e 50% respectivamente (em relação ao peso úmido) de cal hidratada, usando como referência o trabalho desenvolvido por Passamani (2001) de higienização de lodo por caleagem.

As pilhas 5 e 6 foram submetidas à cloração utilizando o cloro granular (hipoclorito de cálcio) comercializado geralmente para limpeza de piscinas. Foram estipulados dois tipos de tratamento, T1 e T2, sendo:

T1 – Para cada 10 Kg de areia utilizou-se 5g de cloro granular 85%

T2 – Para cada 10 Kg de areia utilizou-se 20g do cloro granular 85%

A pilha 7 também foi submetida à cloração porém utilizando a água sanitária (solução de hipoclorito de sódio a 2,5%) comercializada para limpeza em geral. Manteve-se o resíduo imerso durante uma hora dentro de um balde envolto por uma tela para facilitar a retirada da areia. Utilizou-se um prato plástico para coletar o percolado.

#### **4.1.3 - Fase 3 – Avaliação do método de higienização selecionado para o resíduo de caixa de areia**

A Fase 2 indicou que a caleagem foi o método mais eficiente na higienização do resíduo de caixa de areia (vide Apêndice A). As dosagens 35% e 50% apresentaram redução do número de ovos de helmintos, coliformes totais e *E. coli* a níveis não detectáveis após uma semana de higienização, e serviu para embasar a Fase 3 que teve como objetivo testar proporções de cal hidratada intermediárias entre 10% e 35% adotando-se os procedimentos de coleta, montagem e monitoramento das pilhas definidas na Fase anterior.

Foi realizada uma coleta no dia 11/07/2006 nas caixas de areia das ETEs Bandeirantes e Marcílio de Noronha. Os procedimentos de coleta de areia, montagem e acompanhamento das pilhas e coleta de amostras foram realizados conforme descrito na Fase 2. Foram montadas 5 pilhas (Figura 4.10) e a coleta de amostras para análises laboratoriais foram realizadas após 24h, 48h e 1 semana.



Figura 4.10 – Pilhas da Fase 3 – Estudos Preliminares

- Pilha 1 - Controle
- Pilha 2 – Areia de ETE + Cal 15% (em relação ao peso úmido)
- Pilha 3 – Areia de ETE + Cal 20% (em relação ao peso úmido)
- Pilha 4 – Areia de ETE + Cal 25% (em relação ao peso úmido)
- Pilha 5 – Areia de ETE + Cal 30% (em relação ao peso úmido)

Cada uma das 5 pilhas recebeu reviramento diário durante uma semana, sendo que a pilha 1 foi a controle, recebendo apenas insolação natural.

As pilhas 2, 3, 4 e 5 foram submetidas à caleagem. Foram determinadas 4 proporções, sendo elas 15%, 20%, 25% e 30% respectivamente (em relação ao peso úmido) de cal hidratada.

#### **4.1.4 - Fase 4 – Ajuste de procedimentos na caleagem do resíduo de caixa de areia**

Na Fase 3 os resultados das análises de CT e *E. coli* indicaram que após 48h de tratamento houve redução a níveis não detectáveis porém os resultados após uma semana apresentaram valores acima de duas unidades logarítmicas, sendo que apenas na dosagem 25% não foi detectada a presença de CT e *E. coli*. Estes resultados indicam ter ocorrido recrescimento bacteriano tendo sido observado nas pilhas a presença de torrões de cal.

A Fase 4, portanto, teve como objetivo repetir a caleagem do resíduo de caixa de areia nas mesmas dosagens avaliadas na Fase 3 visando ajustar alguns procedimentos, tais como:

- A homogeneização da cal hidratada com o resíduo de caixa de areia passou a ser feita com pá de plástico esterilizada ao invés de enxada e com mais atenção, evitando a formação de torrões de cal.
- Antes de receber as pilhas, o pátio foi lavado com água sanitária para evitar contaminação.
- Após a montagem das pilhas, o local foi sinalizado e demarcado.

Foi realizada uma coleta no dia 04/09/2006 nas caixas de areia das ETEs Bandeirantes e Marcílio de Noronha. Os procedimentos de coleta de areia, montagem e monitoramento das pilhas e coleta de amostras foram realizados conforme descrito na Fase 2.

Foram montadas 5 pilhas utilizando as mesmas dosagens da Fase 3 e a coleta de amostras para análises laboratoriais foram realizadas após 48h e 1 semana, pois observou-se nas fases anteriores que os resultados das análises das coletas de 24h não apresentavam diferenças consideráveis em relação as coletas de 48h diminuindo assim os custos das análises.

#### **4.2 – Etapa 2 – Estudo Piloto**

O Estudo Piloto foi realizado no período de setembro a dezembro de 2006 e foram realizadas 5 campanhas com o objetivo de avaliar a eficiência da caleagem na higienização do resíduo de caixa de areia em diferentes proporções (10%, 15%, 20%, 25% e 30%) em relação ao peso úmido.

O esquema na Figura 4.11 ilustra o protocolo experimental das campanhas realizadas.

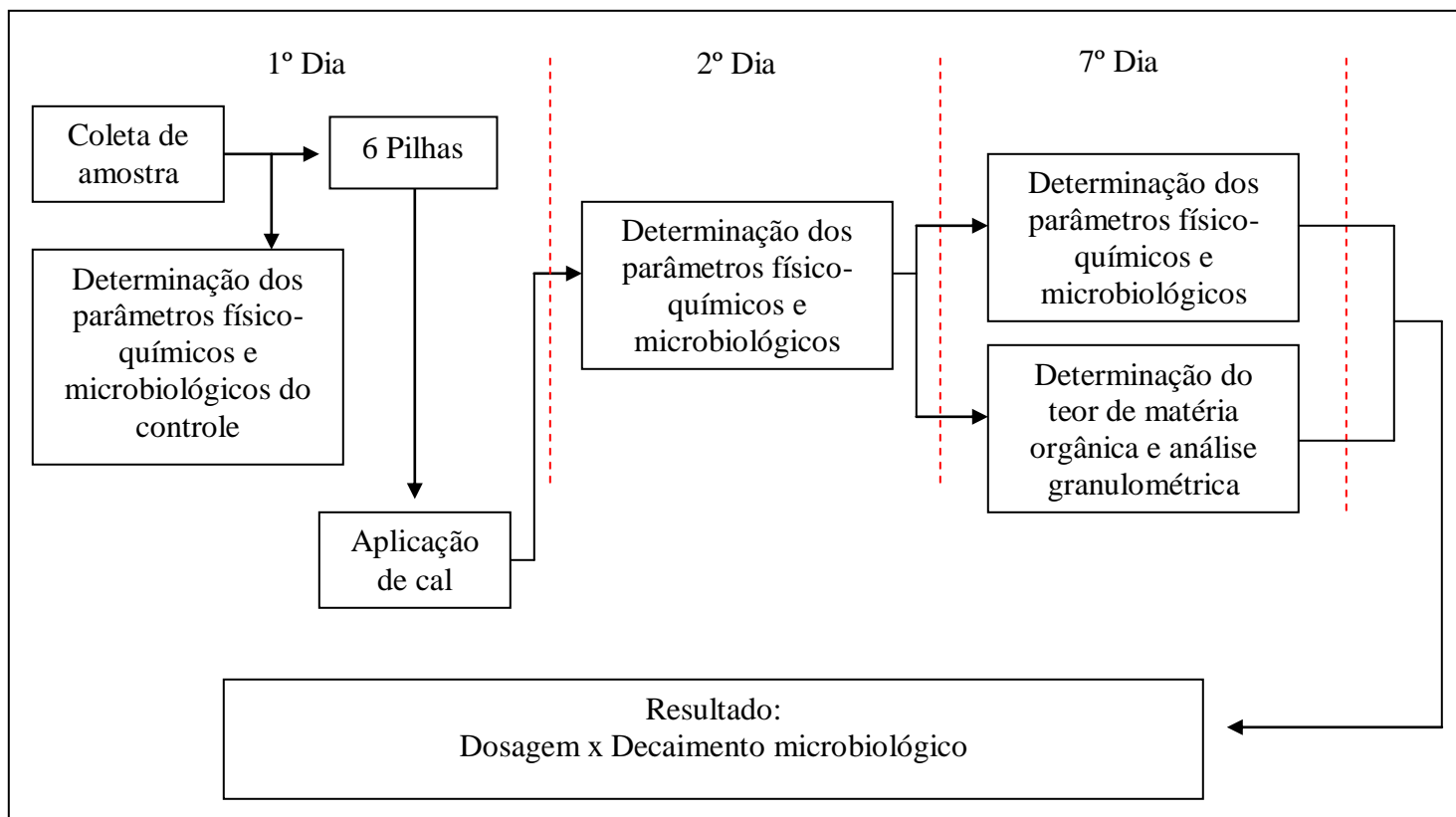


Figura 4.11 – Fluxograma do protocolo experimental das campanhas do Estudo Piloto

A partir dos resultados obtidos na Etapa 2 – Estudos Preliminares, foram definidos em relação aos procedimentos de coleta de areia, montagem e acompanhamento das pilhas e coleta de amostras que:

- A coleta de areia foram realizados nas ETEs Bandeirantes e Marcílio de Noronha, e os procedimentos de coleta e amostragem da areia e de montagem e monitoramento das pilhas seriam realizados conforme definido nos Estudos Preliminares;
- As pilhas foram montadas com formato cônico, apresentando peso entre 7 a 10 Kg, 10 a 15 cm de altura e 30 a 45 cm de diâmetro. Estas dimensões foram adotadas devido a pequena quantidade de resíduo que pode ser coletado nas duas estações a cada campanha por motivos operacionais, avaliando-se portanto a higienização em escala piloto.



- O reviramento realizado foi diário durante uma semana com auxílio de enxadas.
- As coletas de amostras para análises realizadas após 2 dias e 7 dias, sendo uma amostra da pilha controle retirada no dia da montagem do experimento (1º dia) para caracterização físico-química e microbiológica do resíduo.
- Os parâmetros microbiológicos analisados foram: coliformes totais, *E.coli* e ovos de helmintos.
- Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH e umidade.

Foram realizadas análises granulométricas e de determinação do teor de matéria orgânica nas amostras de areia controle e de areia com cal hidratada nas dosagens 10% e 15% após uma semana de tratamento com o objetivo de obter preliminarmente dois requisitos básicos para o uso da areia na construção civil.

Para a realização do ensaio granulométrico foram utilizadas as metodologias descritas na NBR 7217/87 – Análise Granulométrica de Agregado Miúdo e para a determinação da matéria orgânica foi utilizado o método colorimétrico descrito na NBR NM49/2001 – Determinação de impurezas orgânicas em agregado miúdo.

Em todas as Campanhas do Estudo Piloto foi realizado o monitoramento meteorológico durante o período do experimento (uma semana) dos parâmetros: precipitação pluviométrica e insolação (Anexo C), com o objetivo de analisar os efeitos da insolação e da precipitação no processo de desinfecção que ocorreu em pátio a céu aberto. Os dados são provenientes da Rede Automática de monitoramento da qualidade do ar da região da Grande Vitória operada pelo Instituto Estadual de Meio-Ambiente (IEMA).

#### **4.2.1 – Análise Estatística**

Foi realizada uma ANOVA (Análise de Variância) para medidas repetidas para comparar as médias de Umidade, Sólidos Totais e pH nos 2 períodos de higienização das amostras (48 horas e 1 semana, fator dependente) e no fator grupo (controle, areia + cal variando de 10% a 30%, fator independente).

# Capítulo 5

## *Resultados e Discussão*

---

## **Capítulo 5**

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **5.1 – Etapa 1 – Estudos Preliminares**

A realização dos Estudos Preliminares foi a parte mais desafiadora do trabalho, visto que não foram encontrados na literatura consultada estudos referentes ao tratamento de resíduo de caixa de areia. Para tanto, do material bibliográfico disponível sobre higienização de lodo de ETE e ETA, e desinfecção de águas e esgotos adaptou-se os procedimentos utilizados nestes materiais.

No desenvolvimento dos Estudos Preliminares buscou-se: avaliar qual seria o melhor processo de higienização, dentre a caleagem e a cloração, associadas a insolação natural, através da remoção de coliformes totais, *E.coli* e ovos de helmintos na areia removida das caixas de areia das ETEs e buscar um procedimento de higienização a ser aplicado no Estudo Piloto.

O detalhamento dos resultados obtidos nos Estudos Preliminares é apresentado no Apêndice A. Neste capítulo é apresentado um resumo dos resultados obtidos em cada uma das quatro fases.

##### **5.1.1 - Fase 1 - Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia**

Na Fase 1, observou-se que o resíduo de caixa de areia estudado apresentava coloração escura e forte odor, assim como o esgoto em que estava imerso quando coletado, e 25,5% de umidade. Após 20 dias recebendo insolação natural, as pilhas que foram montadas com o resíduo apresentaram coloração amarronzada e o odor diminuiu bastante, devido a perda de umidade e a degradação aeróbia que ocorreu

(vide Apêndice A). Durante o período de observação, a média de precipitação pluviométrica foi de 8,26 mm tendo sido registrado apenas 7 dias chuvosos, a insolação média 222,94 W/m<sup>2</sup>, a maior registrada em todo estudo, e o tempo de insolação médio por dia igual 12,35 horas (Anexo B), sendo que após uma semana as pilhas já apresentavam a coloração amarronzada e o odor reduzido, mantendo-se assim até o 20<sup>o</sup> dia de observação.

Os resultados da caracterização microbiológica preliminar realizada nesta fase indicaram que o resíduo de caixa de areia apresenta contaminação microbiológica, baseada no resultado de *E.coli*, vide Capítulo 9, Apêndice A, semelhante aos valores encontrados na literatura para esgoto *in natura*, indicando a necessidade de tratar este resíduo.

#### **5.1.2 - Fase 2 – Teste de métodos de higienização do resíduo de caixa de areia**

Os resultados dos experimentos montados nesta fase dos Estudos Preliminares, apresentados no Capítulo 9 - Apêndice A, indicaram que para higienização da areia contaminada utilizando cloro granular, água sanitária e cal hidratada, a caleagem foi o método de tratamento que apresentou os melhores resultados em relação a redução de bactérias e ovos de helmintos nas condições analisadas. Este teste preliminar foi realizado de forma pontual para determinar o processo de tratamento que seria melhor investigado não sendo conclusivo em relação a cloração como método menos indicado para a higienização do resíduo de caixa de areia.

Os resultados obtidos nas análises microbiológicas (CT, *E. coli* e ovos de helmintos) demonstraram que nas pilhas submetidas à caleagem nas proporções de 35% e 50% houve 100% de eficiência na remoção de bactérias e ovos de helmintos porém na proporção 10% observou decaimento de seis unidades logarítmicas de *E. coli*. No entanto, a mistura da areia com a cal na dosagem 50% pelo fato de ter apresentado muitos torrões de cal é difícil de ser realizada.

As amostras de areia submetidas à cloração com cloro granular e água sanitária não obtiveram 100% de eficiência na redução dos coliformes totais e *E.coli*, apresentando decaimento de 2 a 4 unidades logarítmicas para *E.coli*. As amostras de areia controle, que receberam apenas reviramento diário e insolação natural apresentaram o menor decaimento bacteriano.

A cloração é um processo aplicado na desinfecção de água e efluentes, ou seja em resíduos no estado líquido, devido as reações químicas de formação de cloro livre e cloro combinado com a água e a amônia ocorrerem em meio líquido, conforme descrito no Capítulo 3. Como as amostras de areia apresentaram baixa umidade (média de 2,79%) após uma semana, provavelmente isso contribuiu para que as pilhas submetidas à cloração tenham apresentado decaimento menor em relação a coliformes totais, *E.coli* e ovos de helmintos.

Durante o período de observação, choveu apenas no dia da montagem do experimento (Anexo B), a média de precipitação pluviométrica foi de 1,1 mm, a insolação média 194,35 W/m<sup>2</sup>, e o tempo de insolação médio por dia igual 11 horas.

Os valores de umidade ao final de uma semana variaram de 1,7% a 3%, com exceção da areia com água sanitária (5%), sendo os menores encontrados em todo estudo, pois foi a única fase que registrou apenas um dia de chuva.

Visto que a cloração quando aplicada na presença elevada de matéria orgânica, pode gerar subprodutos como os trihalometanos com potencial carcinogênico reconhecido e considerando melhor eficiência, a partir deste experimento, decidiu-se adotar a caleagem como método a ser investigado no resíduo de caixa de areia por ter apresentado melhores resultados que os demais dentro das condições experimentais aplicadas.

### 5.1.3 - Fase 3 – Caleagem do resíduo de caixa de areia

Utilizando os procedimentos de coleta e amostragem de areia nas ETEs, e, os procedimentos de montagem e monitoramento das pilhas, adotados na fase anterior, avaliou-se proporções intermediárias entre 10% e 35% de cal hidratada em relação ao peso úmido do resíduo de caixa de areia.

Os resultados obtidos nas análises de Coliformes Totais e *E.coli* durante uma semana de tratamento demonstram que a proporção que obteve 100% de eficiência de redução foi a de 20%.

Nas proporções 15% e 30% houve decaimento de 6 unidades logarítmicas, tanto para coliformes totais quanto para *E.coli*. E na proporção 25% houve decaimento de 5 unidades logarítmicas para coliformes totais e de 6 unidades logarítmicas para *E.coli*.

Estes resultados indicam ter ocorrido recrescimento bacteriano tendo sido observado nas pilhas a presença de alguns torrões de cal, indicando que a mistura de areia e cal não ficou homogênea . Buscando melhorar a homogeneização da areia com a cal ajustou-se o procedimento de mistura e para evitar contaminação foi realizada a higienização do pátio.

A maior incidência de chuvas durante a semana do experimento também pode ter influenciado, pois durante o período de observação registrou-se cinco dias de chuva, a média de precipitação pluviométrica foi de 1,8 mm, a insolação média 142,66 W/m<sup>2</sup>, e o tempo de insolação médio por dia igual 11,25 horas.

A umidade foi maior após uma semana na areia com cal 30% e menor na areia controle, observando-se assim, que a medida que aumenta a proporção de cal, aumenta também a umidade ao final do tratamento.

Pode-se observar também que em relação à Fase anterior, a umidade após uma semana de tratamento na Fase 3 foi bem maior, isso ocorreu devido a insolação média durante o período do experimento ter sido menor e a precipitação média ter sido maior, pois na Fase 2 não choveu praticamente durante todo experimento.

Em relação aos resultados obtidos nas análises de ovos de helmintos durante uma semana de tratamento nas amostras de areia higienizadas com cal hidratada observou-se que em todas as proporções analisadas não foram detectados nenhum ovo e na amostra controle submetida a insolação natural observou-se uma redução de aproximadamente 76% no número de ovos de helmintos.

Em relação ao pH notou-se na amostra de areia controle que durante uma semana de reviramento diário e insolação natural o valor de pH apresentou um pequeno decaimento. Nas amostras com cal em todas as proporções estudadas houve um aumento brusco de pH para valores superiores a 11,3 após 24h e após uma semana observou-se um pequeno aumento de pH para valores superiores a 11,7.

#### **5.1.4 - Fase 4 – Avaliação da caleagem do resíduo de caixa de areia da Fase 3 através da repetição do experimento**

Os resultados obtidos em todas as pilhas submetidas à caleagem após uma semana de tratamento demonstram que em todas as proporções avaliadas houve 100% de eficiência na redução de Coliformes Totais, *E.coli* e ovos de helmintos e na amostra controle submetida a insolação natural observou-se uma redução de aproximadamente 60% no número de ovos de helmintos. Os ajustes de procedimento em relação a homogeneização da cal e higienização do pátio corroboraram com os resultados.

A umidade foi menor na amostra controle após uma semana de tratamento, e nas amostras com cal, a umidade aumenta a medida que também aumenta a dosagem de cal hidratada aplicada, assim como observado na fase anterior.



Durante o período de observação, choveu apenas no dia da montagem do experimento (Anexo B), a média de precipitação pluviométrica foi de 3,57 mm, a insolação média 141,51 W/m<sup>2</sup>, e o tempo de insolação médio por dia igual 13,43 horas.

Em relação ao pH em todas as proporções avaliadas houve um aumento brusco de pH para valores superiores a 11,5 após uma semana, assim como observado na fase anterior.

A partir da realização dos Estudos Preliminares, os resultados obtidos demonstraram que a caleagem pode ser um processo de tratamento eficaz na higienização do resíduo de caixa de areia nas condições avaliadas e merece ser melhor investigado através da repetibilidade dos experimentos, adotando-se os procedimentos adaptados e ajustados até a Fase 4.

## **5.2 - Etapa 2 – Estudo Piloto**

Os resultados obtidos na higienização da areia submetida à caleagem nas proporções 10%, 15%, 20%, 25% e 30% durante uma semana em relação a coliformes totais, *E.coli*, ovos de helmintos, pH, umidade, matéria orgânica e granulometria são apresentados a seguir.

### **5.2.1 - Remoção de Coliformes Totais e *E. coli***

Em relação aos coliformes totais e *E.coli*, uma semana após a caleagem, não foi observada a presença de bactérias em nenhuma das dosagens nas seis campanhas realizadas, demonstrando 100% de eficiência na remoção destes microorganismos (vide Anexo H).

As densidades médias de coliformes totais e *E.coli* na areia controle e na areia higienizada com cal hidratada nas dosagens 10%, 15%, 20%, 25% e 30% são apresentadas nas Figuras 5.1 e 5.2 respectivamente.

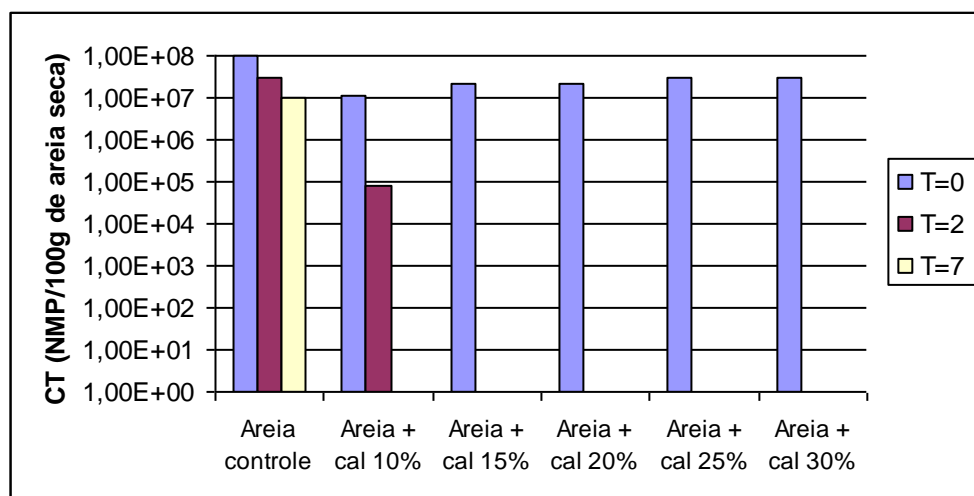


Figura 5.1 – Densidades médias de Coliformes Totais na areia controle e na areia higienizada com cal hidratada nas dosagens 10%, 15%, 20%, 25% e 30% das campanhas do Estudo Piloto

Na Figura 5.1 pode-se observar que nas dosagens acima de 15% houve remoção total de coliformes totais após 2 dias (T =2), e em todas as dosagens avaliadas (10%, 15%, 20%, 25% e 30%) houve remoção total de coliformes totais após uma semana de tratamento (T =7).

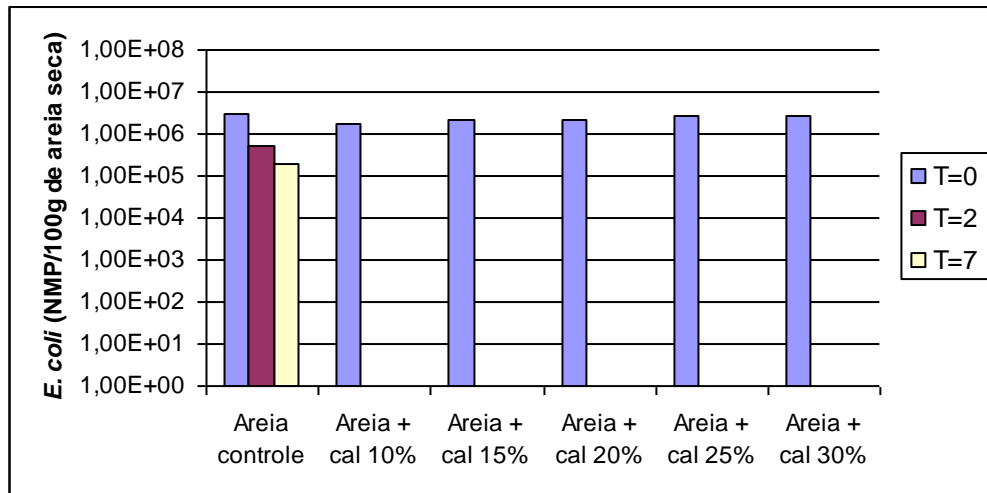


Figura 5.2 – Densidades médias de *E.coli* na areia controle e na areia higienizada com cal hidratada nas dosagens 10%, 15%, 20%, 25% e 30% das campanhas do Estudo Piloto

Na Figura 5.2 pode-se observar que em todas as dosagens avaliadas (10%, 15%, 20%, 25% e 30%) houve remoção total de *E.coli* após dois dias de tratamento (T =2).

A areia controle submetida apenas a insolação natural e reviramento diário, apresenta pequeno decaimento bacteriano, e após uma semana a densidade média de coliformes totais foi de 7 unidades logarítmicas e a densidade média de *E.coli* foi de 5 unidades logarítmicas (vide Figura 5.3) demonstrando que o tratamento por insolação natural foi pouco eficiente na remoção de bactérias do grupo coliforme no período avaliado.

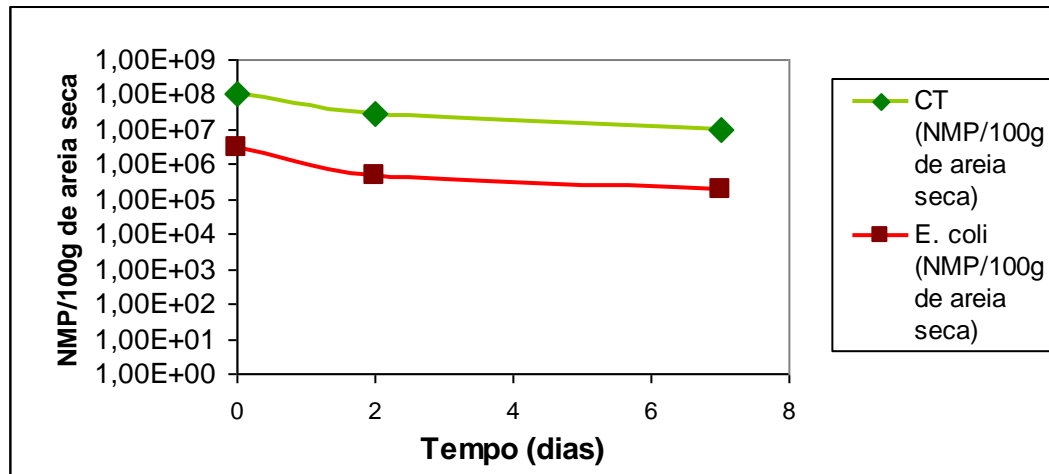


Figura 5.3 – Densidade média de coliformes totais e *E.coli* na areia controle das campanhas do Estudo Piloto

Tal fato, provavelmente ocorreu devido a natureza do material a ser higienizado, pois a incidência de radiação solar ocorria somente na superfície das pilhas. Apesar de existirem estudos que demonstram a eficiência da radiação solar na higienização, todos avaliam amostras de água, em geral de abastecimento público. Monteiro *et al* (1999), em ensaios realizados de exposição solar controlada em água de abastecimento público, ressalta que, de um modo geral, a presença de turbidez afeta negativamente a higienização, uma vez que os microorganismos podem proteger-se da ação dos desinfetantes ocluindo-se nas partículas em suspensão.

O mecanismo de inativação dos microorganismos se dá através do aquecimento proporcionado pela radiação infra-vermelha e irradiação dos microorganismos pela luz ultravioleta.

Ribeiro (2002), encontrou valores de contaminação de  $10^5$  NMP/100g areia seca para *E. coli* e  $10^5$  NMP/100g areia seca para coliformes totais nas areias da Praia de Camburi – Vitória. Silva (2005), constatou que os valores de coliformes totais observados situaram-se em torno de  $10^5$  NMP/100g areia seca e para *E. coli* em torno de  $10^4$  NMP/100g de areia seca nas areias de contato primário de escolas e logradouros públicos de Vitória – ES.

Em relação aos limites propostos por pesquisadores portugueses no “Guideline for Microbiological Quality of Sand”, os resultados obtidos por Ribeiro (2002) e Silva (2005), encontram-se abaixo do limite proposto de 106 NMP/100g de Coliformes Totais em areias de contato primário, já a densidade média de Coliformes Totais da areia controle no Estudo Piloto após uma semana está acima do limite. Apesar da areia gerada em ETEs não ser considerada de contato primário, fez-se esta comparação para ressaltar a importância no manuseio e na segurança dos operadores, mostrando que o resíduo em estudo nas condições que se encontra pode conferir riscos à saúde do operador que manuseia diariamente esta areia contaminada.

A areia controle representa o decaimento bacteriano que na prática poderia ocorrer com o resíduo de caixa de areia que é removido e armazenado temporariamente a céu aberto, porém na prática este resíduo não recebe reviramento diário e ainda fica misturado ao outros resíduos gerados (lodo, espuma e resíduo de gradeamento), como na ETE Marcílio de Noronha (Figura 5.4), mostrando assim, a importância sanitária da higienização da areia na preservação do meio ambiente.



Figura 5.4 – Pátio de estocagem a céu aberto dos resíduos (lodo, resíduo de gradeamento e resíduo de caixa de areia) da ETE Marcílio de Noronha

Segundo a NBR 10.004/1987, os resíduos gerados em estações de tratamento de esgotos domésticos não são classificados segundo critérios de patogenicidade. Os

resultados obtidos para coliformes totais e *E.coli* (Figuras 5.3) na areia controle demonstram que o resíduo de caixa de areia apresenta mesmo após desidratado densidades bacterianas elevadas, devendo portanto, ser observados critérios de patogenicidade não apenas em sua classificação, como no manuseio e na destinação final.

Na Figura 5.5, pode-se observar que na dosagem 10%, os resultados mostram que na areia após 2 dias de tratamento não foram detectados *E.coli*, no entanto a redução da densidade de coliformes totais a níveis não detectáveis só ocorre 7 dias após a caleagem, sendo portanto necessário um período de contato maior.

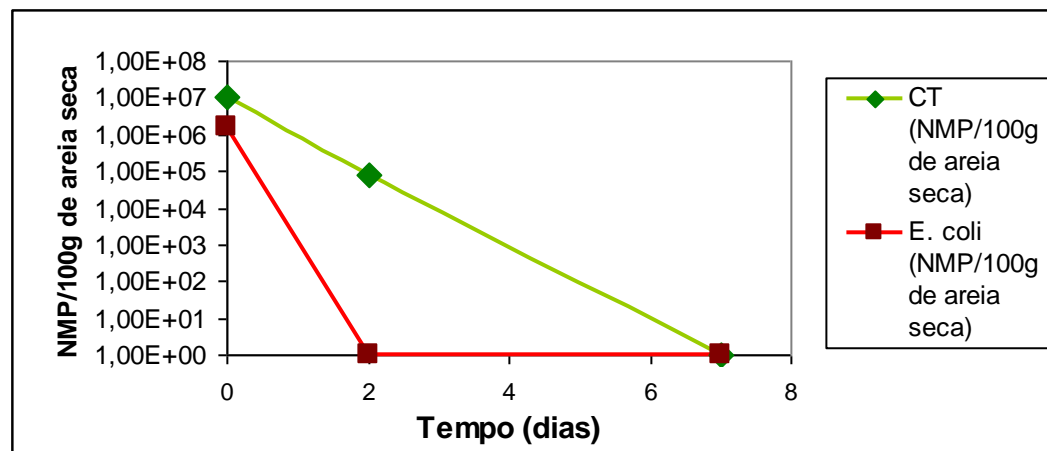


Figura 5.5 – Densidade média de coliformes totais e *E.coli* na areia higienizada com cal hidratada na dosagem 10% das campanhas do Estudo Piloto

Tendo em vista, que a melhor dosagem deve ser a que no tempo desejado eliminar todos os microorganismos com o menor custo, verificou-se que a dosagem de 10% demonstrou ser a mais eficiente na redução de bactérias no período avaliado (7 dias).

A remoção de coliformes totais e *E. coli* nas pilhas submetidas a caleagem ocorreu devido as altos níveis de pH, onde os patógenos são severamente inibidos, inativados ou destruídos, (CHAGAS, 2000).

Chagas (2000), realizou estudo de higienização de lodo digerido bruto das ETEs da Ilha do Governador e da Penha no Estado do Rio de Janeiro através da caleagem incorporando ao lodo dose de 50% de seu peso seco. Os resultados indicaram redução de 100% de *coliformes totais*, *coliformes fecais* e *salmonelas* nas amostras analisadas.

Fernandes *et al* (1997), em estudo sobre a eficiência dos processos de higienização do lodo aeróbio da ETE Belém, em Curitiba, obteve os melhores percentuais de redução na proporção 50%. Houve redução de 99,9% para coliformes totais, 100% para coliformes fecais e 77% para ovos de helmintos.

Passamani (2001) realizou um estudo utilizando a caleagem como processo químico de eliminação de coliformes fecais e ovos de helmintos no lodo descartado de um reator UASB e apenas no lodo caleado nas dosagens 50% e 60% foi observada a eliminação de 100% dos coliformes fecais.

A caleagem é um método muito utilizado na higienização e condicionamento do lodo sendo utilizadas proporções que variam de 30% a 50% do peso seco do lodo (ANDREOLI, 2001). Em relação a areia, o lodo requer dosagens mais elevadas de cal provavelmente devido a quantidade de matéria orgânica ser mais elevada e a areia por ser um material inerte não precisar passar por um processo de estabilização ou biodegradação como o lodo.

### **5.2.2 - Remoção de ovos de helmintos**

Os resultados obtidos em relação a densidade média de ovos de helmintos na areia controle e na areia higienizada com cal hidratada (média de todas as dosagens) são apresentados na Figura 5.6 e constam de forma detalhada no Anexo G.

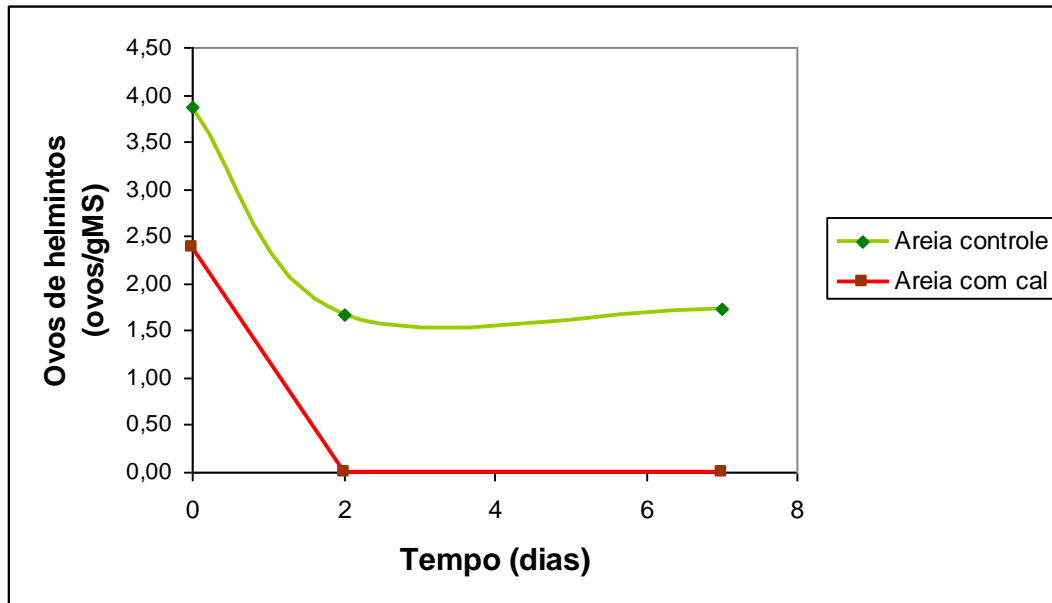


Figura 5.6 – Densidade média de ovos de helmintos (ovo/gMS) na areia controle e na areia higienizada com cal das campanhas do Estudo Piloto

Como pode ser observado na Figura 5.6, os resultados das análises de ovos de helmintos, mostraram que 48 horas de contato com a cal hidratada foram suficientes para tornar inviáveis os ovos de helmintos contidos nas amostras em todas as dosagens utilizadas, estando em consonância com os resultados apresentados na literatura para lodo caleado.

No trabalho de Passamani (2001), os resultados das análises parasitológicas do lodo mostraram que 24 horas de contato com a cal hidratada foram suficientes para inviabilizar 100% dos ovos de helmintos.

Segundo Andreoli (2001), a caleagem do lodo reduz a contagem de ovos de helmintos, porém, desde que respeitados os períodos de carência, que são inversamente proporcionais à dosagem de cal. Os ovos remanescentes não apresentam viabilidade biológica, ou seja, são ovos mortos que não apresentam potencial infectivo.



Na areia controle observou-se que a densidade média de ovos de helmintos após dois dias de reviramento diário e insolação natural diminui, acompanhado pela perda de umidade (Figura 5.9) e permanece praticamente constante, porém a média de ovos encontrada foi de 1,73 ovos/gMS após sete dias.

A Instrução Normativa Paranaense, que regula os indicadores ambientais e sanitários para reciclagem do lodo proveniente do tratamento de esgotos, admite um valor máximo de 0,25 ovos de helmintos por grama de massa seca, valor também adotado nos Estados Unidos e na Comunidade Européia.

Como não há normatização que determina limites do número de ovos de helmintos na areia de estações de tratamento de esgoto, nas areias de contato primário e na areia utilizada na construção civil, para fins de comparação, o limite estabelecido para reciclagem de lodo de esgoto demonstra que a areia controle, mesmo apresentando redução de ovos de helmintos, ainda apresenta uma quantidade significativa após uma semana de insolação natural. Esse resultado corrobora para a importância da higienização do resíduo de caixa de areia que fica armazenado a céu aberto.

O monitoramento da presença desses organismos no lodo de esgoto apresenta resultados bastante contundentes sobre o nível de contaminação da população atendida pelos sistemas de coleta e tratamento de esgotos, sendo especialmente visíveis em regiões mais pobres (ANDREOLI *et al.*, 2003). A quantidade de ovos de helmintos encontrados na areia reflete o nível de contaminação da população de baixa renda atendida pelas ETEs Bandeirantes e Marcílio de Noronha, tendo sido observado durante as visitas técnicas a retenção de helmintos no gradeamento (Figura 5.7), que faz parte do tratamento preliminar das estações e antecede a caixa de areia, mostrando que além da presença dos ovos há também vermes adultos.



Figura 5.7 – Foto obtida em dia de coleta mostrando Helmintos retidos no gradeamento da ETE Marcílio de Noronha

### 5.2.3 - Variação de pH

A média de pH na areia controle foi de 6,5 e nas amostras com cal foi de 12,29 (vide Anexo F). A variação média de pH na areia tratada com cal hidratada é apresentada na Figura 5.8.

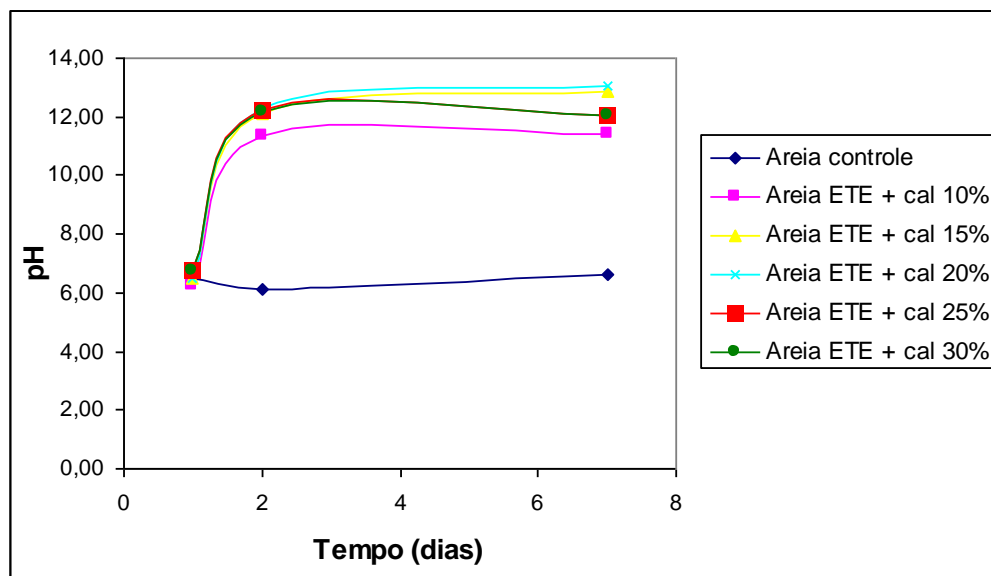


Figura 5.8 – Variação média de pH das campanhas do Estudo Piloto

Como pode ser observado na Figura 5.8, a partir do 2º dia após a caleagem da areia, o pH elevou-se para valores acima de 11 em todas as dosagens e após uma semana, nas dosagens acima de 15% o pH elevou-se para valores acima de 12.

Segundo Andreoli (2001), a elevação do pH para valores iguais ou superiores a 12 é o principal objetivo da caleagem pois é através da alcalinização e da elevação de temperatura que ocorre a eliminação dos microorganismos patogênicos.

O efeito do elevado pH do hidróxido de cálcio, influenciado pela liberação de íons hidroxila, é capaz de alterar a integridade da membrana citoplasmática através de injúrias químicas aos componentes orgânicos e transporte de nutrientes, ou por meio da destruição de fosfolipídios ou ácidos graxos insaturados da membrana citoplasmática, observado pelo processo de peroxidação lipídica, sendo esta na realidade, uma reação de saponificação (ESTRELA *et al.*, 1995).

No trabalho de Passamani (2001), no dia em que foi realizada a caleagem do lodo, o pH elevou-se para valores acima de 12 em todas as dosagens. A partir do 3º dia foi observado uma queda do pH para níveis abaixo de 12 somente na dosagem de 10%. Nas outras (20%, 30%, 40%, 50% e 60%) o pH se manteve acima de 12.

Na higienização da areia, nas dosagens acima de 15% em relação ao peso úmido o pH se manteve acima de 12 a partir do 2º dia, apenas a dosagem 10% não atingiu o pH 12, em consonância com os resultados obtidos por Passamani (2001) na caleagem do lodo.

Isso pode ter ocorrido, devido a umidade na dosagem de 10% ter sido a menor entre as amostras de areia higienizadas, porém MADER NETTO *et al* (2003), concluiu em seu estudo que a caleagem pode promover um aumento significativo nos níveis de pH mesmo com teores de umidade bastante reduzidos. Portanto, o pH que a partir do 2º dia permaneceu acima de 11 não inviabilizou a higienização da areia, sendo necessário porém um tempo maior de contato (uma semana).

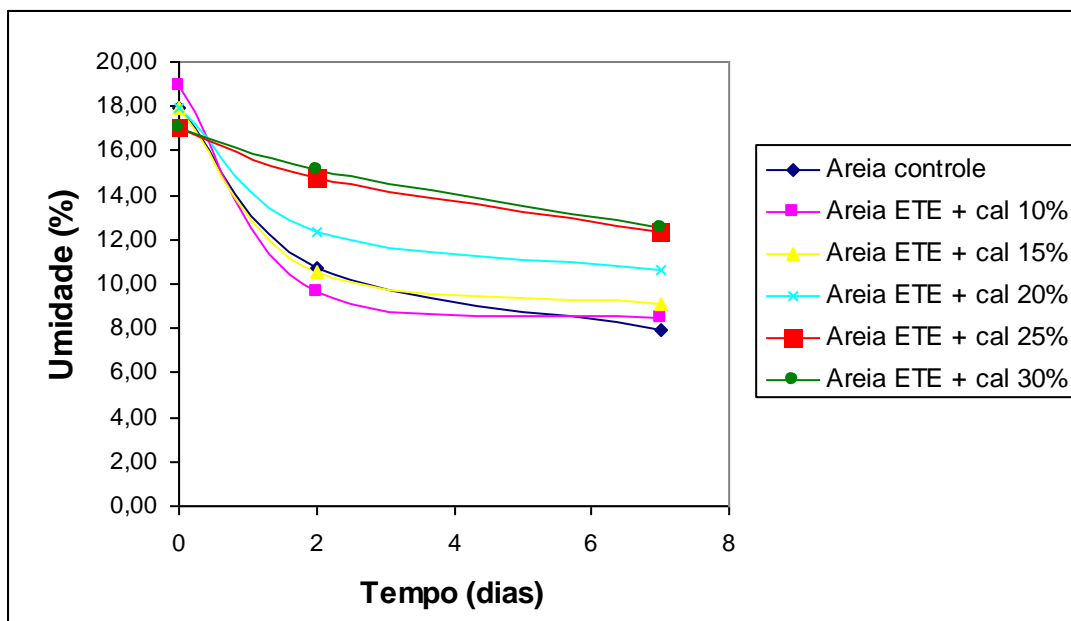
Em relação aos Estudos Preliminares (Etapa 1), a média de pH observada na areia higienizada com cal no Estudo Ajustado é um pouco mais elevada, sendo superior a 12, enquanto que nas Fases 3 e 4 dos Estudos Preliminares tem-se uma média de pH de aproximadamente 11,7.

Esta diferença não apresenta significância no que diz respeito a redução de microorganismos patogênicos visto que a dosagem 10% não atingiu o pH 12, mas obteve 100% de eficiência de redução após uma semana de tratamento. Segundo Estrela & Pécora (2007), o efeito do pH reflete no crescimento bacteriano, uma vez que influencia na atividade enzimática e no metabolismo celular. Existem poucas espécies que, em pH menor que 2 ou maior que 10, podem crescer. A maioria das bactérias patogênicas cresce melhor em meio neutro.

Os resultados obtidos para a ANOVA (Análise de Variância) para medidas repetidas que comparou as médias de pH nos 2 tempos estudados (48 horas e 1 semana, fator dependente) e no fator grupo (controle, areia + cal variando de 10% a 30%, fator independente), indicam não existir diferença estatisticamente significativa entre os tempos e tempo\*grupo. O teste estatístico de Duncan ao nível de 5% indica que o grupo controle é diferente dos demais e todos os outros não têm diferença estatística entre si (vide Anexo D).

#### **5.2.4 - Umidade**

As médias obtidas nas análises de umidade durante uma semana de tratamento das pilhas submetidas à caleagem no Estudo Piloto, são apresentadas nas Figuras 5.9. Os resultados obtidos nas campanhas do Estudo Piloto são apresentados no Anexo F.



Figuras 5.9 – Médias da variável Umidade das campanhas do Estudo Piloto

A Figura 5.9 mostra que a umidade foi menor na amostra controle após uma semana de tratamento, nas amostras com cal, a umidade aumenta a medida que também aumenta a dosagem de cal hidratada aplicada, isso ocorre pois segundo Campos (2007), a cal hidratada tem enorme capacidade de reter água em torno de suas partículas.

Em todas as campanhas, registrou-se no mínimo três dias de chuva durante a realização do experimento. A média de precipitação pluviométrica foi de 6,56 mm, a insolação média 184,05 W/m<sup>2</sup>, e o tempo de insolação médio por dia igual 12,3 horas (Anexo C). As Campanhas 5 e 6 registraram os maiores índices de precipitação pluviométrica e a Campanha 3 a maior insolação média.

Em relação aos Estudos Preliminares, o comportamento da umidade no Estudo Piloto foi coerente com o observado nos Estudos Preliminares, onde as menores proporções de cal apresentaram as menores umidades, porém a média de precipitação pluviométrica foi quase 3 vezes maior, e por conseqüência, as pilhas apresentaram 8% a 10% de umidade após uma semana, o que não influenciou na redução de

bactérias e ovos de helmintos, porém mais estudos devem ser realizados no sentido de avaliar se ocorre recrescimento bacteriano após uma semana de tratamento e a influência da umidade.

Os resultados obtidos para a ANOVA (Análise de Variância) para medidas repetidas que comparou as médias de umidade nos 2 tempos estudados (48 horas e 1 semana, fator dependente) e no fator grupo (controle, areia + cal variando de 10% a 30%, fator independente), indicam não existir diferença estatisticamente significativa entre os grupos, tempos e tempo\*grupo.

### **5.2.5 - Remoção de Matéria Orgânica**

Os resultados obtidos (vide Anexo E) demonstraram que todas as amostras de areia controle apresentaram quantidade de matéria orgânica acima do limite de 300 ppm e nas amostras de areia higienizada com cal hidratada nas dosagens 10% e 15%, houve remoção da matéria orgânica a níveis abaixo do limite estabelecido pela norma NBR NM49/2001.

Na construção civil, a presença de matéria orgânica na areia é indesejada pois impede as reações de hidratação e aglutinação dos materiais cimentícios e se estiver acima do limite, restringe sua utilização, como por exemplo, na fabricação de concretos e argamassas.

### **5.2.6 - Granulometria**

A classificação granulométrica das amostras de areia analisadas pode ser observada na Figura 5.10 que mostra que a areia controle, areia + cal 10% e areia + cal 15% estão dentro dos limites de classificação para areia média-fina. A porcentagem média retida acumulada, em peso, nas peneiras estabelecidas pela norma NBR 7211/1983 é apresentada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Porcentagem média retida acumulada na análise granulométrica das amostras de areia controle e areia higienizada com cal nas proporções 10% e 15%

Peneiras ABNT (mm)	Porcentagem média retida acumulada		
	Areia controle	Areia + Cal 10%	Areia + cal 15%
76	100,0	100,0	100,0
64	100,0	100,0	100,0
50	100,0	100,0	100,0
38	100,0	100,0	100,0
32	100,0	100,0	100,0
25	100,0	100,0	100,0
19	100,0	100,0	100,0
12,5	100,0	100,0	100,0
9,5	100,0	100,0	100,0
6,3	100,0	100,0	99,9
4,8	100,0	100,0	99,8
2,4	96,93	98,81	97,24
1,2	86,01	89,14	84,83
0,600	58,28	59,34	52,59
0,300	21,37	24,57	20,58
0,150	2,76	5,78	6,46

Pode-se observar na Tabela 5.11 que a areia misturada com cal 15% foi a única que reteve material nas peneiras 4,8 mm e 6,3 mm, isso porque foram encontrados alguns torrões de cal, observados na dosagem de 15%.

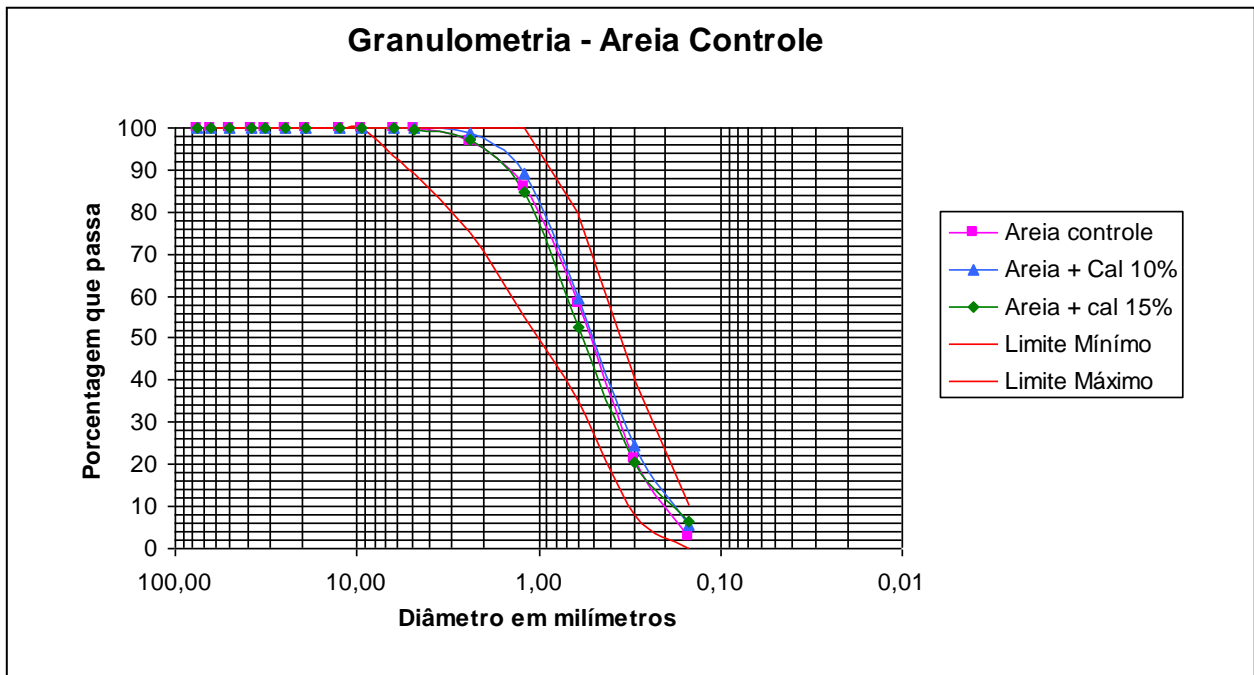


Figura 5.10 – Gráfico da análise granulométrica das amostras de areia controle e areia higienizada com cal nas proporções 10% e 15% do Estudo Piloto

Na Figura 5.10 pode-se observar que tanto a areia controle quanto a areia higienizada com cal hidratada nas dosagens 10% e 15% estão dentro dos limites de classificação para areia média-fina, não apresentando diferenças significativas entre as amostras analisadas.

Na construção civil a areia média-fina pode ser utilizada como agregado para concreto, argamassa, bases de pavimentos de concreto, pavimentação de ruas, entre outros.

Os resultados obtidos na remoção de matéria orgânica e análise granulométrica da areia higienizada com cal hidratada, nas dosagens de 10% e 15%, indicam ser viável sua aplicação na construção civil e na fabricação de argamassa pronta com adição de cimento à areia higienizada com cal.



A possibilidade de utilizar um resíduo, como a areia removida das caixas de areia de ETE's, em aplicações na construção civil pode ser uma estratégia interessante sob os pontos de vista ambiental, operacional e econômico, no sentido de buscar alternativas de extração de areia, preservar o meio ambiente, aumentar a vida útil de aterros sanitários e reduzir custos no gerenciamento da estação.

A investigação de um procedimento de higienização, adaptando-se procedimentos, resultou em uma alternativa de tratamento para o resíduo de caixa de areia, assegurando àqueles que o manuseiam e ao meio ambiente, uma areia segura do ponto de vista microbiológico, e uma alternativa para o uso na construção civil.

# Capítulo 6

## *Conclusão*

---

## **Capítulo 6**

### **CONCLUSÃO**

Em consonância com os objetivos desta pesquisa, a conclusão geral e mais importante foi que a caleagem de resíduos de caixa de areia nas condições do estudo desenvolvido a partir da concentração de 10% foi considerada eficiente na remoção de bactérias e ovos de helmintos após uma semana de tratamento resultando num material higienizado podendo ser utilizado na construção civil em substituição às areias convencionais.

De forma mais específica pode-se listar outras conclusões referentes as Etapas do Estudo:

#### **Estudos Preliminares**

- Os Estudos Preliminares foram importantes pois permitiu adotar a caleagem como método de higienização a ser investigado.
- O resíduo mesmo sem a caleagem, recebendo insolação natural e reviramento diário apresentou decaimento bacteriano médio de 1 a 2 unidades logarítmicas.
- A composição da insolação natural, reviramento diário e caleagem resultaram no processo de higienização que apresentou os melhores resultados na remoção dos microorganismos patogênicos avaliados.
- O aprofundamento do estudo manteve os mesmos procedimentos de coleta de areia, montagem e acompanhamento das pilhas e coleta de amostras no Estudo Piloto.

## **Estudo Piloto**

- Em relação aos coliformes totais, *E.coli* e ovos de helmintos, uma semana após a caleagem, não foi observada a presença de bactérias em nenhuma das dosagens estudadas no Estudo Piloto;
- As análises preliminares visando utilizar a areia higienizada em argamassas demonstram ser viável sua aplicação na construção civil sob aspecto ambiental e sanitário.

# Capítulo 7

## *Recomendações*

---

## ***Capítulo 7***

### **RECOMENDAÇÕES**

A partir de observações ao longo da realização deste trabalho, algumas questões foram surgindo e são listadas a seguir como recomendações para novos estudos:

- Estudo mais detalhado das características físicas, químicas e microbiológicas do resíduo de caixa de areia;
- Maior investigação da caleagem no que diz respeito a períodos chuvosos e secos, e eficiência do processo em dimensões semelhantes as utilizadas na prática;
- Estudos de viabilidade do uso da areia na construção civil nas atividade de manutenção da CESAN;
- Estudos de viabilidade de fabricação de argamassas pronta com adição de cimento à areia higienizada com cal.
- Que as companhias de saneamento façam um monitoramento mais detalhado quanto a geração e características físicas visando embasar estudos sobre a reutilização destes resíduos.

# Capítulo 8

## *Referências*

---

## **Capítulo 8**

### **REFERÊNCIAS**

ABREU, T. A. **Hidrólise Química Visando a Solubilização da Matéria Orgânica e a Higienização de Lodos Aeróbios de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário.** Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. 2003.

AGUIAR, M. M. **Eficiência na Remoção de Coliformes Fecais em Lagoas de Estabilização na Grande Vitória.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. 1996.

ANDREOLI, C. V. (Coordenador). **Resíduos Sólidos de Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final – Projeto PROSAB.** Rio de Janeiro, ABES: 2001.

ANDREOLI, C. V. & BONNET, B. R. P. (Coordenadores). **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto.** 2.ed. ver. e ampl. SANEPAR. Curitiba:2000.

ANDREOLI, C. V. *et al* in CASSINI, S. T. (coordenador). **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás.** Projeto Prosab – Edital 3. Rio de Janeiro: Abes, Rima, 2003.

ALMEIDA, S. L. M. & LIMA, R. C. **Areia Artificial: Uma Alternativa para Uso em Construção Civil.** Anais da XIII Jornada de Iniciação Científica – CETEM. 2005.



AMARAL, L. A. ; NUNES, A. P.; CASTANIA, J.; LORENZON, C. S.; BARROS, L. S. S.; NADER FILHO, A. **Uso da Radiação Solar na Desinfecção da Água de Poços Rasos.** Arq. Inst. Biologia, São Paulo, v.73, n.1, p.45-50, jan/mar, 2006.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 19<sup>th</sup> edition. American Public Health Association, New York. 1995

ANTONINI, N.A.; SEGATTO, E.; NUNES, A. N. **Emissão Zero em Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico.** Anais do VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória – ES, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado para Concreto: NBR 7.211.** Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Análise Granulométrica de Agregado Miúdo: NBR 7.217.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos - Classificação: NBR 10.004.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos - Classificação: NBR 10.004.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação de impurezas orgânicas em agregado miúdo: NBR NM49.** Rio de Janeiro, 2001.

BETTEGA, J. M. P. R.; MACHADO, M. R.; PRESIBELLA, M.; BANISKI, G.; BARBOSA, C. A.. **Métodos Analíticos no Controle Microbiológico da Água para Consumo Humano.** Ciências Agrotécnicas, Lavras, v. 30, n.5, set/out, 2006.

BRANDÃO, C. C. S.; MONTEIRO, P. C. G.; FONSECA, B. M.; ARANTES, C. **Avaliação da Desinfecção Solar na Região Centro-Oeste do Brasil Usando Diferentes Organismos Indicadores de Contaminação.** Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre – RS, 2000.

BORGES, J. T. & GUIMARÃES, J. R. **A Cloração e o Residual de Cloro na Água – Uma Abordagem Polêmica.** Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento. Vitória – ES, 2000.

BUEST, G. T. **Estudo da Substituição de Agregados Miúdos Naturais por Agregados Britados em Concretos.** Dissertação de mestrado em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. 2006

CAMPOS, I. M. **Cal Hidratada nas Argamassas.** Fórum da Construção. Disponível em: [www.forumdaconstrucao.com.br](http://www.forumdaconstrucao.com.br). Acesso em: 19/04/2007.

CASSINI, S. T. A. (*coordenador*) **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás.** Projeto Prosab – Edital 3. Abes, Rima, 2003.

CERQUEIRA, D. A.; GALINARI, P. C.; BRITO, L. L. A.; AMARAL, G. C. M. **Deteção de Coliformes Fecais pela Técnica da Membrana Filtrante (m – FC – 44,5 +/- 0,2 °C) e pelo Sistema Cromogênico (COLILERT-QUANTI-TRAY 2000).** Anais do XXVI Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária y Ambiental. Lima, Peru, 1998.

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 Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública. 2000.

CHAIR, L. A. E. **Preliminary Treatment for Wastewater Facilities.** Manual os Practice OM-2; Water Environment Federation. Alexandria, USA. 1994.

CHERNICHARO, C.A.L. (Coordenador). **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbicos - Projeto PROSAB**. Rio de Janeiro, ABES: 2001.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 274 de 29 de novembro de 2000**. Padrões de Balneabilidade. Brasília, 2000.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

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

DAVIS, E. D. *et al.* **Microbiologia**. Vol.1. Editora Harper e Row do Brasil. São Paulo, 1979.

DEMONER, A. R. *et al.* **Avaliação Sanitária de Areias de Contato Primário em Escolas e Logradouros Públicos da Cidade de Vitória-ES**. Anais do 22º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, 2003.

DUARTE, U.; SALLES, F. A. F. **Avaliação da Eficiência de Barreira Reativa Instalada em Escala Piloto para Degradação Abiótica de Solventes Organoclorados**. Revista Águas Subterrâneas, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Vol. 19, n.1, p. 95-108, 2005.

ESTRELA, C. *et al.* **Estudo do efeito biológico do pH na atividade enzimática de bactérias anaeróbias**. Rev FOB, v. 2, n. 4, p. 31-38, out./dez. 1994.

ESTRELA, C. *et al.* **Mechanism of Action of Calcium and Hydroxyl Ions of Calcium Hydroxide on Tissue and Bacteria.** Rev FOB, v. 3, n. 1/4, p. 109-114, jan./dez. 1995.

ESTRELA, C. & PÉCORÁ, J. D. **Mecanismo de Ação do Hidróxido de Cálcio.** Elaborado com apoio do Programa Incentivo à Produção de Material Didático do SIAE - Pró-Reitorias de Graduação e Pós-Graduação da USP em 04 de novembro de 1997. Disponível em: [www.forp.usp.br](http://www.forp.usp.br) Acesso em: 15/05/2007.

FERNANDES, C. **Esgotos Sanitários.** Editora Universitária/UFPB. João Pessoa, 1997.

FERNANDES, F. *et al.* **Eficiência dos Processos de Desinfecção do Lodo da ETE Belém com Vista a seu Uso Agrícola.** Revista Técnica da Sanepar, 05(05): 46-58, 1996.

FERNANDES, F. **Desinfecção de Esgotos e Higienização do Lodo / Prosab.** Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento. Vitória – ES, 2000.

FLEURY, G. C. E. ; SANTIAGO, M. F.; COSTA, O. S. CORRÊA, M. P.; CAMPOS, L. C. **Avaliação do Uso Combinado da Radiação Solar com a Temperatura para Desinfecção de Água de Abastecimento.** In: Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG – CONPEEX, 2005. Anais eletrônico do XII Seminário de Iniciação Científica. Goiânia: UFG, 2005.

FRAZÃO, E. B. **Tecnologias de Rochas na Construção Civil.** Associação Brasileira de Geologia. São Paulo, 2002.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **2º Caderno de Pesquisa de Engenharia de Saúde Pública.** Brasília, 2006.

GONÇALVES, R. F. (coordenador) **Desinfecção de Efluentes Sanitários - Projeto PROSAB.** Projeto Prosab. Rio de Janeiro, ABES, Rima: 2003.

HENRIQUES, V. M. **Estudo da Composição Gravimétrica e Físico-Química dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município de Vitória – E.S.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, 1999.

JAWETZ, E. *et al.* **Microbiologia Médica.** 18<sup>o</sup> edição. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1991.

KELLER, R. P. **Novas Metodologias de Identificação de Microorganismos Patogênicos em Águas e Esgotos Sanitários.** Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento. Vitória – ES, 2000.

KODUKULA, P. S.; PRAKASAN, T. B. S.; BAZIN, M. J.; ANTONISEN, A. C. **Role of pH in biological Wastewater Treatment Process.** In: Physiological models in microbiology. CRC Press, Florida, 1988.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de Bioquímica.** 3. ed. Editora Sarvier. São Paulo: 1986.

MADER NETTO, O. S.; ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C.; TAMANINI, C. R.; FRANÇA, M. **Estudo das Variações de pH no Lodo Caleado em Função de Diferentes Dosagens de Óxido de Cálcio e Teores de Umidade.** Anais do 22<sup>o</sup> Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville – S.C., 2003.

MAIER, R.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. **Environmental Microbiology.** Editora: Academic Press, 2000.

MAIER, L. M.; OLIVEIRA, V. R.; REZENDE, K. C. R.; VIEIRA, V. D. R.; CARVALHO, C. R. **Avaliação da Presença de Fungos e Bactérias Patogênicas em Duas Praias do M. do Rio de Janeiro.** Coleção Estudos da Cidade. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Secretaria Municipal de Urbanismos, Instituto Pereira Passos. Julho, 2003.

MONTEIRO, P. C. G.; BRANDÃO, C. C. S.; SOUZA, M. A. A. **Viabilidade do Uso da Radiação Solar na Desinfecção da Água.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília – UnB, 1999.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; B., M. (Ed.). **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 203 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). ISBN 85-7383-203-7

NUVOLARI, A. *coord.* **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** Editora Edgard Blucher. São Paulo, 2003.

PASSAMANI, F. R. F. **Remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos em um ETE do tipo UASB + Biofiltro aerado submerso tratando esgoto sanitário e em lodo anaeróbio submetido à higienização por calagem ou por pasteurização.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, 2001.

PELCZAR, Jr., J. M.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações.** Vol. II. 2º edição. Makron Books. São Paulo, 1996.

PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos V.1: Concepções Clássicas de Tratamento de Esgotos.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental: BNH. 2 ed. Rio de Janeiro, 1982.

PIRES, M.R.; PATERNIANI, J. E. S. **Desinfecção de Esgoto por radiação Ultravioleta: estimativa da Intensidade e do Tempo de Exposição.** Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento. Vitória – ES, 2000.

RESOLUÇÃO SMAC Nº 081 de 28 de dezembro de 2000. **Dispõe sobre a análise e informações das condições das areias das praias do Município do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2000.

REY, L.. **Parasitologia.** Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1972.

RIBEIRO, E. N. **Avaliação de indicadores microbianos de balneabilidade em ambientes costeiros de Vitória.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, 2002.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **O que fazemos: Coleta e Tratamento de Esgoto.** Disponível em [www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br). Acesso em: 02/02/2005.

SANT'ANA, T. D. **Desinfecção por Radiação Ultravioleta em Efluentes de ETE Associando Reatores UASB e Biofiltros Aerados Submersos.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, 2001.

SANTOS, A. D. **Estudo das Possibilidades da Reciclagem dos Resíduos de Tratamento de Esgoto da Região Metropolitana de São Paulo.** Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

SATO, M. I. Z *et al.* **Estudo Preliminar para Avaliação das Condições Sanitárias de Areias das Praias do Litoral Paulista.** Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 1999.

SBRIGHI NETO, C.; HAMASSAKI, L. T. **Aspects of Construction/Demolition Waste Utilization.** In: ECO-Urbs 95. Rio de Janeiro, 1995.

SILVA, M. B. **Qualidade Sanitária de Areias de Contato Primário em Escolas e Logradouros de Vitória – E.S.** Monografia de Graduação em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

SILVA, M. O. S. A. **Análises Físico-Químicas para Controle de Estações de Tratamento de Esgotos.** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. São Paulo, 1977.

SILVEIRA, I. A.; BALTAZAR, J. H. F.; MEDEIROS, S. A. **Caracterização Física e Gravimétrica dos Resíduos de Gradeamento do Sistema de Esgotamento Sanitário Camburi – ES.** Vitória: 2005. Monografia (Pós-Graduação em Gestão Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo.

TORTORA, G. J. *et al.* **Microbiologia.** Editora Artmed, 8 ed. Porto Alegre, 2005.

TRABULSI, L. R. *et al.* **Microbiologia.** 3º edição. Editora Atheneu. São Paulo, 2002).

TRABULSI, L. R. *et al.* **Microbiologia.** 4º edição. Editora Atheneu. São Paulo, 2005).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA. **Determinação de Coliformes Totais e Fecais – Técnica de Tubos Múltiplos.** Laboratório de Química Analítica e Ambiental. Disponível em: [www.ufpa.br](http://www.ufpa.br) Acesso em: 19/04/2007.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Soil and Waste pH: method 9045C.** IN: Teste Methods for Evaluating Solid Waste: Physica/Chemical Methods (SW 846). Washington, DC, USA. 1992

VAZ, L. O.; SILVA, M. B.; RAMOS, A. D.; GONÇALVES, R. F.; CASSINI, S. T. A. **Consolidação dos Dados sobre a Qualidade Sanitária de Areias de Contato Primário em Escolas e Logradouros Públicos da Cidade de Vitória – ES.** Anais do 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, MS, 2005.



VERONESI, R. **Doenças Infecciosas e Parasitárias**. Ed. Guanabara Koogan, 6a. edição, Rio de Janeiro, 1976.

VIANNA, M. R. **Universalização do Controle Microbiológico: A Experiência Vivida por um Professor Universitário numa Companhia Estadual de Saneamento**. Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento. Vitória – ES, 2000.

ZATTONI, C. C. **Dimensionamento de Caixas de Areia**. Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2006. Disponível em: [www1.fatecsp.br/celio/caixas\\_de\\_areia.pdf](http://www1.fatecsp.br/celio/caixas_de_areia.pdf). Acesso em: 13/01/2007.

# Capítulo 9

## *Apêndices*

---

## **Capítulo 9**

### **APÊNDICES**

#### **Apêndice A**

##### **9 - Resultados da Etapa 1 – Estudos Preliminares**

Os resultados obtidos nas quatro fases dos Estudos Preliminares são apresentados a seguir.

##### **9.1 - Fase 1 - Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia**

As observações feitas nas visitas técnicas às ETEs do estudo para identificação dos pontos amostrais e os resultados da caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia são descritos a seguir.

##### **9.1.1 - Visitas técnicas às ETEs Bandeirantes e Marcílio de Noronha**

Durante a realização das visitas técnicas observou-se o gerenciamento do resíduo de caixa de areia em cada ETE e definiu-se os locais e procedimentos de coleta de amostras de areia.

Em relação ao gerenciamento do resíduo de caixa de areia, na ETE Bandeirantes, como a remoção da areia ocorre de forma mecanizada, uma caçamba acondiciona ao longo do tempo o resíduo de caixa de areia de um dia até um mês de forma separada até a empresa responsável pela destinação final transportar o resíduo até o aterro sanitário, o que pode demorar em torno de um mês segundo informação levantada com os operadores da ETE. A areia é removida constantemente e é conduzida

através de uma tubulação vertical que se encaixa a uma entrada da caçamba, como pode ser observado na Figura 9.1.



Figura 9.1 – Caçamba com resíduo de caixa de areia da ETE Bandeirantes

Na ETE Marcílio de Noronha, observou-se que o pátio da estação é um local de armazenamento a céu aberto de todos os resíduos gerados na ETE (lodo, resíduo de gradeamento e resíduo de caixa de areia) ficando todos misturados até que a empresa responsável pela destinação final faça a coleta e o transporte até aterro sanitário.

Portanto, pode-se observar que a remoção e o acondicionamento do resíduo de caixa de areia ao longo de um mês na ETE Bandeirantes é realizado adequadamente porém na ETE Marcílio de Noronha o acondicionamento é inadequado pois conforme observado na Figura 5.2 verifica-se que o resíduo de caixa de areia fica misturado ao lodo e ao resíduo de gradeamento, não ocorrendo a segregação dos resíduos, o que já representa um tratamento físico que poderia ser aplicado aos resíduos, facilitando as etapas subsequentes, como o transporte e a destinação final.

Os locais e procedimentos de coleta de amostras de areia para este estudo foram definidas a partir das visitas técnicas e levantamento de informações através de entrevistas realizadas com os operadores das estações e funcionários da Cesan.

A coleta de areia da caçamba na ETE Bandeirantes seria dificultada pois a homogeneização de todo conteúdo operacionalmente seria difícil, além de se ter misturado o resíduo gerado durante vários dias e a areia da ETE Marcílio de Noronha da forma que estava disposta não estava em condições para ser coletada. Assim, a coleta de amostras foi realizada na fonte de geração, ou seja, diretamente das caixas de areia, com auxílio de enxada e balde.

#### 9.1.1.2 – Caracterização preliminar do resíduo de caixa de areia

Quanto às características físicas, observou-se que as três pilhas do resíduo de caixa de areia apresentam alta umidade, coloração escura e forte odor e a medida que são desidratadas ao tempo, a coloração vai ficando amarronzada e o odor também diminui após 20 dias recebendo insolação natural porém sem reviramento (Figura 9.2).

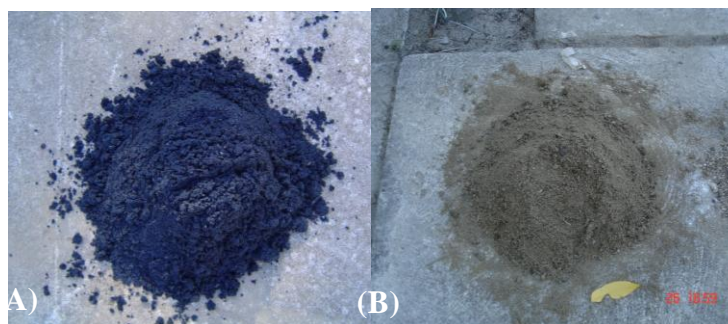


Figura 9.2 – Coloração da areia úmida (A) e seca após 20 dias (B)

Durante o período de observação, a média de precipitação pluviométrica foi de 8,26 mm, a insolação média  $222,94 \text{ W/m}^2$ , a maior registrada em todo estudo, e o tempo de insolação médio por dia igual 12,35 horas (Anexo B), sendo que após uma semana as pilhas já apresentavam a coloração amarronzada e o odor reduzido, mantendo-se assim até o 20º dia de observação.

Os primeiros resultados da caracterização físico-química e microbiológica do resíduo de caixa de areia realizados neste estudo são apresentados na Tabela 9.1.

Tabela 9.1 – Características físico-químicas e microbiológicas do resíduo de caixa de areia na Fase 1

<b>Coliformes Totais</b> (NMP/100g)	<b><i>E. Coli</i></b> (NMP/100g)	<b>Ovos de Helmintos</b> (ovos/gMS)	<b>Umidade (%)</b>
> 2419,2	$2,7 \times 10^6$	0,6	25,5

Obs: As análises de Coliformes Totais e *E.coli* foram realizadas na diluição (-4)

NMP/100g – Número Mais Provável por 100g de areia seca

Ovos/gMS – número de ovos por grama de massa seca

Na Tabela 9.1, observa-se que o parâmetro Coliformes Totais não pode ser quantificado pois na diluição adotada os valores extrapolaram o limite de detecção do método (> 2419,6). Como não existem dados de caracterização microbiológica do resíduo de caixa de areia utilizou-se a diluição (-5) baseada em quantidades médias de coliformes totais encontrados no esgoto segundo a literatura, já que a areia analisada fica imersa no esgoto *in natura*.

## 9.2 - Fase 2 – Teste de métodos de higienização do resíduo de caixa de areia

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos parâmetros analisados (CT, *E.coli*, ovos de helmintos e umidade).

- Remoção de coliformes totais e *E.coli*

Os resultados obtidos nas análises de Coliformes Totais e *E.coli* durante uma semana de tratamento das pilhas tratadas com cal hidratada, cloro granular e água sanitária expostas ao tempo, são apresentados na Tabela 9.2.

Tabela 9.2 – Resultados obtidos nas análises de CT e *E.coli* da Fase 2 dos Estudos Preliminares

Pilhas	Diluição	Coliformes Totais (NMP/100g de areia seca)				<i>E. coli</i> (NMP/100g de areia seca)			
		0h	24h	48h	1 semana	0h	24h	48h	1 semana
Areia Controle	-5	> 2419,2	>2419,2	1,9 x 10 <sup>7</sup>	>2419,2	1,2 x 10 <sup>7</sup>	1,4 x 10 <sup>7</sup>	1,3 x 10 <sup>6</sup>	7,7 x 10 <sup>5</sup>
Areia + Cal 10%	-1	-	5,6 x 10 <sup>3</sup>	>2419,2	>2419,2	-	4,1 x 10 <sup>2</sup>	7,4 x 10 <sup>1</sup>	6,1 x 10 <sup>1</sup>
Areia + Cal 35%	-1	-	4,1 x 10 <sup>2</sup>	>2419,2	< 1	-	3,1 x 10 <sup>2</sup>	< 1	< 1
Areia + Cal 50%	-1	-	<1	-	< 1	-	<1	-	< 1
Areia + Cloro T1*	-4	-	>2419,2	>2419,2	>2419,2	-	>2419,2	8,6 x 10 <sup>5</sup>	9,3 x 10 <sup>4</sup>
Areia + Cloro T2**	-4	-	>2419,2	>2419,2	>2419,2	-	>2419,2	>2419,2	1,9 x 10 <sup>5</sup>
Areia + água sanitária	-4	-	>2419,2	>2419,2	>2419,2	-	>2419,2	< 1	2,0 x 10 <sup>3</sup>

>2419,2 indica que na diluição adotada os valores extrapolaram o limite de detecção do método

< 1 indica que na diluição adotada os valores estão abaixo do limite de detecção do método

\* Cloro T1 - tratamento com cloro granular na proporção 5g para cada 10kg de areia

\*\* Cloro T2 – tratamento com cloro granular na proporção 20g para cada 10kg de areia

Como mostra a Tabela 9.2, em relação à densidade de coliformes totais e *E. coli* após uma semana de tratamento, a caleagem apresentou melhores resultados, sendo que nas proporções de 35% e 50% houve 100% de eficiência na redução tanto para coliformes quanto para *E.coli*. Na proporção 10% observou decaimento de seis unidades logarítmicas de *E. coli*. No entanto, a mistura da areia com a cal na dosagem 50% pelo fato de ter apresentado alguns torrões de cal é difícil de ser realizada.

Nas pilhas tratadas com cloro granular e água sanitária (Tabela 9.2), os resultados para coliformes totais extrapolaram o limite de detecção do método em todas as amostras analisadas, sendo possível apenas obter resultados para *E.coli* ao final de 1 semana de tratamento.

Nas pilhas com cloro granular após uma semana de tratamento, os resultados de *E.coli* demonstraram uma redução de contaminação de 3 unidades logarítmicas para Cloro T1 e de 2 unidades logarítmicas para Cloro T2, quase o mesmo decaimento da

pilha controle (2 unidades logarítmicas). Na pilha com água sanitária houve um decaimento maior (4 unidades logarítmicas), demonstrando maior eficiência dentre as pilhas misturadas com cloro granular, porém mostrou desvantagens operacionais, pois necessita de um recipiente para a imersão, tela para envolver a areia e ainda gera um percolado.

As amostras de areia controle (Tabela 9.2), que receberam apenas reviramento diário e insolação natural apresentaram decaimento de 2 unidades logarítmicas.

- Remoção de ovos de helmintos

Os resultados obtidos nas análises de detecção de ovos de helmintos durante uma semana de tratamento nas pilhas tratadas com cal hidratada, cloro granular e água sanitária expostas ao tempo, são apresentados na Tabela 9.3.

Tabela 9.3 - Resultados obtidos nas análises de Ovos de helmintos da Fase 2 dos Estudos Preliminares

Pilhas	Ovos de Helmintos (ovos/gMS)			
	0h	24h	48h	1 semana
Areia Controle	4,43	leitura inviável	1,10	0,68
Areia + Cal 10%	-	0,76	0,37	0,00
Areia + Cal 35%	-	0,00	0,00	0,00
Areia + Cal 50%	-	0,00	0,00	0,00
Areia + Cloro T1	-	2,30	1,08	0,00
Areia + Cloro T2	-	2,29	1,69	0,34
Areia + água sanitária	-	4,25	1,75	2,11

Como mostra a Tabela 9.3, nas amostras de areia tratadas com cal hidratada após uma semana de tratamento observou-se que em todas as proporções avaliadas não foram detectados nenhum ovo, sendo o tratamento mais eficiente.



Nas amostras de areia submetidas à cloração (Tabela 9.3) com cloro granular, apenas em Cloro T2 foi encontrado ovos de helminto e na areia tratada com água sanitária encontrou-se o valor mais alto de todas as amostras analisadas.

- Umidade

Os resultados obtidos nas análises de umidade durante uma semana de tratamento das pilhas tratadas com cal hidratada, cloro granular e água sanitária expostas ao tempo, são apresentados na Tabela 9.4.

Tabela 9.4 – Resultados das análises de umidade na Fase 2 dos Estudos Preliminares

Fase 2	Umidade (%)		
	24h	48h	1 semana
Areia Controle	12,71	8,89	2,55
Areia + Cal 10%	11,90	8,80	1,87
Areia + Cal 35%	9,54	6,73	3,01
Areia + Cal 50%	8,30	5,67	2,92
Areia + Cloro T1	12,94	7,79	1,75
Areia + Cloro T2	12,80	11,42	2,31
Areia + água sanitária	15,33	14,52	5,12

Durante o período de observação, choveu apenas no dia da montagem do experimento (Anexo B), a média de precipitação pluviométrica foi de 1,1 mm, a insolação média 194,35 W/m<sup>2</sup>, e o tempo de insolação médio por dia igual 11 horas.

Os valores de umidade ao final de uma semana variaram de 1,7% a 3%, com exceção da areia com água sanitária (5%), sendo os menores encontrados em todo estudo, pois foi a única fase que registrou apenas um dia de chuva.

### 9.3 - Fase 3 – Avaliação da caleagem do resíduo de caixa de areia

Da análise dos resultados obtidos na Fase 2, concluiu-se que a caleagem foi o método de tratamento que demonstrou ser o mais eficiente na redução de coliformes totais, *E.coli* e ovos de helmintos.

As amostras de areia submetidas à cloração com cloro granular e água sanitária não obtiveram 100% de eficiência na redução dos coliformes totais e *E.coli*, apresentando decaimento de 2 a 4 unidades logarítmicas para *E.coli*.

As amostras de areia controle, que receberam apenas reviramento diário e insolação natural apresentaram o menor decaimento de unidades logarítmicas.

Portanto, na Fase 3, avaliou-se a higienização apenas com a caleagem nas proporções 15%, 20%, 25% e 30%. Durante o período de observação (20 dias), choveu apenas 6 dias, porém só na primeira semana do experimento choveram 5 dias.

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos parâmetros analisados (CT, *E.coli*, ovos de helmintos, ST e umidade).

- Remoção de coliformes totais e *E.coli*

Os resultados obtidos nas análises de Coliformes Totais e *E.coli* durante uma semana de tratamento são apresentados na Tabela 9.5.

Tabela 9.5 – Resultados obtidos nas análises de CT e *E.coli* da Fase 3 dos Estudos Preliminares

Pilhas	Diluição	Coliformes Totais (NMP/100g de areia seca)				<i>E. Coli</i> (NMP/100g de areia seca)			
		0h	24h	48h	1 semana	0h	24h	48h	1 semana
Areia Controle	-5	$3,3 \times 10^8$	$4,1 \times 10^6$	$5,4 \times 10^7$	$2,3 \times 10^7$	$1,0 \times 10^7$	< 1	< 1	$2,0 \times 10^9$
Areia + cal 15%	-1	-	$1,5 \times 10^3$	> 2419,6	$6,2 \times 10^2$	-	$5,1 \times 10^2$	< 1	$6,2 \times 10^2$
Areia + cal 20%	-1	-	$8,3 \times 10^2$	> 2419,6	< 1	-	$6,2 \times 10^2$	< 1	< 1
Areia + cal 25%	-1	-	$2,2 \times 10^2$	> 2419,6	$1,0 \times 10^3$	-	< 1	< 1	$9,7 \times 10^2$
Areia + cal 30%	-1	-	< 1	> 2419,6	$2,0 \times 10^2$	-	< 1	< 1	$1,0 \times 10^2$

Como mostra a Tabela 9.5 (linha destacada em cinza), em relação à densidade de coliformes totais e *E. coli* após uma semana de tratamento, a proporção que obteve 100% de eficiência de redução foi a de 20%.

Nas proporções 15% e 30% houve decaimento de 6 unidades logarítmicas, tanto para coliformes totais quanto para *E.coli*. E na proporção 25% houve decaimento de 5 unidades logarítmicas para coliformes totais e de 6 unidades logarítmicas para *E.coli*.

Após 48 h de tratamento não foram detectados *E.coli* em nenhuma das amostras analisadas, no entanto, nas amostras controle e nas proporções 15%, 25% e 30% após 1 semana de tratamento foram detectadas. Pode ter ocorrido recrescimento bacteriano tendo sido observado nas pilhas a presença de torrões de cal, devido a maior incidência de chuvas durante a semana do experimento.

- Remoção de ovos de helmintos

Os resultados obtidos nas análises de ovos de helmintos durante uma semana de tratamento são apresentados na Tabela 9.6.

Tabela 9.6 – Resultados obtidos nas análises de ovos de helmintos da Fase 3 dos Estudos Preliminares

Pilhas	Ovos de helmintos (ovos/gMS)			
	0h	24h	48h	1 semana
Areia controle	4,61	4,13	0,75	1,11
Areia + cal 15%	-	0,00	0,00	0,00
Areia + cal 20%	-	0,00	0,00	0,00
Areia + cal 25%	-	0,00	0,00	0,00
Areia + cal 30%	-	0,00	0,00	0,00

Nas amostras de areia higienizadas com cal hidratada observou-se que em todas as proporções analisadas não foram detectados nenhum ovo e na amostra controle submetida a insolação natural observou-se uma redução de aproximadamente 76% no número de ovos de helmintos.

- Umidade

Os resultados obtidos nas análises de umidade durante uma semana de tratamento das pilhas submetidas à caleagem na Fase 3, são apresentados na Tabela 9.7.

Tabela 9.7 – Resultados das análises de umidade na Fase 3 dos Estudos Preliminares

Fase 3	Umidade (%)		
	24h	48h	1 semana
Controle	19,34	11,28	9,78
Areia + Cal 15%	17,66	13,39	12,54
Areia + Cal 20%	17,84	14,11	14,63
Areia + Cal 25%	19,00	14,87	17,43
Areia + Cal 30%	20,88	16,01	19,04

Durante o período de observação, a média de precipitação pluviométrica foi de 1,8 mm, a insolação média 142,66 W/m<sup>2</sup>, e o tempo de insolação médio por dia igual 11,25 horas.

A umidade foi maior após uma semana na areia com cal 30% e menor na areia controle, observando-se assim, que a medida que aumenta a proporção de cal, aumenta também a umidade ao final do tratamento.

Pode-se observar também que em relação à Fase anterior, a umidade após uma semana de tratamento na Fase 3 foi bem maior, isso ocorreu devido a insolação média durante o período do experimento ter sido menor e a precipitação média ter sido maior, pois na Fase 2 não choveu praticamente durante todo experimento.

- Variação de pH

Os resultados obtidos nas análises de pH durante uma semana de tratamento das pilhas submetidas à caleagem na Fase 3, são apresentados nas Tabela 9.8

Tabela 9.8 - Resultados das análises de pH na Fase 3 dos Estudos Preliminares

Pilhas	pH			
	0h	24h	48h	1 semana
Areia controle	6,61	6,96	6,46	6,29
Areia ETE + cal 15%	-	11,30	11,40	11,73
Areia ETE + cal 20%	-	11,37	11,41	11,78
Areia ETE + cal 25%	-	11,38	11,42	11,79
Areia ETE + cal 30%	-	11,44	11,42	11,82

Como pode-se observar na Tabela 9.8, notou-se na amostra de areia controle que durante uma semana de reviramento diário e insolação natural o valor de pH apresentou um pequeno decaimento. Nas amostras com cal em todas as proporções

estudadas houve um aumento brusco de pH para valores superiores a 11,3 após 24h e após uma semana observou-se um pequeno aumento de pH para valores superiores a 11,7.

#### 9.4 - Fase 4 – Ajuste de procedimentos na caleagem do resíduo de caixa de areia

A Fase 4, teve como objetivo repetir a caleagem do resíduo de caixa de areia nas mesmas dosagens avaliadas na Fase 3 visando ajustar alguns procedimentos. Durante a realização do experimento choveu apenas um dia.

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos parâmetros analisados (CT, *E.coli*, ovos de helmintos, pH e umidade).

- Remoção de Coliformes Totais e *E.coli*

Os resultados obtidos nas análises de Coliformes Totais e *E.coli* durante uma semana de tratamento na Fase 4, são apresentados na Tabela 9.9.

Tabela 9.9 – Resultados obtidos nas análises de CT e *E.coli* da Fase 4 dos Estudos Preliminares

Pilhas	Diluição	Coliformes Totais (NMP/100g de areia seca)			<i>E. coli</i> (NMP/100g de areia seca)		
		0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	-6	$3,6 \times 10^7$	$1,9 \times 10^7$	$1,2 \times 10^8$	$5,2 \times 10^6$	< 1	$8,5 \times 10^5$
Areia + Cal 15%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 20%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 25%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 30%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1

Como pode-se observar na Tabela 5.8, em todas as pilhas submetidas à caleagem após uma semana de tratamento não foram detectados coliformes totais e *E. coli*. Os

ajustes de procedimento em relação a homogeneização da cal e higienização do pátio corroboraram com os resultados, obtendo-se 100% de eficiência na remoção das bactérias.

- Remoção de ovos de helmintos

Os resultados obtidos nas análises de ovos de helmintos durante uma semana de tratamento são apresentados na Tabela 9.10.

Tabela 9.10 – Resultados obtidos nas análises de ovos de helmintos da Fase 4 dos Estudos Preliminares

<b>Pilhas</b>	<b>Ovos de helmintos (ovos/gMS)</b>		
	<b>0h</b>	<b>48h</b>	<b>1 semana</b>
Areia controle	2,40	-	2,18
Areia + cal 15%	-	0,00	0,00
Areia + cal 20%	-	0,00	0,00
Areia + cal 25%	-	0,00	0,00
Areia + cal 30%	-	0,00	0,00

Nas amostras de areia higienizadas com cal hidratada observou-se que em todas as proporções analisadas não foram detectados nenhum ovo.

- Umidade

Os resultados obtidos nas análises de umidade durante uma semana de tratamento das pilhas submetidas à caleagem na Fase 3, são apresentados na Figura 9.11.

Tabela 9.11 – Resultados das análises de umidade na Fase 4 dos EP

Campanha 1	Umidade (%)		
	0h	48h	1 semana
Controle	16,68	10,02	8,32
Areia + Cal 15%	-	10,59	8,29
Areia + Cal 20%	-	14,66	11,46
Areia + Cal 25%	-	15,79	11,71
Areia + Cal 30%	-	23,27	13,77

Durante o período de observação, choveu nos seis primeiros dias do experimento (Anexo B), a média de precipitação pluviométrica foi de 3,57 mm, a insolação média 141,51 W/m<sup>2</sup>, a menor de todo o estudo, e o tempo de insolação médio por dia igual 13,43 horas.

Como pode-se observar na Figura 9.6, a umidade foi menor na amostra controle após uma semana de tratamento, e nas amostras com cal, a umidade aumenta a medida que também aumenta a dosagem de cal hidratada aplicada, assim como observado na fase anterior.

- Variação de pH

Os resultados obtidos nas análises de pH durante uma semana de tratamento das pilhas submetidas à caleagem na Fase 4, são apresentados nas Tabela 9.12.



Tabela 9.12 - Resultados das análises de pH na Fase 4 dos Estudos Preliminares

Pilhas	pH		
	0h	48h	1 semana
Controle	7,07	6,6	6,47
Areia + Cal 15%	-	11,48	11,50
Areia + Cal 20%	-	11,51	11,51
Areia + Cal 25%	-	11,52	11,54
Areia + Cal 30%	-	11,54	11,51

Como pode-se observar na Tabela 9.12, em todas as amostras com cal, o pH elevou-se para valores superiores a 11,5 após uma semana de tratamento.

# Capítulo 10

## *Anexos*

---

## ANEXO A

### Técnica adaptada de detecção e identificação de ovos de helmintos segundo Meyer (1978).

1. Pesar 30 gramas do resíduo em um Becker (600 ml) e completar o volume até 300 ml com água destilada. Vedar com papel alumínio
2. Colocar no shake (agitador) por 10 min, a 200 rpm
3. Filtrar a amostra com peneira e gase, lavar o que ficou retido com Tween e água
4. Dividir o filtrado em 4 cápsulas e adicionar um pouco de tween. Pesar os pares 1/3 e 2/4 para igualar. Completar, se necessário, com água.
5. Centrifugar durante 5 min à 2800 rpm, descartar o sobrenadante e acrescentar tween e água destilada para centrifugar novamente. Repetir o processo até clarificar a amostra
6. Após clarificação, descartar o sobrenadante e adicionar 75 ml de Sulfato de Zinco (densidade 1,33) e centrifugar.
7. Deixar em repouso por 2 min
8. Filtrar em membrana 0,45 µm. Descartar o filtrado.
9. Colocar a membrana numa placa de petri com 10 ml de Ácido sulfúrico a 0,1N e raspar a membrana com ajuda de uma placa.
10. Transferir 1 mL da amostra para a câmara de Sedwick-Rafter, cobrir com lâmina, e contar os quadrados. Repetir o procedimento por mais duas vezes. Tirar média das contagens.

Os resultados são expressos em n°ovos/gMS.

Cálculo do resultado final:

$$\frac{\text{Média de ovos} \times 3}{(\text{ST} \times 30 / 1000)}$$

OBS: ST – Sólidos Totais

## ANEXO B

### Monitoramento Meteorológico dos Estudos Preliminares

<b>Fases</b>	<b>Data</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Insolação média (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tempo de Insolação (h)</b>
<b>Fase 1</b>	7/3/2006	0,4	243,96	13
	8/3/2006	28,4	147,39	12
	9/3/2006	9	181,52	11
	10/3/2006	68,2	162,04	12
	11/3/2006	26	138,09	11
	12/3/2006	0,6	257,43	12
	13/3/2006	0	292,87	12
	14/3/2006	3	270,52	12
	15/3/2006	1	258,22	12
	16/3/2006	0	189,87	12
	17/3/2006	0,4	186,70	12
	18/3/2006	8,6	98,74	11
	19/3/2006	9	126,39	11
	20/3/2006	0	201,48	11
	21/3/2006	0	237,96	12
	22/3/2006	0	231,78	12
	23/3/2006	3	235,39	12
	24/3/2006	0,4	261,48	12
	25/3/2006	0	257,52	12
	26/3/2006	7,2	230,78	12
27/3/2006	0	248,74	11	
	<b>Média</b>	<b>8,26</b>	<b>222,94</b>	<b>12,35</b>
<b>Fase 2</b>	25/4/2006	8,8	204,22	11
	26/4/2006	0	217,74	11
	27/4/2006	0	192,52	11
	28/4/2006	0	132,96	11
	29/4/2006	0	180,57	11
	30/4/2006	0	190,26	11
	1/5/2006	0	220,35	11
	2/5/2006	0	216,22	11
		<b>Média</b>	<b>1,1</b>	<b>194,35</b>
<b>Fase 3</b>	11/7/2006	0	174,57	11
	12/7/2006	0,6	165,00	13
	13/7/2006	0,4	97,96	11
	14/7/2006	0,4	170,78	11
	15/7/2006	0	140,83	11
	16/7/2006	12,8	73,13	11
	17/7/2006	0,2	144,57	11
	18/7/2006	0	174,48	11

	<b>Média</b>	1,80	142,66	11,25
<b>Fase 4</b>	4/9/2006	5,4	149,48	12
	5/9/2006	8,6	53,13	11
	6/9/2006	1	102,96	11
	7/9/2006	5,2	55,52	12
	8/9/2006	0,8	130,65	12
	9/9/2006	4	166,74	12
	10/9/2006	0	230,26	12
	11/9/2006	0	243,35	12
	<b>Média</b>	3,57	141,51	13,43

Fonte: Rede Automática de monitoramento da qualidade do ar da região da Grande Vitória

Obs: Não existem dados de insolação para o período referente a Fase 4

**Anexo C**  
**Monitoramento Meteorológico do Estudo Piloto**

Campanhas	Data	Precipitação (mm)	Insoleção média (W/m <sup>2</sup> )	Tempo de Insoleção (h)	Campanhas	Data	Precipitação (mm)	Insoleção média (W/m <sup>2</sup> )	Tempo de Insoleção (h)
Campanha 1	26/9/2006	4,6	70,65	12	Campanha 4	28/11/2006	1	205,61	13
	27/9/2006	5,4	161,13	12		29/11/2006	0	229,17	13
	28/9/2006	0,2	233,74	12		30/11/2006	4,4	109,65	12
	29/9/2006	0	254,22	12		1/12/2006	79,6	48,13	12
	30/9/2006	0,2	253,70	12		2/12/2006	0,2	214,65	12
	1/10/2006	26,6	61,48	12		3/12/2006	0	187,87	12
	2/10/2006	0	172,30	12		4/12/2006	0	269,43	12
	3/10/2006	0,6	205,43	12		5/12/2006	0	277,17	12
	<b>Média</b>	<b>4,7</b>	<b>176,58</b>	<b>12</b>		<b>Média</b>	<b>10,65</b>	<b>192,71</b>	<b>12,25</b>
Campanha 2	3/10/2003	0,6	205,43	12	4/12/2006	0	269,43	12	
	4/10/2003	0	203,96	12	5/12/2006	0	277,17	12	
	5/10/2003	0	226,43	12	6/12/2006	0	277,78	12	
	6/10/2003	0	288,61	12	7/12/2006	10,6	112,52	12	
	7/10/2003	2,8	188,87	12	8/12/2006	7,8	91,96	13	
	8/10/2003	1,4	162,09	12	9/12/2006	8	123,22	12	
	9/10/2003	0	200,91	12	10/12/2006	90,6	75,09	12	
	10/10/2003	0	266,13	12	11/12/2006	13	96,43	12	
	<b>Média</b>	<b>0,6</b>	<b>217,80</b>	<b>12</b>	<b>Média</b>	<b>16,25</b>	<b>165,45</b>	<b>12,13</b>	
	Campanha 3	23/10/2006	23,8	139,30	12	<b>Média das Campanhas</b> <b>6,56</b> <b>184,05</b> <b>12,3</b> Fonte: Rede Automática de monitoramento da qualidade do ar da região da Grande Vitória			
24/10/2006		2,2	180,04	12					
25/10/2006		0,4	145,48	12					
26/10/2006		0	318,70	12					
27/10/2006		0	269,48	12					
28/10/2006		5,4	140,74	12					
29/10/2006		0	172,43	12					
30/10/2006		0,8	315,87	12					
<b>Média</b>		<b>4,08</b>	<b>210,26</b>	<b>12</b>					

**ANEXO D**  
**Análise Estatística**

A Tabela 1 abaixo apresenta os resultados do teste F e o respectivo p-valor para as médias comparadas. Os resultados indicam não existir diferença estatisticamente significativa entre os grupos, tempos e tempo\*grupo para as três variáveis estudadas, exceto para a variável pH encontramos diferenças entre os grupos. O teste a posteriori de Duncan ao nível de 5% para esta variável indica que o grupo controle é diferente dos demais e todos os outros não têm diferença estatística entre si.

Tabela 1: Resultado da Anova para medidas repetidas

<b>Fator</b>	<b>Umidade</b>		<b>Sólidos Totais</b>		<b>pH</b>	
	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>grupo</b>	1.4795	0.238547	1.48	0.238547	86.520	0.000000
<b>TEMPO</b>	0.9583	0.338763	0.96	0.338763	1.923	0.180113
<b>TEMPO*grupo</b>	0.1142	0.987882	0.11	0.987882	0.326	0.891760

## ANEXO E

### Resultados obtidos nas análises de determinação do teor de matéria orgânica

Determinação do teor de matéria orgânica segundo NBR NM49/2001			
Campanhas	Amostras		
	Areia Controle	Areia + cal 10%	Areia + cal 15%
1	acima	abaixo	abaixo
2	acima	abaixo	abaixo
3	acima	abaixo	abaixo
4	acima	abaixo	abaixo
5	acima	abaixo	abaixo

OBS: Limite: 300ppm



## ANEXO F

### Resultados do Estudo Piloto – Variação de pH

Campanha 1	Umidade (%)			pH		
	0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	18,56	12,25	10,75	6,79	6,28	7,1
Areia + Cal 15%	-	11,43	10,89	-	12,51	12,59
Areia + Cal 20%	-	14,96	15,93	-	12,54	12,63
Areia + Cal 25%	-	19,45	20,21	-	13,13	12,77
Areia + Cal 30%	-	14,90	17,22	-	12,97	12,92
Campanha 2	Umidade (%)			pH		
	0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	15,88	10,28	6,27	6,39	6,3	6,04
Areia + Cal 15%	-	8,05	9,52	-	12,14	11,75
Areia + Cal 20%	-	8,10	5,04	-	12,06	11,74
Areia + Cal 25%	-	9,07	4,98	-	12,03	11,76
Areia + Cal 30%	-	7,32	6,69	-	12,05	11,67
Campanha 3	Umidade (%)			pH		
	0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	20,36	11,99	7,80	4,86	4,38	4,4
Areia + Cal 10%	-	13,34	6,19	-	11,19	11,24
Areia + Cal 15%	-	13,36	7,47	-	11,50	11,40
Areia + Cal 20%	-	14,03	10,41	-	11,53	11,61
Campanha 4	Umidade (%)			pH		
	0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	18,90	12,99	2,92	6,66	5,75	4,06
Areia + Cal 10%	-	12,09	1,95	-	10,88	11,74
Areia + Cal 15%	-	12,18	2,88	-	12,00	12,13
Areia + Cal 20%	-	13,18	3,35	-	12,06	12,25
Campanha 5	Umidade (%)			pH		
	0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	17,44	6,75	11,54	7,20	5,43	4,48
Areia + Cal 10%	-	3,52	17,31	-	12,01	11,35
Areia + Cal 15%	-	2,21	18,98	-	12,04	10,62
Areia + Cal 20%	-	4,76	20,24	-	12,09	11,64

## ANEXO G

### Resultados do Estudo Piloto – Ovos de Helmintos

Campanha 1	Ovos de helmintos (ovos/gMS)			
	0h	24h	48h	1 semana
Areia controle	4,61	4,13	0,75	1,11
Areia + cal 15%	-	0,00	0,00	0,00
Areia + cal 20%	-	0,00	0,00	0,00
Areia + cal 25%	-	0,00	0,00	0,00
Areia + cal 30%	-	0,00	0,00	0,00
Campanha 2	Ovos de helmintos (ovos/gMS)			
	0h	24h	48h	1 semana
Areia controle	3,47	-	1,48	1,39
Areia + cal 15%	-	-	0,00	0,00
Areia + cal 20%	-	-	0,00	0,00
Areia + cal 25%	-	-	0,00	0,00
Areia + cal 30%	-	-	0,00	0,00
Campanha 3	Ovos de helmintos (ovos/gMS)			
	0h	24h	48h	1 semana
Areia controle	2,40	-	-	2,18
Areia + cal 15%	-	-	-	0,00
Areia + cal 20%	-	-	-	0,00
Areia + cal 25%	-	-	-	0,00
Areia + cal 30%	-	-	-	0,00
Campanha 4	Ovos de helmintos (ovos/gMS)			
	0h	24h	48h	1 semana
Areia controle	2,46	-	-	1,87
Areia + cal 15%	-	-	-	0,00
Areia + cal 20%	-	-	-	0,00
Areia + cal 25%	-	-	-	0,00
Areia + cal 30%	-	-	-	0,00
Campanha 5	Ovos de helmintos (ovos/gMS)			
	0h	24h	48h	1 semana
Areia controle	1,98	-	-	1,42
Areia + cal 15%	-	-	-	0,00
Areia + cal 20%	-	-	-	0,00
Areia + cal 25%	-	-	-	0,00
Areia + cal 30%	-	-	-	0,00

## ANEXO H

### Resultados do Estudo Piloto – Coliformes totais e *E. coli*

Campanha 1	Diluição	Coliformes Totais (NMP/100ml)			<i>E. coli</i> (NMP/100ml)		
		0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	-6	$3,6 \times 10^7$	$1,9 \times 10^7$	$1,2 \times 10^8$	$5,2 \times 10^6$	< 1	$8,5 \times 10^5$
Areia + Cal 15%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 20%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 25%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 30%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Campanha 2	Diluição	Coliformes Totais (NMP/100ml)			<i>E. coli</i> (NMP/100ml)		
		0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	-6	$2,4 \times 10^7$	$1,9 \times 10^7$	> 2419,6	$1,0 \times 10^6$	$5,2 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$
Areia + Cal 15%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 20%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 25%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 30%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Campanha 3	Diluição	Coliformes Totais (NMP/100ml)			<i>E. coli</i> (NMP/100ml)		
		0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	-6	$2,8 \times 10^7$	$2,6 \times 10^8$	$1,1 \times 10^7$	$2,0 \times 10^6$	$2,0 \times 10^6$	< 1
Areia + Cal 15%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 20%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 25%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 30%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Campanha 4	Diluição	Coliformes Totais (NMP/100ml)			<i>E. coli</i> (NMP/100ml)		
		0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	-6	$6,3 \times 10^6$	$1,04 \times 10^6$	$4,8 \times 10^6$	$2,0 \times 10^6$	$4,1 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$
Areia + Cal 10%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 15%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 20%	-1	-	> 2419,6	< 1	-	< 1	< 1
Campanha 5	Diluição	Coliformes Totais (NMP/100ml)			<i>E. coli</i> (NMP/100ml)		
		0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
Controle	-6	$4,1 \times 10^6$	> 2419,6	$2,4 \times 10^6$	< 1	$1,9 \times 10^6$	$8,6 \times 10^5$
Areia + Cal 10%	-1	-	$2,4 \times 10^6$	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 15%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1
Areia + Cal 20%	-1	-	< 1	< 1	-	< 1	< 1

