

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE PATÓGENOS
NO LODO LÍQUIDO ESTABILIZADO DE ETE
(PROCESSO AERÓBIO) QUANDO APLICADO
AO SOLO ARENOSO-SILTOSO**

Marta Siviero Guilherme Pires

**Campinas, SP
2003**

**UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE PATÓGENOS
NO LODO LÍQUIDO ESTABILIZADO DE ETE
(PROCESSO AERÓBIO) QUANDO APLICADO
AO SOLO ARENOSO-SILTOSO**

Candidata: Marta Siviero Guilherme Pires

Orientador: Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho

Tese de doutorado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

**Campinas, SP
2003**

**UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE**

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese.

Bruno Coraucci Filho 20/03/04

Prof. Dr. *Bruno Coraucci Filho*
Matrícula: 2003

200404221

IDADE AL
CHAMADA T/UNICAMP
P665a
EX
IMBO BC/ 57355
OC 16.117-04
D α
EQO 12,00
ATA 08/04/04
CPD _____

CMD0195E25-7

BIB 11) 313547

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

P665a Pires, Marta Siviero Guilherme
Avaliação da presença de patógenos no lodo líquido estabilizado de ETE (processo aeróbio) quando aplicado ao solo arenoso-siltoso / Marta Siviero Guilherme Pires.--Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Bruno Coraucci Filho
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

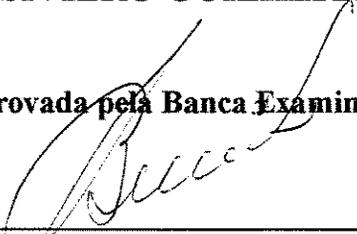
1. Águas residuais. 2. Helminto. 3. Protozoários. 4. Resíduos. I. Coraucci Filho, Bruno. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE PATÓGENOS NO LODO
LÍQUIDO ESTABILIZADO DE ETE (PROCESSO AERÓBIO)
QUANDO APLICADO AO SOLO ARENOSO-SILTOSO**

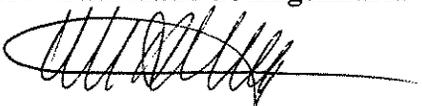
MARTA SIVIERO GUILHERME PIRES

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho

Presidente e Orientador / Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP



Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo
Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP



Prof. Dr. Antonio Roberto Siviero
Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP



Profa. Dra. Urara Kawazoe
Instituto de Biologia - UNICAMP



Profa. Dra. Dolores Ursula Mehnert
Instituto de Ciências Biomédicas - USP

Campinas, 23 de outubro de 2003

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao
Marco, meu marido

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que ajudaram de alguma forma a realização deste trabalho, em especial:

- ✓ Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho pela orientação e amizade durante estes anos de convívio;
- ✓ Aos funcionários da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, em especial aos do Departamento de Saneamento e Ambiente, secretaria de pós-graduação e secretaria do departamento;
- ✓ Ao CESET por ceder espaço para montagem do experimento e laboratórios para execução de algumas análises;
- ✓ Ao motorista Saul pela ajuda nas coletas de lodo;
- ✓ Ao Departamento de Água e Esgoto de São Bernardo do Campo – SP - Engenheiro Mauro Valeri e funcionários da ETE Riacho Grande, em especial Roberto Gaúcho – por ceder e coletar o lodo;
- ✓ As bolsistas do CESET Cristiane, Tatila, Renata, Andréia, Elizeth e Ronaldo S. pela ajuda na montagem dos protótipos e execução das análises de respirometria;
- ✓ As biólogas Ana Carolina e Tatiana pela ajuda na realização de análises;
- ✓ As amigas Andréia e Patricia pela amizade, companheirismo e bons momentos nas “festas” de aplicação de lodo;
- ✓ Aos amigos Carol, Alexandre P., Edmar, Renata M, Edson, Angela, Gustavo, Rosiléia, Luiz Carlos, Enelton, Oba, Lígia, Cristiano, Archimedes, Verônica, Adriano, Ricardo, Osvaldo, Alexandre K., Saulo, Paulo, Camilla, Márcia e demais colegas pelo ambiente descontraído no laboratório e salinha;

- ✓ À minha família que sempre me apoiou e incentivou;
- ✓ Ao Marco, meu marido, pela ajuda em algumas aplicações de lodo, compreensão, carinho, paciência, amizade e amor.

Agradecimentos especiais à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, que apoiou este projeto através de bolsa de estudo, processo 99/05269-9.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
RESUMO	XVIII
ABSTRACT	XIX
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivos gerais.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Perspectivas de geração e utilização dos biossólidos.....	10
3.2. Normas para utilização do lodo.....	15
3.2.1. Normas CETESB.....	16
3.2.2. Norma da SANEPAR.....	18
3.2.3. Limite de patógenos no lodo fixado pelas normas.....	19
3.3. Patógenos presentes no lodo.....	21
3.3.1. Protozoários patogênicos.....	29
3.3.2. Helmintos.....	33
3.4. Processos de desinfecção do lodo.....	36
3.4.1. Calagem.....	36
3.4.2. Tmeperatura.....	38

3.4.3 Desinfecção utilizando luz solar.....	38
3.5. A experiência Brasileira na utilização de Biossólidos.....	41
4. METODOLOGIA.....	48
4.1. Montagem dos protótipos.....	49
4.2. Montagem dos coletores de drenagem livre.....	52
4.3. Caracterização do solo.....	52
4.4. Lodo de esgoto.....	53
4.5. Doses de aplicação de lodo.....	53
4.6. Determinação do volume de lodo a ser aplicado em cada dose.....	53
4.7. Aplicação do lodo de esgoto.....	54
4.8. Respirimetria.....	55
4.8.1. Montagem dos respirômetros.....	56
4.9. Freqüência de amostragem.....	56
4.10 Análise parasitológica do lodo, mistura solo/lodo e percolado.....	57
4.10.1. Análise do lodo e solo (Mistura solo/lodo).....	57
4.10.2. Análise do percolado.....	59
4.10.3. Técnica de coloração para <i>Cryptosporidium</i>	59
4.11. Desinfecção do lodo.....	60
4.11.1. Calagem.....	60
4.11.2. Desinfecção solar.....	61
4.12. Testes de comparação de metodologia.....	62
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
5.1 Caracterização do lodo e solo.....	64
5.2. Helminhos e Protozoários Presentes no Lodo.....	65
5.3. Análise do Solo que recebeu lodo de Esgoto.....	68
5.3.1 Análise do Solo que deixou de receber aplicação de lodo.....	96
5.4. Análise do Líquido percolado.....	100
5.5. Resultados dos Testes de Calagem.....	104
5.6 Desinfecção Natural com Luz Solar.....	108
5.6.1 Variação da Temperatura.....	108
5.6.2 Helminhos e Protozoários.....	109

5.6.3 Coliformes totais e <i>E. coli</i>	111
5.7. Testes de comparação de metodologia para determinação de cistos e ovos.....	121
5.8. Dificuldades encontradas na pesquisa.....	122
6. CONCLUSÃO.....	125
7. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Estimativa do uso e disposição do lodo (1998)	13
Figura 3.2 – Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	30
Figura 3.3 – Cistos de <i>Giardia duodenalis</i>	30
Figura 3.4 – Ovos de helmintos encontrados no esgoto	34
Figura 4.1 – Vista geral dos protótipos no local de experimento	49
Figura 4.2 – Detalhe do protótipo usado para aplicação de lodo	49
Figura 4.3 – Esquema de distribuição dos protótipos no terreno	50
Figura 4.4 – Protótipo com os coletores e descarte de fundo (seta)	51
Figura 4.5 – Aplicação do lodo líquido no solo	54
Figura 4.6 – Conjunto de respirômetros usados no experimento	55
Figura 4.7 – Esquema da metodologia usada para contagem de ovos e cistos no lodo e mistura solo/lodo	58
Figura 4.8 – Experimento de desinfecção solar	61
Figura 5.1 – Principais patógenos encontrados no lodo da ETE Riacho Grande SBC-SP (média de 20 aplicações)	68
Figura 5.2 – Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 1ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	70
Figura 5.3 – Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 2ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	71

Figura 5.4 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 3ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	72
Figura 5.5 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 4ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	73
Figura 5.6 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 5ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	74
Figura 5.7 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 6ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	75
Figura 5.8 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 7ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	76
Figura 5.9 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 8ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	77
Figura 5.10 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 9ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	78
Figura 5.11 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 10ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	79
Figura 5.12 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 11ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	80
Figura 5.13 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 12ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	81
Figura 5.14 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 13ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	82

Figura 5.15 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 14ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	83
Figura 5.16 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 15ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	84
Figura 5.17 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 16ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	85
Figura 5.18 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 17ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	86
Figura 5.19 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 18ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	87
Figura 5.20 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 19ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	88
Figura 5.21 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo, após 20ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)	89
Figura 5.22 – Variação do número de patógenos para a dose 2,5 TSS/ha nas 20 aplicações de lodo	92
Figura 5.23 – Variação do número de patógenos para a dose 5 TSS/ha nas 20 aplicações de lodo	93
Figura 5.24 – Variação do número de patógenos para a dose 5 TSS/ha pH corrigido nas 20 aplicações de lodo	93
Figura 5.25 – Variação do número de patógenos para a dose 7,5 TSS/ha nas 20 aplicações de lodo	94
Figura 5.26 – Comparação entre número de helmintos e protozoários presentes no solo após aplicação de lodo	95
Figura 5.27 – Resultados comparativos entre solo que recebe e deixou de receber aplicação de lodo para dose de aplicação 2,5TSS/ha	97

Figura 5.28 - Resultados comparativos entre solo que recebe e deixou de receber aplicação de lodo para dose de aplicação 5,0TSS/ha	98
Figura 5.29 - Resultados comparativos entre solo que recebe e deixou de receber aplicação de lodo para dose de aplicação 5,0TSS/ha (pH corrigido)	98
Figura 5.30 - Resultados comparativos entre solo que recebe e deixou de receber aplicação de lodo para dose de aplicação 7,5TSS/há	99
Figura 5.31 – Resultados obtidos para calagem 20% para dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha	104
Figura 5.32 – Resultados obtidos para calagem 30% para dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha	105
Figura 5.33 – Resultados obtidos para calagem 50% para dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha	105
Figura 5.34 – Resultados obtidos para calagem 20% para dose de aplicação de lodo de 7,5 TSS/ha	106
Figura 5.35 – Resultados obtidos para calagem 30% para dose de aplicação de lodo de 7,5 TSS/ha	106
Figura 5.36 – Resultados obtidos para calagem 50% para dose de aplicação de lodo de 7,5 TSS/ha	107
Figura 5.37 – Valores de coliformes totais presentes no solo após 1ª aplicação de lodo	112
Figura 5.38 – Valores de <i>E. coli</i> presentes no solo após 1ª aplicação de lodo	113
Figura 5.39 - Valores de coliformes totais presentes no solo após 2ª aplicação de lodo	114
Figura 5.40 - Valores de <i>E. coli</i> presentes no solo após 2ª aplicação de lodo	115
Figura 5.41 - Valores de coliformes totais presentes no solo após 3ª aplicação de lodo	116
Figura 5.42 - Valores de <i>E. coli</i> presentes no solo após 3ª aplicação de lodo	117
Figura 5.43 - Valores de coliformes totais presentes no solo após 4ª aplicação de lodo	118
Figura 5.44 - Valores de <i>E. coli</i> presentes no solo após 4ª aplicação de lodo	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Produção de lodo de esgoto em sistemas aeróbios e anaeróbios	07
Tabela 3.2 – Composição química típica do lodo cru e digerido	08
Tabela 3.3 – Teores máximos de metais pesados permitidos no lodo para que o mesmo possa ser usado na agricultura (CETESB)	10
Tabela 3.4 – Previsão da produção diária de lodo para o ano de 2005, na Região Metropolitana de São PauloRMSP	11
Tabela 3.5 – Comparação entre nutrientes do lodo e fertilizantes	14
Tabela 3.6 – Principais agentes patogênicos presentes no lodo de esgoto	22
Tabela 3.7 – Concentração de agentes patogênicos presentes em diferentes categorias de lodo	23
Tabela 3.8 – Concentração de patógenos em biossólidos produzidos em diversas ETEs do Brasil	24
Tabela 3.9 – Patógenos e dose infectante	27
Tabela 3.10 – Tempo de sobrevivência de patógenos no solo	28
Tabela 3.11 – Destino final do lodo	42
Tabela 5.1 – Caracterização do solo utilizado no experimento	64
Tabela 5.2 – Caracterização do lodo –parâmetros analisados no lodo bruto antes das aplicações no solo (valores médios)	65
Tabela 5.3 – Número de cistos, ovos e larvas no lodo bruto nas 20 aplicações	66
Tabela 5.4 – Número de ovos/cistos por 50ml de percolado para a dose de aplicação de lodo de 2,5 TSS/ha	101

Tabela 5.5 - Número de ovos/cistos por 50ml de percolado para a dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha	101
Tabela 5.6 – Número de ovos/cistos por 50 ml de percolado para a dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha (corrigido)	102
Tabela 5.7 – Número de ovos/cistos por 50ml de para a dose de aplicação de lodo de 7,5 TSS/ha	102
Tabela 5.8 – Média da variação da temperatura nos diferentes sombreamentos nos meses de verão e inverno	108
Tabela 5.9 – Número de helmintos e protozoários encontrados no solo (100g) na 1ª aplicação de lodo	109
Tabela 5.10 - Número de helmintos e protozoários encontrados no solo (100g) na 2ª aplicação de lodo	110
Tabela 5.11 - Número de helmintos e protozoários encontrados no solo (100g) na 3ª aplicação de lodo	110
Tabela 5.12 - Número de helmintos e protozoários encontrados no solo (100g) na 4ª aplicação de lodo	110
Tabela 5.13 – Resultados obtidos para os 4 métodos empregados para análise de efluente líquido (média de 5 repetições)	121
Tabela 5.14 – Resultados obtidos para os 4 métodos empregados para análise de solo (média de 5 repetições)	122

LISTA DE SÍMBOLOS

cm – centímetros

ETE – estação de tratamento de esgotos

g - grama

g SST/habitante.dia – gramas de sólidos suspensos totais por habitante dia

g/L – grama por Litro

h – hora

ha – hectare

L – litros

L/s – litros por segundo

m – metros

m³/habitante.ano – metros cúbicos por habitante ano

mL – mililitro

N - nitrogênio

NMP/100mL – número mais provável por cem mililitros

NMP/100g – número mais provável por cem gramas

NMP/4g ST – número mais provável por quatro gramas de sólidos totais

NMP/g – número mais provável por grama

°C – graus Celsius

ovos viáveis/4g – ovos viáveis por quatro gramas

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

ST – sólidos totais

t/d – toneladas por dia

t/ha – toneladas por hectare

tss/ha – toneladas de sólidos secos por hectare

uv- ultra-violeta

RESUMO

Pires, M S G . Análise da Presença de Patógenos no Lodo Líquido Estabilizado de ETE (Processo Aeróbio) Quando Aplicado ao Solo Arenoso-Siltoso, Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003,138p..Tese de Doutorado.

O lodo de esgoto é um resíduo gerado no final do processo de tratamento de esgotos. É produzido em grandes quantidades e há necessidade de promover sua disposição de maneira adequada. A disposição do lodo no solo é uma alternativa que combina reuso e reciclagem de constituintes orgânicos e minerais, pois o lodo contém matéria orgânica e elementos como N e P, que são importantes para o desenvolvimento das plantas. No entanto, este lodo pode estar contaminado por patógenos, como os protozoários e helmintos, ou por metais pesados, causando problemas em relação à disposição. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a presença destes patógenos no solo e no líquido percolado que recebeu aplicação de lodo em 3 dosagens diferentes: 2,5 ; 5,0 e 7,5 TSS/ha, com pH natural e 5,0 TSS/ha pH corrigido, além do grupo controle. Também foram testadas duas formas de desinfecção do lodo: calagem (20, 30 e 50%) e desinfecção natural utilizando a luz solar, sendo que neste experimento, além de helmintos e protozoários, foram feitas análises de coliformes totais e *E. coli*. Os resultados obtidos para aplicação de lodo no solo mostram que os patógenos concentram-se na camada superficial do solo (0-20cm), e quanto maior a dose de lodo aplicada maior a concentração destes organismos. No líquido percolado não foram detectados patógenos. Os testes de calagem indicam que a 50% os patógenos são eliminados em 15 dias, e o experimento de desinfecção natural também demonstra que este método pode ser utilizado, com eliminação total da *E. coli* também em período de 15 dias.

Palavras-chaves – lodo de esgoto, patógenos , helmintos, protozoários, reuso

ABSTRACT

Pires, M S G . Análise da Presença de Patógenos no Lodo Líquido Estabilizado de ETE (Processo Aeróbio) Quando Aplicado ao Solo Arenoso-Siltoso, Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003,138p..Tese de Doutorado.

Sewage sludge is a residue from wastewater treatment process that has been produced in large scale and must be disposed appropriately. Land disposal of sludge is an alternative that arrange reuse and recycling of organic and mineral constituents like nitrogen (N) and phosphorus (P). However, sludge can be contaminated with pathogens, helminth and protozoan, or heavy metal, causing problems with disposal. The objective was to evaluate the pathogens in soil and infiltrated liquid in soil, that received sewage sludge application in three different dosages: 2,5; 5,0 e 7,5 TDS/ha in natural pH and 5,0TDS/ha in corriged pH. There were tested two forms os sludge disinfection: chemical stabilization with lime a (20, 30 and 50%) and natural solar disinfection. In the last was checkin total coliforms and *E. coli*. The research to land application in soil shows that the pathogens are concentrating on superficial layer at soil (0-20cm) and the concentration increases in accordance with elevation dosage. In the infiltrated liquid has not been detected pathogens. The chemical stabilization with lime (50%) shows that pathogens are eliminated within 15 days. Solar disinfection proved an alternative efficient, with destruction of E coli within 15 days too.

Key words: sewage sludge, pathogens, helminth, protozoan, reuse.

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos é um dos principais problemas ambientais provocados pelo modo de vida da sociedade e que deve ser controlado, seja através da minimização da geração destes resíduos, ou de programas que visem sua reciclagem e reuso.

Como exemplo de um resíduo que precisa ser adequadamente disposto pode-se citar o lodo de esgoto, que é gerado no final do processo de tratamento. Este resíduo possui grande concentração de matéria orgânica e elementos químicos, que são importantes para as plantas, como fósforo e nitrogênio além de ser condicionador do solo. Por apresentar estas propriedades, uma alternativa viável de disposição do lodo pode ser sua utilização para recuperação de áreas degradadas ou uso agrícola, combinando reciclagem e reuso, além de ser uma forma de disposição atraente, considerando também a questão econômica.

No Brasil, o lodo começou a ser estudado há pelo menos dez anos, visando a reciclagem agrícola como uma alternativa de disposição, pois o problema da geração do lodo deve aumentar com a necessidade cada vez maior de realizar tratamento de esgoto e água, que tem como produto final o lodo, o qual deverá ter um destino final adequado.

A aplicação do lodo de esgoto no solo é alternativa viável que apresenta como vantagens como a melhoria da estrutura física, capacidade de retenção de água, reciclagem de constituintes orgânicos, entre outras. Apesar destes aspectos positivos, é

preciso considerar os aspectos sanitários e de equilíbrio natural após aplicação do lodo no solo.

Em relação aos aspectos sanitários, o lodo contém organismos patogênicos, que trazem riscos para a saúde do homem, quando em contato direto ou mesmo indireto com este resíduo. Estes patógenos são responsáveis por doenças de fácil transmissão, causando sérios problemas para a saúde pública, pois estes patógenos já causaram diversos surtos epidêmicos em vários países. Entre os patógenos, que podem estar presentes no lodo de esgoto, pode-se citar os protozoários e helmintos, que precisam ser efetivamente monitorados. Ainda são poucos os estudos feitos em relação aos patógenos, e é preciso conhecer mais sobre a sobrevivência (viabilidade) tanto no lodo quanto no solo, sem esquecer de relacionar esta sobrevivência com as condições climáticas.

Conhecer mais sobre o comportamento destes patógenos no lodo e no solo é importante para que a disposição do lodo em solos agrícolas seja feita sem riscos, e desta maneira minimizar a questão de disposição destes resíduo, que pode trazer sérios problemas num futuro próximo, considerando os altos índices de sua geração.

Além dos patógenos há outros parâmetros que precisam ser monitorados, como os indicadores de contaminação fecal (grupo coliforme), nitrogênio, fósforo, metais pesados, etc. para que o uso de lodo possa ser feito sem causar danos ao ambiente. Estes parâmetros estão sendo analisados em outros projetos.

2 - OBJETIVOS

2.1 - Objetivos Gerais

O objetivo do trabalho foi monitorar o lodo de esgoto tipicamente doméstico da ETE Riacho Grande- São Bernardo do Campo- São Paulo, antes da sua aplicação no solo, em diferentes dosagens de aplicação: 2,5, 5,0, 7,5 TSS/ha e 5,0 TSS/ha em pH corrigido. Também foi avaliado o solo que recebeu aplicação do lodo e o líquido infiltrado no solo.

2.2 - Objetivos Específicos

A pesquisa tem como objetivos específicos:

- ✓ monitorar o lodo de esgoto em relação aos cistos de protozoários patogênicos e ovos de helmintos.
- ✓ monitorar o solo que recebeu a aplicação do lodo para determinar a presença destes patógenos
- ✓ monitorar o líquido percolado no solo em diferentes profundidades para detectar os patógenos,
- ✓ testar a eficácia de diferentes dosagens de cal;
- ✓ avaliar a influência da luz solar e sombreamento na eliminação dos patógenos;
- ✓ comparar diferentes metodologias para recuperação de helmintos e protozoários.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O lodo de esgoto, também chamado de biossólido, é um resíduo gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos e que pode ser reaproveitado em solos agrícolas ou degradados, promovendo reciclagem de matéria orgânica e outros elementos como Nitrogênio e Fósforo. Para alguns autores há uma diferença entre a definição de lodo e biossólido.

Segundo a USEPA (1999), o termo biossólido pode ser usado para enfatizar a natureza benéfica deste material reciclável, que é definido como a matéria orgânica produzida pelos processos de tratamento de esgoto privado ou comunitário, podendo ter um uso benéfico, especialmente como condicionador do solo, já o lodo de esgoto é o resíduo que pode ser tratado (remoção de patógenos, água e redução de vetores) e posteriormente reciclado (USEPA, 2000).

Já MIKI et al (2001) definem o lodo como sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgotos antes do tratamento adequado para disposição final, e biossólido como produto orgânico gerado no processo de tratamento de esgotos primário e secundário que pode ser reutilizado de modo benéfico, após tratamento adequado.

O lodo é gerado ao final do processo de tratamento de esgotos, nos decantadores, dependendo do tipo de ETE (por exemplo, lodos ativados, valo de oxidação), a partir da sedimentação de substâncias minerais e orgânicas. O tipo e o nível do tratamento de esgoto têm efeito na quantidade e qualidade do lodo que será gerado.

Existem diferentes processos que podem ser utilizados para o tratamento de esgotos e a quantidade de lodo gerada depende do tipo de tratamento usado pela ETE. A seguir estão descritos alguns dos principais processos de tratamento de esgoto (CAMPOS, 1994):

Lagoas de estabilização— é a forma mais simples de tratamento de esgoto, sendo uma alternativa de baixo custo, porém que necessita de grandes áreas com topografia adequada e de custo acessível. Sua construção é simples e exige operação mínima, sem necessidade de operador especializado. Pode haver uma série de combinações de tipos de lagoas para se obter melhores resultados na eficiência do tratamento, como no caso do sistema australiano, que é composto por uma lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa.

Sistema de lodos ativados convencional –baseia-se em processo biológico aeróbio e parte do princípio que é preciso haver recirculação para que seja mantido maior número possível de microrganismos ativos no reator aerado. Parte do lodo é recirculada ao reator aeróbio e parte é descartada para o tratamento e destino final. É um sistema de tecnologia conhecida e alta eficiência, além de não precisar de grandes áreas para implantação. Como desvantagens apresenta o alto consumo de energia e a necessidade de mão-de-obra especializada. Nos países desenvolvidos é usado em cerca de 90% das estações de médio e grande porte.

Lodos ativados com reator de mistura completa – é uma variação do sistema descrito anteriormente, no qual se empregam reatores retangulares, com aeradores superficiais e se promove mistura intensa para se ter uma homogeneização do líquido a ser tratado.

Lodos ativados em reator do tipo batelada – esse processo caracteriza-se por realizar várias etapas do tratamento biológico num mesmo tanque reator, dispensando decantadores secundários e elevatórias para recirculação de lodo. Tem sido usado pela SABESP e em outros países para tratamento de esgoto de comunidades de pequeno e médio porte.

Filtro biológico aeróbio – basicamente o sistema é constituído de um leito de pedra ou meios inertes com forma, tamanho e interstícios adequados que permitem a livre circulação natural (ou forçada) de ar, sobre o qual dispositivos de distribuição lançam os esgotos que percolam entre o recheio.

Filtro biológico anaeróbio – é constituído por um tanque com recheio que serve de suporte para os microrganismos. A maior parte destes filtros funciona como leito submerso e fluxo ascendente, porém também podem funcionar com fluxo descendente.

Reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) – é uma unidade de fluxo ascendente que possibilita ao transporte das águas residuárias através de uma região que apresenta elevada concentração de microrganismos anaeróbios. Este reator tem sido bastante estudado no Brasil e esta experiência demonstra sua potencialidade, com custos de operação menores em relação aos sistemas aeróbios convencionais, não necessitam de equipamento especial para o funcionamento, o que diminui os custos com energia elétrica, e a produção de lodo é muito menor.

Reator anaeróbio com chicanas – este reator é constituído por uma unidade que dispõe de chicanas verticais. O líquido apresenta movimentos descendentes e ascendentes, atravessando as regiões de elevadas concentrações de microrganismos ativos, que se formam junto ao fundo do reator.

Reatores de leito fluidificado/expandido – é um reator não convencional, contendo um "leito" com partículas inertes de pequenas dimensões, que é submetido a um fluxo ascendente suficiente para provocar sua fluidificação/expansão. Este tipo de reator tem sido bastante estudado no Brasil.

Valo de oxidação – é uma concepção de baixo custo em que se emprega o processo de lodos ativado aeróbio. O sistema é basicamente constituído por um canal no qual é mantido o despejo líquido em movimento contínuo através de agitadores. No tratamento utilizando valo de oxidação, os fenômenos biológicos característicos de seu funcionamento são semelhantes ao processo de oxidação total, onde o tratamento do esgoto e do lodo são feitos no mesmo tanque. A oxidação total pode ser definida como

um processo em que o lodo biológico produzido por síntese é consumido por auto-oxidação.

No valo de oxidação, a oxidação da matéria orgânica se processa na fase chamada de respiração endógena, obtendo-se um lodo residual com características de boa decantação, boa filtração e sem odor, e também há uma redução da massa de lodo. Em resumo este processo pode ser caracterizado por (GONDIM, 1976):

- ✓ possuir um tempo de aeração prolongado;
- ✓ ocorrer na fase endógena;
- ✓ produzir pouca quantidade de lodo; e,
- ✓ apresentar uma DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) mínima final.

A produção e qualidade do lodo é dependente do tipo de tratamento adotado pela ETE. Na Tabela 3.1 estão apresentados a produção de lodo em sistemas de tratamento aeróbio e anaeróbio.

Tabela 3.1 – Produção de lodo de esgoto em sistemas aeróbios e anaeróbios

TIPO DE TRATAMENTO	Quantidade de lodo produzida (M ³ /HAB/ANO)
Lagoa facultativa primária	0,037
Lagoa facultativa	0,03 – 0,08
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	0,01 – 0,04
Lodos ativados convencionais	0,03 – 0,08
Lodos ativados (aeração prolongada)	1,1 – 1,5
Lodos ativados (fluxo intermitente)	0,7 – 1,2
Filtro biológico (baixa carga)	0,7 – 1,5
Filtro biológico (alta carga)	0,4 – 0,6
Biodiscos	1,1 – 1,5
Reator anaeróbio de manta de lodo	0,7 – 0,1
Fossa séptica – filtro anaeróbio	0,07 – 0,1

FONTE - CAMPOS, 1999.

No Brasil, segundo levantamento feito por MACHADO (2001) a produção estimada de lodo por tipo de tratamento de esgoto é de 82,8% para sistema aeróbio; 9,6% para as lagoas de estabilização; 4,3% para sistemas mistos e 3,4% para sistemas de tratamento anaeróbio.

A composição do lodo é cerca de 93-99% de água, sólidos e substâncias dissolvidas presentes no esgoto ou aderidas durante o processo de tratamento, além disto deve –se considerar que as características do biossólido podem variar dentro da ETE, devido às variações da composição do esgoto e dos vários processos de tratamento (USEPA, 1999). A composição típica do lodo de esgoto está apresentada na Tabela 3.2

Tabela 3.2 - Composição Química Típica do Lodo Cru e Digerido

Características	Lodo Primário cru		Lodo digerido	
	Intervalo	Valor médio	Intervalo	Valor médio
Sol. Totais (ST)%	2,0 - 8,0	5,0	6,0 - 12,0	10,0
Sol.Vol. (% de ST)	60 - 80	65	30 - 60	40
Proteínas (% de ST)	20 - 30	25	15 - 20	18
Nitrogênio (% de ST)	1,5 - 6,0	4,0	1,6 - 6,0	4,0
Fósforo (% de ST)	0,8 - 3,0	2,0	1,5 - 4,0	2,5
Potássio (% de ST)	0 - 1,0	0,4	0,0 - 3,0	1,0
pH	5,0 - 8,0	6,0	6,5 - 7,5	7,0
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	500 - 1500	800	2500 - 3500	3000
Ácidos Orgânicos (mg/L)	200 - 2000	500	100 - 600	200

FONTE: Adaptado de METCALF e EDDY, 1991.

Por ser um resíduo que possui altas concentrações de matéria orgânica e outros nutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas, como fósforo e nitrogênio, pode-se pensar na sua utilização como condicionante, promovendo assim sua reciclagem, seja em parques e jardins, ou em solos agrícolas.

A concentração de matéria orgânica no lodo varia de 40 a 70% de acordo com o processo usado para o tratamento. A matéria orgânica presente no lodo favorece a formação de agregados, facilitando a penetração de raízes e a vida microbiana no solo,

além de atuar junto a resistência do solo à erosão por estabilizar sua estrutura e aumentar a capacidade de retenção de água.

O nitrogênio é um constituinte importante e pode ser usado como fator limitante para determinar a dosagem máxima de lodo que pode ser aplicada no solo. Cerca de 1 a 6% da composição do lodo é nitrogênio (base seca) na forma orgânica e inorgânica, sendo composto pelo nitrogênio amoniacal (NH_4), nitrato (NO_3) e nitrito (NO_2). Tanto o nitrogênio amoniacal quanto o nitrato são totalmente disponíveis para as plantas, e a fração orgânica deve ser mineralizada pelos microrganismos antes de ser aproveitado pelas plantas. (TSUTIYA et al., 2001).

O fósforo é um constituinte presente em menor quantidade e sua disponibilidade para as plantas é de cerca de 50% em solos que receberam aplicação de lodo. O potássio é outro elemento encontrado no lodo em pequenas quantidades, por ser solúvel em água, mas que é 100% assimilável pelas plantas. Outros macronutrientes encontrados são o cálcio, magnésio e enxofre, sendo o cálcio o que se apresenta em maior quantidade.

Além dos nutrientes, o lodo pode estar contaminado com metais pesados, que são originários da atividade industrial. Estes metais podem contaminar o solo, exercendo efeitos negativos no crescimento das plantas e afetando os processos bioquímicos que ocorrem no solo. Dentre os que oferecem maior perigo estão o cádmio, cobre, molibdênio, níquel e zinco (PROSAB, 1999).

Para que o lodo possa ser usado na agricultura, é preciso considerar a sua concentração máxima neste resíduo, as concentrações máximas de metais no solo e as cargas cumulativas máximas de metais em solos gerada por esta aplicação. Na Tabela 3.3 estão apresentados os teores de metais pesados recomendados pela CETESB para que o lodo possa ser usado:

Tabela 3.3 – Teores máximos de metais pesados permitidos no lodo para que o mesmo possa ser usado na agricultura (CETESB, 1999).

Metal	Concentração Máxima (mg Kg⁻¹)
Arsênio	75
Cádmio	85
Cobre	4300
Chumbo	840
Mercúrio	57
Molibdênio	75
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	7500

FONTE: (TSUTIYA et al., 2001).

Baseado nas características do lodo e na quantidade gerada, pode-se definir qual e melhor forma de fazer o reuso deste resíduo, considerando suas características.

3.1 Perspectivas de geração e utilização dos biossólidos

A preocupação com o reuso do lodo já vem acontecendo há algum tempo. Segundo LIU (1982), todas as grandes cidades tem problemas com a disposição do lodo residual e a tendência é que o problema se agrave com o desenvolvimento e crescimento das cidades, que teria como consequência final uma grande geração de lodo, o qual deve ser adequadamente disposto sem afetar o ambiente.

No Brasil, previsões feitas pela SABESP, para o ano 2005, indicam que só a Região Metropolitana de São Paulo produzirá 575 toneladas diárias (SANTOS et al., 1997), e ainda não se sabe ao certo qual o destino que será dado a este resíduo. Neste trabalho também há dados sobre a ETE de Barueri, que produz cerca de 212 toneladas/dia e há previsão do aumento desta produção no ano 2005 para 227t/d. Na

Tabela 3.4 é apresentada uma estimativa da produção de lodo no ano de 2005, feita pela SABESP.

TABELA 3.4 – Previsão da produção diária de lodo para o ano de 2005, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

LOCAL DA ETE	TIPO DE TRATAMENTO	PRODUÇÃO DE LODO BASE SECA (td)
Barueri	Lodo Ativado – Convencional	227
ABC	Lodo Ativado – Convencional	85
Suzano	Lodo Ativado – Convencional	27
Parque Novo Mundo	Lodo Ativado – Convencional	166
São Miguel	Lodo Ativado – Convencional	55
Franco da Rocha	Filtro Biológico	9
Perus	Filtro Biológico	6
TOTAL NA RMSP		575

FONTE: Adaptado de SANTOS & TSUTIYA, 1997.

Nos Estados Unidos foi gerado em 1998 cerca de 6,9 milhões de toneladas de lodo, sendo que 60% deste lodo foi usado e 40% descartado, e a previsão é que em 2010 esta geração chegue a 8,2 milhões de toneladas, com um reuso de 70% (USEPA, 1999).

Com base nestes dados pode-se confirmar a necessidade crescente de reaproveitar e dispor o lodo. Segundo STOLL et al. (1996) a forma de disposição do lodo de esgoto deve ser baseada nas suas características, nas quantidades geradas no presente e futuro, e numa avaliação dos custos financeiros da forma de disposição selecionada. Dentre as alternativas de disposição do lodo pode-se destacar as mais usadas:

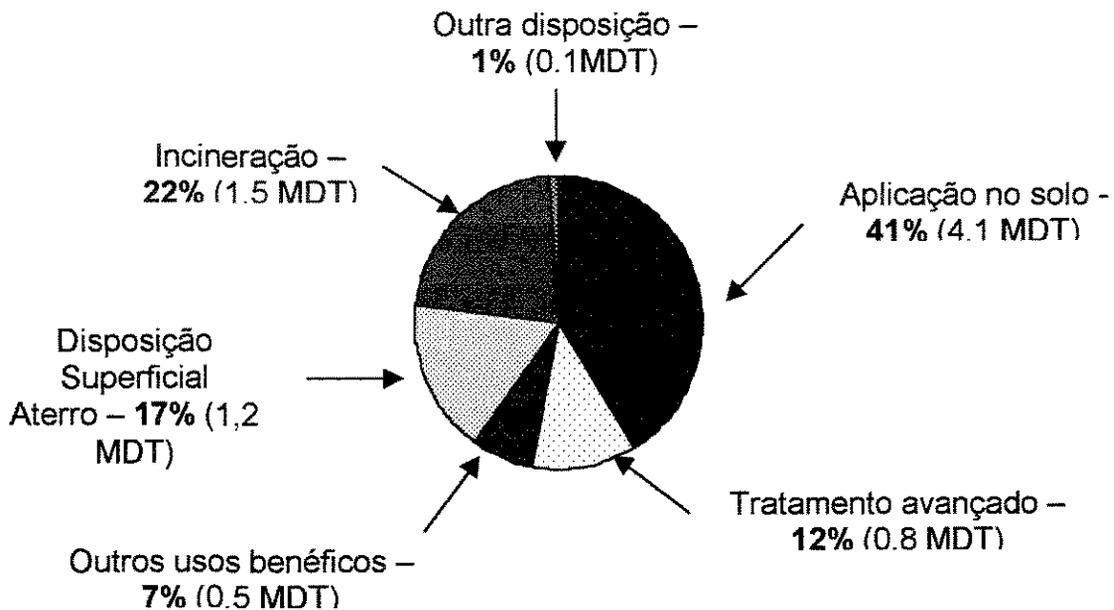
1 – Disposição em corpos d'água – esta prática não é a mais recomendável, pois devido à presença de elementos como P e N, pode causar eutrofização das águas e um

conseqüente aumento da poluição. A disposição em oceano já é questionada há muito tempo, pois o lodo pode conter metais pesados ou outros constituintes orgânicos que podem causar alteração na fauna e flora aquáticas (MATTHEWS, 1992). Nos EUA esta forma de disposição já é proibida desde 1991 (HEMPHILL, 1992).

2 – Incineração - também não parece ser a forma mais adequada para solucionar a questão da disposição do lodo. Este processo possui alto custo operacional e pode causar problemas de poluição atmosférica (LIU, 1982). Segundo MATTHEWS (1992), além do custo e da emissão de gases, que podem contribuir para aumentar os níveis de poluição, há a questão das cinzas geradas ao final do processo, e que precisam ter um destino final adequado. Geralmente estas cinzas acabam sendo dispostas em aterros sanitários e muitas vezes são consideradas resíduo perigoso, principalmente se houver a presença de metais pesados.

3 – Disposição em aterros - esta é uma prática antiga e que tem como desvantagem a necessidade de se encontrar áreas em que possa ser realizada, além dos possíveis riscos de contaminação do solo e dos aquíferos por patógenos, como por exemplo protozoários, que devido ao pequeno tamanho dos cistos e oocistos, podem facilmente migrar pela água (USEPA, 1993). Como uma alternativa mais viável surge a disposição do lodo de esgoto em solos aproveitando o potencial fertilizante deste resíduo.

4 –Uso agrícola - segundo PILLAI, et al. (1996), o lodo de esgoto é utilizado de forma rotineira na agricultura em várias partes do mundo. De acordo com dados apresentados pela USEPA (1999) a principal forma de utilização do lodo é a aplicação no solo, confirmando a tendência de que uso deste resíduo deve aumentar no futuro devido a reciclagem. Porém, o lodo deve apresentar certas características para ser usado, como redução de patógenos e metais pesados. A estimativa geral de uso e disposição de lodo nos Estados Unidos está apresentada na Figura 3.1.



MDT (1998) – milhões de tonelada seca

Figura 3.1 – Estimativa do uso e disposição do lodo (1998)

FONTE: Adaptado de USEPA, 1999.

Como se pode observar na Figura 3.1, a utilização do lodo para aplicação no solo já vem sendo feita em larga escala, e há expectativa de um aumento deste uso no futuro, devido aos benefícios da reciclagem, às questões de custo e melhor aceitação da população deste tipo de uso do lodo de esgoto.

A utilização do lodo em solos agrícolas é uma prática antiga e que há muito tempo faz parte da agricultura tradicional, segundo HAYS (1977), que em seu trabalho enumera aspectos que favorecem a utilização do lodo de ETE na agricultura, como:

- ✓ os resíduos não podem ser dispostos em corpos d'águas pois causariam a eutrofização das águas elevando os níveis de poluição;
- ✓ os custos para repor nutrientes em solos esgotados são altos, e como o lodo de esgoto é uma fonte valiosa destes nutrientes, pode-se aproveitar o potencial nutritivo do resíduo;

- ✓ o custo de algumas tecnologias para a disposição do lodo, como a incineração, é alto. Portanto, a possibilidade de reaproveitar o resíduo torna-se cada vez mais atrativa, considerando a questão econômica.

Além disto, a aplicação de lodo de esgoto no solo promove a reciclagem dos constituintes orgânicos e minerais, sendo ainda uma alternativa de disposição de menor custo (SANIN et al., 1994). Segundo FIGUEIREDO *apud* MACHADO (2001) o uso agrícola dos bio sólidos é a maneira mais lógica, pois retorna a biomassa à terra fechando o ciclo dos nutrientes. O lodo também serve para o enriquecimento do solo e pode ser usado para complementar ou substituir os fertilizantes comerciais. A Tabela 3.5 apresenta os valores de alguns nutrientes do lodo.

Tabela 3.5 - Comparação entre nutrientes do lodo e fertilizantes

	LODO	FERTILIZANTES COMERCIAIS
N ₂	3,2%	5-10%
P	2,3%	10%
K	0.3%	5-10%

FONTE: Adaptado USEPA, 1999.

STOLL et al. (1996) definem a utilização do lodo na agricultura como uma forma de gerenciamento de resíduo, que combina reuso e reciclagem de uma matéria rica em elementos importantes para as plantas. Deste modo, pode-se considerar uma boa opção o reuso deste resíduo como condicionante do solo, com aplicação na agricultura, pela alta concentração de matéria orgânica e elementos, como P e N (HU et al., 1996). No entanto, os autores lembram que o lodo contém patógenos que podem colocar em risco a saúde humana.

Outro ponto importante a ser considerado no reuso de efluentes, é a questão da escassez da água. Segundo AMAHMID et al (1999), as águas residuárias representam primariamente uma fonte de água, além do valor fertilizante para muitas culturas e contribuição para melhoria do solo.

Vários fatores têm influenciado a utilização do lodo ao longo dos anos, como o avanço nas tecnologias de tratamento do esgoto e lodo, incluindo o pré-tratamento do esgoto, programas de prevenção de poluição e crescimento populacional, tem resultado no aumento de volume de lodo de alta qualidade. As razões que contribuíram para um aumento no uso deste resíduo são:

- ✓ regulamentações nos níveis federal e estadual encorajaram o uso do lodo, bem como as regulamentações (guias) e as políticas federais;
- ✓ melhor qualidade do lodo, pesquisa e tecnologia que ajudaram a melhorar a opinião pública em relação às questões de saúde humana e ambientais;
- ✓ educação e propaganda já contribuem para melhorar a aceitação pública, embora ainda existam problemas nesta área.

3. 2 Normas para utilização do lodo

Para permitir uma utilização do lodo sem risco em solos agrícolas, é preciso normas que regulamentem e disciplinem esta prática. Os Estados Unidos através da norma EPA 40 CFR Part 503 estabelece limites que regulam o uso do lodo e no Brasil, a CETESB e a SANEPAR também já possuem propostas e normas para disciplinar utilização do lodo.

Estas normas, além de disciplinarem o uso e a aplicação do lodo, consideram os possíveis impactos que podem ocorrer se a forma de aplicação não for correta (MATTHEWS, 1992). Também deve-se considerar a taxa de aplicação de lodo e a forma como esta aplicação é feita.

Uma preocupação importante para o reuso do lodo é em relação a sua qualidade, principalmente no que diz respeito a patógenos e metais pesados para evitar riscos de contaminação. Outro ponto fundamental para viabilizar a utilização deste resíduo é a questão da aceitação pública em relação aos poluentes que o lodo pode conter, os possíveis riscos de doenças e problemas com odores. Quando o lodo é corretamente tratado e sua utilização disciplinada de acordo com as regulamentações e padrões existentes, não há riscos para a saúde do homem e do ambiente (USEPA, 1999).

Segundo ANDREOLI et al.(1999) a normatização da reciclagem agrícola do lodo depende da verificação e adequação de parâmetros de qualidade relacionados aos metais pesados e características sanitárias.

A forma de aplicação do lodo no solo é importante, e segundo a USEPA (1999) a aplicação do lodo no solo pode ser feita pelo seu “espalhamento” na superfície do solo, incorporação ou injeção no solo. O biossólido líquido ou seco pode ser aplicado superficialmente e no caso de líquido pode ser feita também através de injeção subsuperficial.

As taxas de aplicação de lodo devem ser limitadas pelos metais pesados que não podem se acumular no final da cadeia alimentar ou na água subterrânea, pelos patógenos, que não podem infectar as pessoas e pelas concentrações de compostos tóxicos que podem causar danos ao homem ou ambiente (FRANCO-HERNADEZ, et al., 2003).

3.2.1 Norma CETESB

A CETESB já elaborou uma Norma -P 4.230 – **Aplicação de Biossólidos em Áreas Agrícolas – Critérios para projeto e Operação** - para disciplinar a utilização do lodo. Esta norma é uma adaptação da legislação da USEPA, de normas utilizadas nos Estados Unidos e de recomendações alemãs (BETTIOL et al., 2000). Esta Norma aborda a forma e taxa de aplicação de lodo, limites de metais pesados e patógenos e outros elementos que possam causar problemas de disposição, como o nitrogênio.

Os principais aspectos da norma da CETESB estão citados a seguir:

- ✓ **Metais** – adota os limites propostos pela EPA e prevê a necessidade de respeitar os limites de acumulação através de controle das concentrações de metais no solo;
- ✓ **Caracterização do Lodo** – adota os seguintes parâmetros de caracterização: carbono orgânico, fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrato/nitrito, nitrogênio total, potássio sódio, sólidos voláteis, umidade, pH, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, crômio total,

mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, zinco, número mais provável (NMP) de *Salmonella* spp e de coliformes fecais.

Também são considerados no Projeto de Norma da CETESB a fração de mineralização do nitrogênio, devendo o gerador informar a concentração de nitrogênio disponível para o aproveitamento da cultura. Além disto é necessário que o gerador do lodo entregue uma declaração dos limites de concentração de metais no lodo e que o resíduo já tenha sido tratado, para redução de patógenos e da atração de vetores, que ao entrar em contato com o lodo possam ser responsáveis pela transmissão de agentes patogênicos.

A Norma recomenda que a taxa de aplicação do biossólido deverá considerar os seguintes parâmetros: teor de nitrogênio disponível, teor de metais, poder de neutralização, teor de outros nutrientes que o biossólido pode possuir e limite de acumulação de metais no solo.

As recomendações feitas pela CETESB para uma boa prática de aplicação incluem:

- ✓ cuidados com o equipamento de transporte para não causar derramamentos,
- ✓ evitar problemas com odor e outros incômodos;
- ✓ demarcar os limites da área de aplicação durante este processo e não aplicar o biossólido em área sem dispositivos adequados para contenção do mesmo;
- ✓ não permitir entradas de animais na área de aplicação por um período de 30 dias após a sua efetuação e tomar medidas restritivas para o acesso público (por 12 meses);
- ✓ assegurar que o pH do solo seja mantido entre 5,5 e 7,0 e que a incorporação do biossólido seja feita no momento adequado;
- ✓ manter as distâncias mínimas estabelecidas como zonas de proteção no local da aplicação;

3.2.2. Norma da SANEPAR

A proposta do Paraná deve fixar condições e restrições para que os lodos possam ser usados de forma segura na agricultura, além de definir as doses máximas de aplicação de lodo, que levam em consideração a capacidade de assimilação da cultura em elementos fertilizantes. O recomendado é que as doses não devem ser iguais ou superiores a 50 toneladas de matéria seca de lodo por hectare num período de 10 anos.

A regulamentação para o Estado do Paraná é baseada em normas internacionais e segundo ANDREOLI et al (1997) a proposta de normatização da reciclagem agrícola do lodo depende da verificação e adequação de parâmetros de qualidade especialmente relacionados ao conteúdo de metais pesados e características sanitárias.

Os principais aspectos desta Norma estão citados a seguir (ANDREOLI et al, 1997):

- ✓ Os lodos não poderão ser reciclados na agricultura se um ou mais elementos traço exceder os limites fixados, a quantidade de elementos traço trazida pelo lodo à parcela agrícola por um período de 10 anos exceder os limites fixados;
- ✓ Solos não poderão ter pH inferior a 6,0;
- ✓ O lodo não poderá ser usado em culturas de contato primário;
- ✓ Qualquer área agrícola não poderá receber lodo de esgoto dois anos antes de ser utilizada para produção agrícola, e no caso de pastagens os animais só poderão ter acesso à área após 2 meses de incorporação do lodo;
- ✓ As doses de aplicação de lodo devem ser iguais ou inferiores a 50 toneladas de matéria seca de lodo por hectare num período de 10 anos;
- ✓ O espalhamento do lodo é proibido a menos de 100 metros de imóveis residenciais, zonas de lazer e outros locais de acesso público;
- ✓ O lodo só poderá ser usado na agricultura após passar por um processo de higienização com eficiência maior que 99% na redução da concentração de micro e macroparasitas e deverão ser feitas análises microbiológicas em laboratórios credenciados pela SANEPAR.

3.2.3 Limite de Patógenos no Lodo fixado pelas Normas

As normas de utilização de lodo também fazem referências sobre a presença de possíveis patógenos, que podem ser encontrados no lodo. Para garantir a qualidade do lodo, em relação aos patógenos, é aconselhado realizar análises que possam indicar sua presença antes da aplicação, para não colocar em risco a saúde do homem.

A USEPA (1992) divide o lodo de esgoto, para aplicação no solo, em duas classes, de acordo com as exigências para redução dos patógenos: Classe A e Classe B. Para que o lodo possa ser enquadrado nestas classes, são usadas combinações de exigências tecnológicas e microbiológicas para garantir a redução dos patógenos. A seguir estão descritas as classes de lodo e suas exigências.

Lodo Classe A - a exigência desta classe é reduzir os patógenos no lodo de esgoto, incluindo vírus entéricos, bactérias patogênicas e ovos viáveis de helmintos, abaixo de níveis detectáveis. Não há restrições de aplicação deste lodo.

Os limites de patógenos usados para que o lodo pertença à esta classe são:

- *Salmonella* spp - menor que 3 (NMP) por 4 gramas de sólidos totais
- Vírus entéricos - menor que 1(UFC) por 4 gramas de sólidos totais
- Ovos viáveis de helmintos - menor que 1 por 4 gramas de sólidos totais.

No caso das bactérias, devido ao seu potencial para desenvolvimento, é importante assegurar que não haverá condições para reprodução, pois estas multiplicam-se rapidamente e podem vir a contaminar novamente o lodo de esgoto. Por esta razão, esta classe de lodo precisa de exigências alternativas:

- a densidade de coliformes fecais no lodo deve ser inferior a 10^3 NMP por grama de sólidos totais (peso seco);
- a densidade de *Salmonella* spp no lodo deve ser menor que 3 NMP por 4 gramas de sólidos totais (peso seco).

Existem alguns processos que são usados para eliminação dos patógenos, a fim de atingir os índices estabelecidos para o lodo de esgoto pertencente a esta classe. Estes processos são digestão aeróbia e anaeróbia, compostagem, etc.

Classe B - nesta classe a exigência é assegurar que os patógenos devem ser reduzidos a níveis que não sejam capazes de ameaçar a saúde pública e o ambiente, no qual o lodo for aplicado. Neste caso, o lodo deve ser usado dentro de condições específicas. Para o lodo desta classe, que é aplicado no solo, são impostas restrições para minimizar o contato humano e animal com este lodo por um período de tempo seguinte a aplicação do lodo no solo, até que os fatores ambientais possam ser capazes de reduzir os patógenos.

O principal objetivo, nesta classe de lodo, é assegurar que as bactérias patogênicas e vírus entéricos são reduzidos em densidades adequadas, ou seja, inferior a 2×10^6 NMP ou UFC por grama de sólidos totais do lodo de esgoto (base seca). Os ovos de helmintos viáveis não são necessariamente reduzidos nesta classe.

Enquanto a Classe A não deve conter nenhum patógeno, a Classe B pode conter alguns, sendo que o mais recomendado é em que nenhuma das classes fossem encontrados estes organismos. Por esta razão, são impostas alguma restrições a aplicação desta classe de lodo, para preservar a saúde pública e o ambiente.

As restrições para aplicação do lodo da Classe B são as pastagens animais, culturas agrícolas e locais com acesso público controlado por um tempo suficiente para eliminar os patógenos.

Em nenhuma classe de lodo é feita restrição quanto à presença de protozoários patogênicos. Segundo a USEPA (1992) não são feitas restrições em relação a este patógeno, devido a sua baixa viabilidade no solo e no lodo. Esta informação entra em contradição com trabalhos feitos por outros autores, como HU et al. (1996), que encontra cistos de *Giardia* mesmo após longos períodos de estocagem do lodo.

Em relação as restrições de utilização de lodo e outros efluentes domésticos para irrigação, estudos realizados sugerem que o limite seguro para consumidores deveria

ser < 1 ovo/gr de *Ascaris* e para os trabalhadores rurais e suas famílias, deveria ser 0,5 ovo/gr e alguns autores sugerem < 0,3 ovo/gr, afim de proteger a saúde (SEMENAS, et al, 1999).

A CETESB deve adotar o mesmo critério da USEPA (1992) em relação aos patógenos, dividindo também o lodo em duas classes. No Paraná o lodo só poderá ser usado após passar por um processo de higienização com eficiência maior que 99% na redução da concentração de patógenos e deverão ser feitas análises em laboratório credenciado pela SANEPAR (ANDREOLI et al., 1999).

Ainda em relação aos patógenos, a SANEPAR optou pela definição da quantidade máxima de ovos e larvas de helmintos e a porcentagem máxima de ovos viáveis, por serem estes patógenos um parâmetro mais restritivo em função de sua resistência ao tratamento com cal ou compostagem.

As normas (CETESB, SANEPAR, USEPA) também apresentam processos que podem ser usados para a diminuição dos índices de organismos patogênicos, como processos de digestão, compostagem, secagem térmica, calagem, etc.

3.3 Patógenos Presentes no lodo

O lodo contém uma grande variedade de organismos que podem ser de vida livre, ou parasitas, e neste caso, causam doenças ao homem e outros animais, sendo que cerca de 30 doenças podem ser transmitidas com o reuso de efluentes domiciliares (SEMENA, et al, 1999). Os principais patógenos presentes no lodo e as doenças causadas por estes organismos estão apresentados na Tabela 3.6.

TABELA 3.6 – Principais agentes patogênicos presentes no lodo de esgoto.

Organismo	Meio	Tempo de sobrevivência	Distúrbio causado	Hopedeiros
<i>Escherichia coli</i> (cepas patogênicas)	vegetais pastagens	< 3 semanas < 8 dias	gastroenterites com diarreia aguda	homem e animais domésticos
<i>Clostridium spp</i>			gangrena, tétano, botulismo	mamíferos domésticos e peixes
<i>Salmonella spp</i>	solo hortaliças, fruto	15 a >280 3 a 49	gastroenterites agudas	quelônios, aves, mamíferos
<i>Vibrio cholerae</i>	hortaliças frutos	5-7 dias <1-3 dias	cólera	
<i>Shigella spp</i>	hortaliças frutos	2 a 7 dias 2 a 8 dias	desintéria com febre e vômitos	homem
<i>Mycobacterium spp</i>	solo pastagem hortaliças	10d/15meses 60-180 dias >35 dias	tuberculose, granulomas de pele	homens, animais domésticos e selvagens
<i>Leptospira spp</i>	solo	15 a 43 dias	leptospirose	homem, animais domésticos e selvagens (rato)
<i>Entamoeba histolytica</i> (cistos)	solo hortaliças	6 a 8 dias < 1 a 3	amebíase	homem
<i>Balantidium coli</i>			balantidíase	homem e suínos
<i>Giardia spp</i>			giardíase	homem e animais
<i>Cryptosporidium spp</i>			criptosporidíose	homem e animais
<i>Cyclospora cayentanensis</i>			diarreia	homem
<i>Toxoplasma gondii</i>			Linfadenopatia, febre, infecções congênitas	mamíferos e aves
Enterovírus	solo hortaliças	8 a 12 dias 4 a 6 dias	meningite, encefalite, febre	homem, animais (cães)
Poliovírus (Sabin)			paralisia, febre	homem
Hepatite A			hepatite infecciosa	primatas/ homem
Rotavírus			vômitos e diarreia	animais domésticos/homem
<i>Necator americanus</i>			necatoríase	homem
<i>Ancylostoma spp</i>	solo	15 a 42 dias (larvas)	ancilostomíase	homem
<i>Ascaris spp</i>	solo hortaliças	até 7 anos (ovos) 27 a 35 dias	ascaridíase	homem e suínos
<i>Taenia spp</i>			teníase	homem
<i>Toxocara canis</i>			larva migrans	cão
<i>Hymenopelis nana</i>			hymenolepiase	homem e ratos

FONTE: Adaptado de SANEPAR, 2000.

Na Tabela 3.7 estão apresentadas as concentrações de patógenos encontradas nos lodos e na Tabela 3.8 as concentrações de patógenos nos lodo produzidos em ETEs do Brasil.

Tabela 3.7 Concentração de agentes patogênicos presentes em diferentes categorias de lodo

OVOS DE HELMINTOS	Lodo primário	$10^3 - 10^4/\text{Kg}$
	Lodo digerido	$10^2 - 10^3/\text{Kg}$
	Lodo semi desidratado	$10^1 - 10^2/\text{kg}$
	Lodo semi desidratado	$1,85 \cdot 10^3/\text{Kg}$
ETE BELÉM Curitiba		
CISTOS PROTOZOÁRIOS	DE Lodo primário	$7,7 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^6/\text{Kg}$
	Lodo digerido	$3 \cdot 10^4 - 4,1 \cdot 10^6/\text{Kg}$
	Lodo desidratado	$7 \cdot 10^1 - 10^2/\text{Kg}$
BACTÉRIAS	Lodo	$10^1 - 8,8 \cdot 10^9/\text{Kg}$
	Lodo ETE Belém	$10^9/\text{Kg}$
VÍRUS	Lodo primário	$3,8 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^5/\text{Kg}$
	Lodo digerido	$10^1 - 10^3/\text{Kg}$
	Lodo biológico	$10^1 - 8,8 \cdot 10^6/\text{Kg}$

FONTE: TSUTIYA et al. (2001).

Tabela 3.8 – Concentração de patógenos em biossólidos produzidos em diversas ETES do Brasil

ETE	Concentração de patógenos			
	Colif. Fecais NMP/g	<i>Salmonella</i> sp NMP/4g	Helmintos – ovos viáveis/4g	Cistos de protozoários/g
ETE Barueri⁽¹⁾ (São Paulo/SP)	5,4	Ausente	1,25	Ausente
ETE Barueri ⁽²⁾ (São Paulo/SP)	475.000	36,5	Ausente	Ausente
ETE Suzano⁽³⁾ (São Paulo/SP)	< 3,0	Ausente	Presente em 25% das amostras	Ausente
ETE ABC ⁽⁴⁾ (São Paulo/SP)	1.250	N.D.	N.D.	N.D.
ETE Lavapés⁽⁵⁾ (S.J.dos Campos/SP)	138	Ausente	N.D.	N.D.
ETE Franca ⁽⁶⁾ (Franca/SP)	760.000	3,1	1,4	0,2
ETE Belém (Curitiba/Pr)	864.000	Presente em 17% das amostras	17,2	0,1
ETE Brasília (Brasília/DF)	1.000.000	N.D.	16	N.D.

N.D. – Não disponível

Condicionamento do biossólido com cal e cloreto férrico: (1), (3) e (4)

Condicionamento do biossólido com polímero: (2) e (6)

Condicionamento do biossólidos com cal a 20%: (5)

FONTE: TSUTIYA et al., 2001.

Segundo SANIN et al. (1994) o lodo de esgoto possui organismos patogênicos de origem entérica e não patogênicos, como por exemplo os coliformes fecais e streptococcus. Estes organismos podem ser transmitidos ao homem por via direta- como por exemplo através da contaminação das mãos, ou através de outros organismos que entrem em contato com o lodo contaminado- neste caso são os vetores mecânicos, que podem ser representados pelos pássaros e roedores (FOESS et al., 1993).

De acordo com HAYS (1977) a utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas deve levar em conta os riscos de uma possível contaminação deste resíduo por patógenos. Para tentar minimizar estes risco, é necessário realizar programas de monitoramento que acompanhem as concentrações de bactérias, vírus, formas de resistência de protozoários e helmintos no solo após a aplicação do lodo. Não se deve esquecer, que além do solo é preciso tomar cuidado para que o aquífero também não seja contaminado, pois altos índices de patógenos no lodo, podem levar a contaminação deste e afetar seu uso (LIU, 1982).

Quando a idéia é a de utilizar este lodo como condicionante de solo, é de suma importância o cuidado para que os patógenos sejam eliminados, considerando que mesmo este resíduo sendo tratado por processos convencionais como digestão anaeróbia ou secagem, pode ainda conter patógenos, colocando em risco a saúde (GIBBS et al., 1995).

WÜZER et al. (1995) consideram em seu trabalho, que os resíduos gerados nas ETE's podem conter quantidades significativas de patógenos humanos, os quais podem, além da agricultura, provocar contaminação de fontes de água, se forem usados indiscriminadamente e sem orientação.

Segundo THIRIAT et al. (1997), a disposição do lodo por meio de sua aplicação no solo é uma alternativa econômica, mas que deve ser cuidadosamente monitorada para prevenir qualquer contaminação com patógenos, como por exemplo cistos de *Giardia*, que podem trazer sérias conseqüências para a saúde pública.

De acordo com a USEPA (1992), a saúde pública e dos animais, pode ser protegida dos patógenos existentes no lodo de diversas formas dentre as quais pode-se citar:

1. redução do número de patógenos através do tratamento do lodo e/ou atenuação ambiental;
2. redução do transporte de patógenos por vetores, por eliminação ou redução destes; e,
3. limitando o contato humano e de animais nos locais em que o lodo for utilizado, até que ocorra uma diminuição natural nos níveis destes patógenos.

A principal forma de transmissão das doenças causadas pelos patógenos que pode estar presentes no lodo é através da via oro-fecal. Os indivíduos contaminados eliminam, em seus excretas, as formas infectantes destes organismos, que acabam atingindo a rede de esgoto doméstico, e de forma inadequada o solo. Quando as condições de saneamento são precárias e não há tratamento adequado do esgoto, estas formas acabam sendo eliminadas e descartadas junto com o esgoto em corpos d'água, e deste modo são transmitidas através da água contaminada, pois a água é considerada um veículo em potencial para a transmissão de doenças (TEUNIS et al., 1997).

Segundo FALK et al. (1998), os estágios infectantes são excretados juntamente com as fezes de pessoas infectadas e são transmitidos pela via fecal-oral pela água contaminada ou alimento, ou ainda pelo contato direto hospedeiro-hospedeiro. As águas superficiais podem estar contaminadas com cistos ou oocistos de protozoários, devido ao contato com esgoto ou fezes de animais. Todas as águas de fontes superficiais, particularmente em regiões de precário saneamento básico estão sujeitas a este tipo de contaminação.

O risco de infecção devido à presença de patógenos no reuso de águas residuárias e lodo de esgoto na agricultura depende de um grupo de fatores em que se pode destacar: a eficiência do processo de tratamento em remover ou inativar os patógenos, sua sobrevivência no solo, culturas, água e água subterrânea e a dose mínima necessária para causar doença no homem (CAPIZZI et al., 1999).

A concentração de patógenos capaz de infectar um indivíduo, depende do grau de infectividade do cistos e oocistos, que está diretamente relacionada com sua viabilidade e a suscetibilidade do organismo do indivíduo ao entrar em contato com o patógeno (Tabela.3.9)

TABELA 3.9 – Patógenos e dose infectante

BACTERIAS		
<i>Escherichia coli</i>	10 ⁴	10 ⁴ - 10 ¹⁰
<i>Salmonella</i>	10 ²	10 ² - 10 ¹⁰
<i>Shigella</i>	10 - 10 ²	10 - 10 ⁹
<i>Vibrio cholerae</i>	10 ³	10 ³ - 10 ¹¹
VIRUS		
Echovirus 12	Hid ₅₀ 919 PFU	17 – 919 PFU
	HID ₁ 17 PFU	
Poliovirus	1 TCID	1-1 x 10 ^{7,6} TCID ₅₀ (infantil)
	< 1 PFU	0,2 – 5,5 x 10 ⁶ PFU (infantil)
Rotavírus	Hid ₅₀ ~ 10ffu	9 x 10 ⁻¹ – 9 x 10 ⁴ ffu
	Hid ₂₅ 1 ffu estimado	
PARASITAS		
<i>Entamoeba histolytica</i>	1 – 10 cistos	1 – 10 cistos
<i>Cryptosporidium spp</i>	10 oocistos	10 – 100 cistos
<i>Giardia duodenalis</i>	1 cisto (estimado)	NA
Helmintos	1 ovo	NA

HID – Dose infectiva para o homem

TCID₅₀ – Dose infectante para cultura de tecido para 50% de resposta

PFU – Unidade formadora de placa

ffu – unidade formadora de foco

NA – não aplicado

FONTE: USEPA, 1993.

Observando a Tabela 3.9 pode-se verificar que nem sempre é necessário uma grande concentração de patógenos para infectar um indivíduo e segundo TEUNIS et al. (1997), apesar da concentração dos agentes patogênicos ser relativamente baixa, ainda assim há risco de contaminação para alguns indivíduos.

Além da necessidade da caracterização microbiológica dos agentes encontrados no lodo é preciso conhecer o comportamento destes organismos no solo após sua utilização. Sabe-se que a sobrevivência e viabilidade destes organismos no solo, pode ser afetada por diversos fatores como umidade, exposição aos raios solares, temperatura, pH, etc. De um modo geral a taxa de sobrevivência no solo para estes organismos está expressa na Tabela 3.10:

TABELA 3.10 - Tempo de sobrevivência de patógenos no solo.

PATÓGENO	MAXIMO ABSOLUTO	MAXIMO COMUM
Bactéria	1 ano	2 meses
Vírus	1 ano	3 meses
Cistos de protozoários	10 dias	2 dias
Ovos de helmintos (Ascaris)	7 anos	2 anos

FONTE: USEPA, 1992.

A maioria dos patógenos presentes no esgoto são rapidamente inativados no solo, porém alguns parasitas podem sobreviver no ambiente por longos períodos (AMAHMID ET AL, 1999). No caso dos protozoários e helmintos, há como característica importante destes organismos a formação de cistos e ovos, que ajudam na sua sobrevivência neste ambiente.

Existem alguns fatores, como umidade do solo, pH, fonte de nutrientes, predação, exposição aos raios solares, que podem ser responsáveis pela diminuição ou aumento do tempo de sobrevivência no solo.

Experimentos realizados com oocistos de *Cryptosporidium* indicam que estes são capazes de deslocamento no solo por várias semanas, sendo que em alguns casos permanecem viáveis períodos maiores que 70 dias no solo. A maioria dos oocistos são encontrados na camada superficial do solo – 2cm e há um decréscimo conforme aumenta a profundidade. Ainda em profundidades de 30 cm são recuperados alguns oocistos, mas nunca em profundidades superiores a 70 cm (FAYER et al, 2000).

No caso das bactérias, seu transporte no solo pode ser afetado pelas características físicas do solo como textura, distribuição dos tamanhos das partículas, pH, matéria orgânica, entre outros. A maior concentração destes microrganismos é na camada superior do solo (20 cm), mas em alguns casos é possível atingir profundidades de 100m. Os vírus podem ser encontrados em profundidades maiores que as bactérias, em algumas pesquisas, estes microrganismos foram detectados em profundidades de 67m e a distância horizontal percorrida de até 408m. Em outra pesquisa, alguns vírus foram capazes de se deslocar por 1600m em um período de 16 horas (USEPA, 1993). A adsorção destes microrganismos às partículas do solo podem inibir seu movimento neste meio.

De forma geral, as análises realizadas para verificar a presença de patógenos utilizam índices, que dizem respeito a presença de organismos indicadores de contaminação fecal, como por exemplo os coliformes fecais. Porém, deve-se lembrar que nem sempre a isenção de organismos indicadores, como os coliformes fecais, asseguram que o lodo está livre de patógenos, como por exemplo protozoários, que podem ser mais resistentes que estes microrganismos (HELMER et al., 1991; HO et al., 1995).

3.3.1 Protozoários Patogênicos

Há uma grande variedade destes organismos presentes no lodo de esgoto, que podem ser de vida livre ou parasitas do homem e de outros animais. Uma característica destes protozoários é a formação de cistos ou oocistos, que são capazes de resistir às condições adversas do ambiente, como por exemplo diminuição da umidade. Além disto,

os cistos e oocistos são eliminados pelos organismos infectados e podem ser responsáveis pela disseminação das doenças causadas por estes parasitas.

Entre os protozoários patogênicos podemos citar os mais comuns no esgoto e águas residuárias, como por exemplo *Entamoeba histolytica*, *Giardia duodenalis*, *Cryptosporidium parvum*, etc.. Estes microrganismos são responsáveis por doenças entéricas e gastroenterites facilmente transmitidas através do contato do homem e outros animais, com água e lodo contaminados. A *Entamoeba histolytica* (Figura 3.2) pode ser associado com condições sanitárias precárias, podendo ser encontrada onde há contaminação fecal

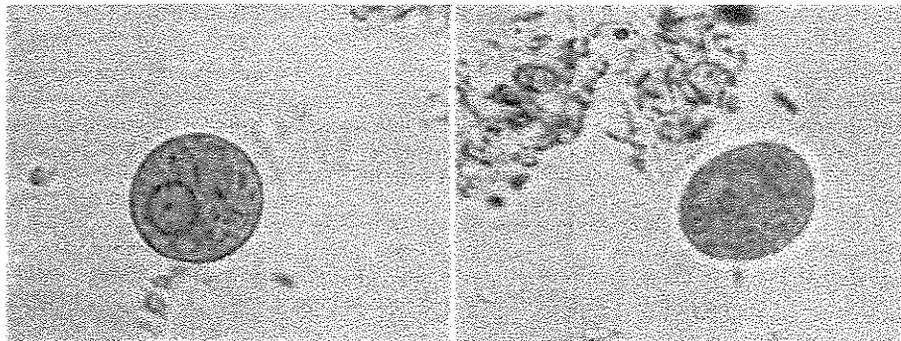


FIGURA 3.2- Cistos de *Entamoeba histolytica*

FONTE- SPENCER et al., 1968.

Giardia duodenalis (Figura 3.3.) é um protozoário flagelado de ampla distribuição, principalmente em áreas de saneamento precário. Os cistos deste protozoário são resistentes ao cloro e muito comuns no esgoto (FEACHEM et al., 1983).

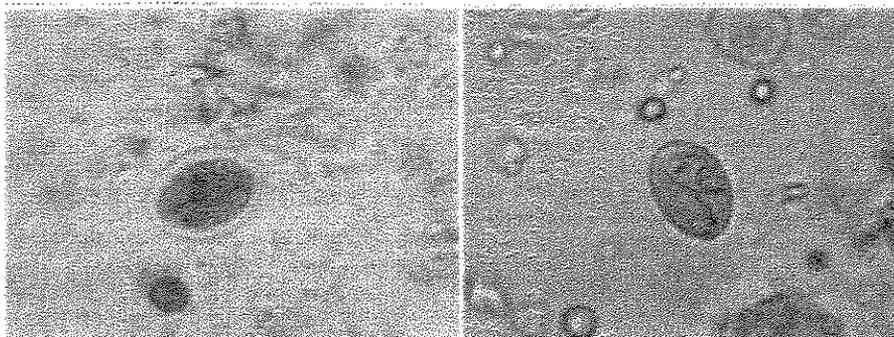


FIGURA 3.3 – Cistos de *Giardia duodenalis*

FONTE- SPENCER et al (1968)

A *Giardia* também é comumente encontrada no esgoto e causadora de doença entérica (HOLMAN et al., 1983; GASSMANN et al., 1991; HU et al., 1996). Seus cistos são resistentes aos processos de desinfecção, como por exemplo a cloração, que é muito utilizada nas estações de tratamento (MODIFI et al., 2002). Nos EUA, este protozoário é responsável por cerca de 60% das gastroenterites provocadas por ingestão de águas contaminadas (GILMOUR et al., 1991).

Cryptosporidium hominis é um protozoário coccídeo que tem sido atualmente muito estudado devido a estreita relação deste parasita com os portadores do vírus HIV, considerado um parasita oportunista (CASEMORE, 1991). Existem várias espécies deste protozoário, mas a que parasita o homem é o *C. hominis* (CASEMORE, 1991; SMITH et al., 1989).

Este protozoário não apresenta a forma de cisto, mas sim de oocistos, que são as formas de resistência e de infecção que irão completar seu ciclo de vida ao entrarem em contato com o hospedeiro. Os oocistos são liberados para o ambiente juntamente com as fezes do homem e outros animais, e são capazes de viver longos períodos no ambiente, sendo muito encontrados em amostras de água e esgoto.

Uma pesquisa realizada no Arizona, Califórnia, Texas e outros estados norte americanos, detectou a presença deste protozoários em 77% das amostras de água que foram analisadas (ROSE, 1988 *apud* SMITH et al., 1989), revelando que além de possuir ampla distribuição, este protozoário é resistente aos processos de tratamento de águas e esgoto. A sedimentação primária é relativamente ineficiente para remover os oocistos deste protozoário, somente cerca de 10,6% são removidos. Cerca de 81,4% dos oocistos que chegam no esgoto bruto atingem o tratamento secundário (GALE, 2003).

Segundo pesquisas, os oocistos de *Cryptosporidium* podem permanecer viáveis por vários meses. Quando sujeitos a temperaturas de 20°C por período de 6 meses, muitos oocistos ainda permanecem infectantes. Os extremos de temperatura, ou seja, o congelamento e a dessecação são letais para os oocistos (FAYER et al., 2000).

Os cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* são atualmente considerados os mais problemáticos, pois possuem distribuição universal e são responsáveis por

grande parte das doenças entéricas de veiculação hídrica (KARANIS et al., 1998). Estes cistos e oocistos são extremamente resistentes ao ambiente hostil e podem sobreviver em condições ambientais extremas, além de serem mais resistentes a certos processos de tratamento que as bactérias indicadoras (KFIR et al., 1995).

Os surtos epidêmicos causados por estes protozoários, têm sido reportados nos EUA e em muitos países da Europa. Os dois são responsáveis por causar diarreia em humanos e em muitos outros animais (FALK et al., 1998), e sua presença na água residuária e tratada tem sido responsável por numerosos episódios de diarreia (AHMAD et al., 1997).

Existem trabalhos que indicam que o efluente e o lodo de esgoto podem ser fontes de cistos e oocistos responsáveis pela contaminação da água. Porém existem poucos estudos que examinam e confirmam sua ocorrência no esgoto. As concentrações destes parasitas dependem do tamanho da comunidade contribuinte e do nível de infecção desta comunidade (BUKHARI et al., 1995).

Segundo BERTOLUCCI et al. (1998), os (oo)cistos podem viver por longos períodos no ambiente e representam uma grande preocupação por causa do risco para a saúde, resistência aos desinfetantes e tamanho e dimensão que permitem sua passagem através do leito de filtração. Ainda não é conhecida qual a influência da idade e permanência no ambiente do (oo)cisto na infectividade e conseqüente risco para a saúde. A informação da concentração infectante é pouca.

Estes protozoários são responsáveis pela alta incidência de doenças entéricas e devem ser tratados com rigor pelos sanitaristas, por sua maior resistência que organismos indicadores e por serem resistentes aos processos de desinfecção usados nas ETE's (ODA et al, 2000), apesar do tratamento de esgotos ser considerado como uma barreira importante para reduzir a concentração dos cistos e oocistos de protozoários patogênicos (GAVAGNHAM, et al., 1993).

3.3.2 Helmintos

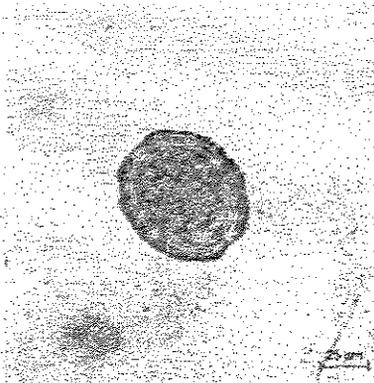
Os helmintos, popularmente conhecidos como vermes, também são muito comuns nos esgotos domésticos, trazendo sérios riscos para o homem. Os helmintos de interesse sanitários são os nematóides e os cestóides. Os mais comuns são *Ascaris lumbricoides*, *Taenia saginata*, *Taenia solium*, *Trichuris trichiura*, *Toxocara canis*, *Hymenolepis nana*, *H. diminuta*, *Enterobius vermicularis*, ancilostomídeos.

Os helmintos são muito resistentes e podem sobreviver por longos períodos no solo, como por exemplo os ovos de *Ascaris lumbricoides* que resistem a períodos de até 7 anos (EPA, 1992). Devido a esta característica de alta viabilidade, os ovos deste helmintos podem ser considerados como um bom padrão para avaliar o efeito dos processo de tratamento de esgoto na sua eliminação e sobrevivência (JOHNSON et al. 1998).

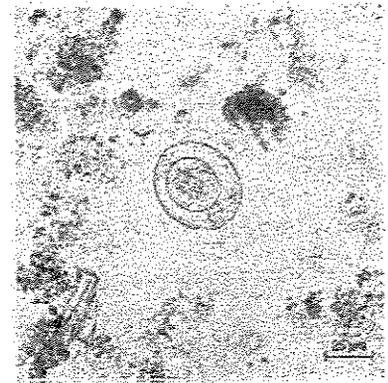
Além de um longo período de sobrevivência, os ovos de *Ascaris* são resistentes a maioria das formas de tratamento de esgoto e por este motivo, atualmente, têm sido escolhidos como indicadores para estudos de inativação (CAPIZZI et al., 1999).

Os helmintos são endêmicos de muitas áreas onde podem ser associados hábitos insatisfatórios de higiene. Segundo AMAHMID et al (1999), cerca de 25% da população mundial é infestada por *Ascaris* e isto é prevalente em países em desenvolvimento.

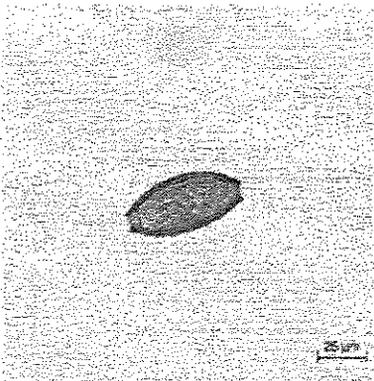
Alguns ovos comumente encontrados no esgoto e no lodo, são apresentados na Figura 3. 4.



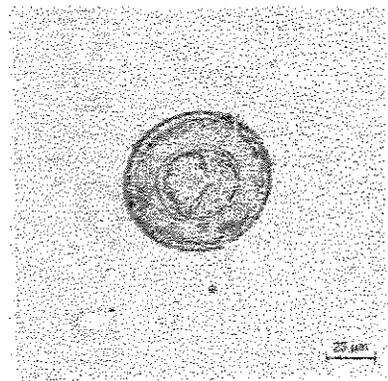
Ovo de *Ascaris* spp



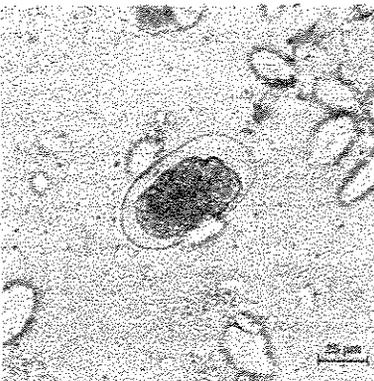
Ovo de *Hymenolepis nana*



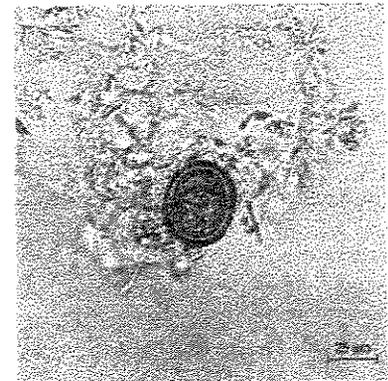
Ovo de *Trichuris trichiura*



Ovo de *H. diminuta*



Ovo de Ancilostomídeo



Ovo de *Taenia* spp

Figura 3.4 – Ovos de helmintos encontrados no esgoto
FONTE: AYRES et al., 1996.

Os ovos de *Ascaris lumbricoides*, pertencentes aos nematóides, apresentam constituição resistente e após serem ingeridos pelo hospedeiro, suas larvas penetram a parede intestinal e atingem as vias respiratórias via corrente sanguínea, provocando a Síndrome de Loeffler. Segundo ANDREOLLI et al. (1998), após a aplicação de lodo no solo, os ovos dos nematóides distribuem-se nos primeiros 2,5 cm do solo a partir da superfície, numa distribuição não uniforme.

Entre os cestóides, os mais comuns que podem afetar o homem são a *T. saginata* e a *T. solium*, sendo que esta pode trazer sérios prejuízos á saúde de seu hospedeiro, podendo chegar a atingir o cérebro (cisticercose) e causando sérias conseqüências.

Segundo GASPARD et al. (1995) existem recomendações para a qualidade de água residuária que pode ser usada em agricultura que determinam menos de 1 ovo/L de nemátoda intestinal. Esta recomendação também é feita pela EPA (1992). BLUMENTHAL et al (1996) afirmam que este índice proposta pela WHO é necessário para proteger do risco de infecção os consumidores de culturas irrigadas com esgoto (ou lodo) e também as pessoas que irão manipular este lodo.

JOHNSON et al (1998) afirmam que monitorar os processos aplicados ao lodo de esgoto para reduzir os ovos de helmintos são fundamentais para o tratamento de esgoto e para promover a reciclagem do lodo. Isto é fundamental pois o lodo freqüentemente contém uma grande quantidade de ovos de nemátodas intestinais, como por exemplo no Brasil, na região Nordeste que este número pode chegar de 38-670 ovos/L no lodo.

Os helmintos que aparecem no lodo podem ter uma alta capacidade de sobrevivência no lodo, e portanto o estudo de seu comportamento no lodo e solo é de fundamental importância para viabilizar este reuso. O tempo de sobrevivência dos ovos no ambiente está relacionado com muitos fatores, como a exposição a luz solar, a taxa de umidade, temperatura, predação, etc.

Um estudo da epidemiologia do lodo é fundamental para assegurar o reuso deste resíduo sem problemas para o homem e o ambiente. São necessários estudos para conhecer as formas de eliminá-los, bem como estudos de seu comportamento, de acordo

com o ambiente em que o uso do lodo será feito, afim de verificar nas condições ambientais o comportamento de tais organismos, para que o reuso possa ser feito sem riscos ao homem e ao ambiente.

3.4 Processos de desinfecção do lodo

Existem vários processos que podem ser utilizados para promover a redução de patógenos no lodo. A Norma P 4.230 da CETESB (1999) relaciona os processo aceitos para redução de patógenos:

- ✓ digestão aeróbia – a ar ou oxigênio – com retenções desde 40 dias a 20°C até 60 dias a 15°C;
- ✓ secagem em leitos de areia ou em bacias pavimentadas ou não, durante 3 meses no mínimo;
- ✓ digestão anaeróbia por 15 dias a 35-55°C ou por 60 dias a 20°C;
- ✓ compostagem por qualquer dos métodos citados anteriormente desde que com temperaturas mínimas da biomassa iguais a 40°C, durante pelo menos 5 dias e desde que conservando, ao longo de 4 horas sucessivas nestes 5 dias, uma temperatura maior do que 55°C; e,
- ✓ estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para elevação do pH até 12, após duas horas de contato.

A escolha de um processo eficiente de desinfecção é de fundamental importância para a produção de um lodo de boa qualidade e que poderá ter seu uso agrícola sem causar danos mais sérios ao ambiente.

3.4.1 Calagem

A calagem é um processo de desinfecção muito empregado. FERNANDES et al (1996) estudaram a eficiência dos processos de desinfecção de lodo para uso agrícola, comparando dois processos: tratamento com cal em diferentes dosagens e compostagem com resíduos ligno-celulósicos. Os parâmetros avaliados foram coliformes totais e fecais,

estreptococos e *Salmonella* spp. Os resultados obtidos por este trabalho indicam redução dos patógenos, porém sem diferença significativa entre os dois métodos estudados. Para a compostagem os níveis médios de redução foram:

- ✓ 72,3% para coliformes totais;
- ✓ 99,74% para coliformes fecais;
- ✓ 83,31% para estreptococos;
- ✓ 83,25% para larvas de helmintos; e,
- ✓ 85,5% para ovos de helmintos.

Não houve incidência de *Salmonella* e protozoários. Para calagem os resultados de redução de ovos de helmintos para 30% de cal foi de 64,8%; calagem a 40% foi de 80% de redução e calagem a 50% foi de 90,68%. Este método também foi eficiente na redução dos coliformes (totais e fecais) e estreptococos.

A calagem do lodo também foi estudada por FERNANDES (2000) para testar a eficiência deste tratamento na desinfecção dos patógenos, pois segundo o autor a cal é um dos produtos mais usados no saneamento e de baixo custo. Foram testadas calagem a 30, 40 e 50% e os resultados indicam a eficiência do processo na eliminação de patógenos e indicadores. Os cistos de protozoários e *Salmonella* foram destruídas em qualquer dosagem, os estreptococos foram totalmente destruídos na dosagem 50%, as larvas de helmintos também foram destruídas, sendo mais difícil a destruição dos ovos, devido a sua proteção natural.

Neste trabalho, também ficou constatado que o tempo de contato é fundamental para a destruição dos patógenos. Os resultados obtidos no trabalho foram para 20 dias, porém outros estudos mostram que o tempo de contato de 3 meses é mais eficiente na eliminação dos patógenos.

Segundo PASSAMANI (2000) a calagem é um dos processos mais eficientes para a eliminação dos patógenos no lodo, além de atuar na estabilização e na desodorização do mesmo. Definido como um processo de estabilização e desinfecção química, a calagem resulta da adição e mistura ao lodo de cal, para alcalinização brusca do meio, elevando o pH em níveis ligeiramente superiores a 12. Neste experimento foram testadas diferentes dosagens de calagem. Nas análises de viabilidade de ovos de helmintos não foram

detectados ovos com 24 horas em contato com a cal, nas dosagens de 30, 40, 50 e 60%. Entretanto, nas menores dosagens (10 e 20%) foram encontrados 0,33 (MS) ovos/g e 0,44 ovos/g(MS). Vale ressaltar que no lodo do reator anaeróbio UASB foram encontrados 15 ovos/g (MS), sendo que 53% destes ovos eram viáveis.

3.4.2 - Temperatura

A influência da temperatura e tempo na inviabilização dos patógenos também foi testada por TELES et al. (2000), cujos experimentos utilizaram estufa plástica sobre os leitos de secagem de lodo, revolvimento da massa de lodo e injeção de calor. Foram testados vários tratamentos do leito de secagem, recobertos com estufas plásticas ou filme plástico, com ou sem revolvimento e ainda biogás ou não.

Os resultados encontrados indicam que a solarização é eficiente na remoção dos ovos de helmintos, mas que o processo que utiliza estufa plástica e biogás foram os mais eficientes na redução destes patógenos.

Os efeitos da temperatura, na eliminação de patógenos, também foram estudados por CHERUBINI et al.(2000) no lodo de esgoto da ETE Guaraituba PR. Foram feitos testes térmicos com 4 temperaturas diferentes: 50°C, 60°C, 70°C e 80°C. A análise dos resultados indicam que a umidade e temperatura estão diretamente relacionadas com a viabilidade dos ovos de helmintos. A redução dos patógenos se dá a partir dos seguintes tempos: 50°C a partir de 48 horas; 60°C a partir de 6 horas e 80°C nos primeiros 5 minutos.

3.4.3 Desinfecção utilizando luz solar

A desinfecção com luz solar é uma prática antiga usada principalmente para água, pois sabe-se que a luz solar tem efeito bactericida, estabelecida pela primeira vez

por Downes e Blunt em 1877 (CONROY et al., 1996) e que o comprimento de onda do ultravioleta é o que tem papel preponderante neste efeito (BERNARDES et al., 1999).

A energia solar pode ser usada de maneira eficaz para inativar os microrganismos, seja pelo aquecimento da água ou pela exposição direta à radiação ultravioleta solar (SAITOH, et al., 2002).

A radiação ultravioleta tem alto grau de inativação de microrganismos patogênicos em curto tempo de contato, e não produz resíduos tóxicos que afetam o meio aquático ou os sistemas de distribuição de água de abastecimento (WHITBY e PALMATEER, 1993).

DAVIES-COLLEY et al. (1999), trabalhando com efluente de lagoas de estabilização concluíram que a desinfecção depende da intensidade da luz solar e da temperatura. A sazonalidade também afeta o processo, sendo que no verão há uma maior incidência de luz solar e aumento da temperatura, o que promove uma desinfecção mais eficiente. Por essa razão, a aplicação do método de desinfecção por radiação solar é muito interessante no Brasil, já que é um país de clima quente e dispõe de sol forte em quase todas as estações do ano.

Ao contrário dos outros desinfetantes que tem ação química, a radiação ultravioleta atua fisicamente, atingindo os ácidos nucleicos dos microrganismos, desestabilizando-os. São formados dímeros de timina que prejudicam a replicação de DNA e o sistema de reparação do mesmo promovendo mutações. Os raios UV também induzem reações fotoquímicas na matéria orgânica natural, aumentando a concentração de superóxidos (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radicais hidroxila (OH^\cdot). Eles podem causar danos aos microrganismos pelos componentes da oxidação celular (OATES et al., 2003).

A absorvância dos raios solares também aumenta a temperatura do meio. Temperaturas maiores do que o máximo suportado para a sobrevivência dos microrganismos impedem a função das proteínas, desnaturando-as e causando a morte desses patógenos (OATES et al., 2003). A maioria dos microrganismos são inativados quando expostos à temperatura de 70°C por um certo período de tempo e também

quando expostos à radiação UV solar, especialmente perto do UV – 300-400nm, com um ótimo a 357nm (SAITOH et. Al., 2002).

Porém, existem algumas bactérias capazes de repararem o seu próprio DNA após os danos causados pela exposição aos raios UV. WEGELIN et al (1994), demonstrou que, após 24 horas, considerável número de reparações do DNA das bactérias estudadas foi encontrado, o que indica que as bactérias possuem um mecanismo de reparação do seu DNA.

No experimento realizado por DAVIES-COLLEY et al. (1997) foram identificados os componentes do espectro solar responsáveis pela inativação dos microrganismos, e estes componentes incluem o UVB (290-320nm), UVA (320-400nm) e a faixa de luz visível entre o azul e o verde (400-550nm). Também foi concluído neste estudo que todos estes componentes são responsáveis pela desinfecção, sendo que o mais eficiente é o UVB, pois foi o que dominou a inativação de *E coli* e vírus.

Além dos fatores já citados, pode-se levar em consideração também, o ângulo de incidência dos raios solares, a hora do dia e o mês do ano em que eles incidem, bem como a latitude dessas regiões geográficas (OATES et al., 2003).

O tempo de exposição à luz solar também é importante, porque pouco tempo de exposição não garante a desinfecção. Segundo OATES et al. (2003), há um pico ótimo de exposição, no qual a maioria dos microrganismos não sobrevivem e, de acordo com o seu trabalho, esse pico seria de 5 horas a partir do início da exposição.

A temperatura também é um fator que combinado à intensidade da radiação ultravioleta podem favorecer a eliminação dos patógenos. Em pesquisa feita com ovos de *Ascaris* e cistos de *Giardia* foi encontrado que quanto maior a temperatura e a intensidade da radiação solar, menores eram as concentrações destes patógenos (AMAHMID, et al., 1999). Os oocistos de *Cryptosporidium* também são amplamente afetados por altas temperaturas quando estão presentes na superfície do solo (GALE, 2003).

A eficiência da desinfecção por luz solar depende do tipo de patógeno para o qual está sendo utilizada, sendo mais eficiente para bactérias e vírus. No caso de

protozoários a desinfecção por agentes físicos ou químicos é mais difícil, assim como os helmintos (BURCH et al., 1999). Intensidades altas de UV promovem uma desinfecção eficiente e em *Cryptosporidium parvum*, em particular, esse tipo de desinfecção é adequada, não se verificando reparo dos danos causados no DNA desses protozoários (ZIMMER et al., 2003).

Experimentos feitos com cistos de *Entamoeba histolytica* demonstraram que estes são extremamente sensíveis a radiação solar e ao processo de dessecação, sendo que em climas quentes 3 dias são suficientes para sua eliminação. Em condições climáticas frias, é necessário uma semana para sua eliminação e em regiões de clima tropical úmido, os cistos são capazes de se manterem viáveis por duas semanas, devido ao aumento da umidade (AMAHMID, et al., 1999).

3.5. A Experiência Brasileira na utilização de Biossólidos

No Brasil tem sido realizados diversos estudos por entidades municipais e estaduais responsáveis pelo saneamento e destino final do lodo, dentre as quais podemos citar a SABESP, CETESB, SANEPAR (BETTIOL et al., 2000).

O lodo contém muita matéria orgânica, além de macro e micro nutrientes, sendo muito importante para a produção agrícola e manutenção da fertilidade do solo. Sabe-se que pelas suas características, o lodo também é capaz de melhorar a estrutura física dos solos, capacidade de retenção de água, e redução da erosão.

A estimativa da quantidade de lodo gerada no Brasil e qual a forma de disposição deste lodo foi levantada na pesquisa de MACHADO (2001), sendo que a autora relatou em seu trabalho que os dados apresentados pelas ETEs são incompletos, pois na maioria dos casos estas não informaram a quantidade de lodo produzida durante o tratamento de esgoto e nem mesmo o destino final. Os resultados obtidos nesta pesquisa estão apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 Destino final do lodo

Destino Final	Quantidade informada (t/ano)	% Quantidade informada	Quantidade estimada (t SST/ano)	% Quantidade estimada
Aterro sanitário	138.418,35	44,9 %	75.844,25	50,0%
Agricultura	17.332,50	5,6%	22.973,25	15,1%
Indefinido	152.882,40	49,5%	52.907,00	34,9%
Total Brasil	308.633,25	—	151.724,50	—

FONTE: MACHADO, 2001.

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que a forma de disposição mais utilizada no Brasil é a disposição em aterro sanitário, deixando de aproveitar todo o potencial de matéria orgânica e de outros constituintes importantes presentes no lodo, que poderiam ser reaproveitados no caso do uso agrícola deste resíduo.

Para os solos paulistas, que são carentes em matéria orgânica, o potencial do lodo nesta característica é a de grande importância no seu uso (BETTIOL et al., 2000). Porém, para que este reuso possa ser feito com segurança é preciso garantir a qualidade do lodo, principalmente no que diz respeito às concentrações de patógenos e metais pesados.

Outro aspecto a ser considerado é o tipo de cultura a ser utilizada. Devem ser escolhidas culturas que tenham um aproveitamento melhor da composição química do resíduo, bem como aquelas que não ofereçam riscos diretos para o homem, como por exemplo as horticulturas. A seguir serão relatadas algumas experiências brasileiras com a utilização dos biossólidos:

Experiência de Brasília

O volume total de lodo produzido em Brasília pela CAESB é de 200 t dia⁻¹ (peso úmido com 15% de sólidos) e uma característica deste esgoto é o baixo índice de metais

pesados, por ser essencialmente doméstico. Análises feitas para determinar a composição deste lodo obtiveram os seguintes resultados:

- N, P e Ca foram os macronutrientes com teores mais elevados;
- Fe – micronutriente mais abundante
- elevado teor de matéria orgânica
- metais pesados abaixo dos limites considerados críticos pela USEPA.

No início dos experimentos foram testadas várias culturas e o milho foi a que apresentou resultados positivos. O experimento foi realizado pela EMBRAPA Cerrado, sendo iniciado em 1995 e foram comparadas as seguintes experiências:

- ✓ milho recebendo biossólido da CAESB como fertilizante;
- ✓ milho testemunha, ou seja sem adubação; e,
- ✓ milho que recebeu uma fonte tradicional de suprimento de fósforo (superfosfato triplo).

As doses de aplicação usadas foram: 54, 108 e 256 tha^{-1} equivalentes a 6, 12 e 24 tha^{-1} em material seco (10% de água). A aplicação foi feita com a ajuda de uma retroescavadeira e o espalhamento com auxílio de pás e enxadas.

Segundo os resultados obtidos em 3 anos de experimentos, pode-se concluir que o lodo da CAESB manteve produtividade razoável até o terceiro ano, sem adição de qualquer outro insumo, o que evidencia o efeito residual da aplicação. Uma explicação para este efeito pode ser dada pela melhoria da condição físico-hídrica do solo.

Como conclusões do trabalho têm-se que a utilização do lodo para o milho é viável, pois fornece os nutrientes necessários para a cultura. É preciso testar doses menores de aplicação de lodo, bem como outras culturas que possam ser utilizadas e suas respectivas doses.

Segundo os autores do trabalho a possibilidade de reuso do lodo vem aumentando nesta região devido a dois fatores principais: tendência mundial de redução de insumos químicos e disponibilidade do lodo que necessita ser adequadamente disposto, considerando os fatores econômico e reciclagem.

Apesar das vantagens citadas acima não deve-se descuidar dos seguintes aspectos: nível de patógenos, o teor de metais pesados, hoje baixo pode aumentar, o alto teor de água do lodo, que dificulta o transporte e o encarece, odor desagradável e a necessidade de se fazer um dessecamento de até 30% de água, o que pode melhorar as propriedades físicas e facilitar o manuseio do resíduo.

Experiência com Agricultores - Brasília

A CAESB é a primeira empresa de saneamento a disponibilizar o lodo para reciclagem agrícola, e para tanto conta com o apoio do Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do Distrito Federal – IEMA – e da EMATER- DF.

Desde os anos 60 os agricultores da região do Distrito Federal utilizam o lodo produzido pela CAESB. Inicialmente a produção de lodo era limitada e o agricultor interessado deveria pagar uma taxa e ser responsável pela retirada do lodo seco dos leitos de secagem. A partir de 1993 aumentou o volume de lodo gerado, com a implantação de novas ETEs e a partir daí a CAESB passou a incentivar o reuso do lodo na disposição agrícola.

O lodo disponibilizado é estabilizado anaerobio ou aerobioamente, e possui baixo teor de metais pesados. Os macronutrientes mais abundantes são N, P e Ca, e Fe e Zn como micronutrientes.

Os interessados em usar o lodo devem ser cadastrados como produtor rural pela EMATER-DF, devem apresentar receituário agrônomo, que fica retido, não permitindo ser usado uma segunda vez. Além disto o agricultor é alertado para os riscos de uso do lodo em horticultura. Os caminhões usados para transporte do lodo devem estar em bom estado e são vistoriados.

Levantamento feito pela EMATER-DF mostra que 12% do lodo disponibilizado foi encaminhado para Goiás, Bahia e Minas Gerais. As culturas mais usadas são: milho, fruticultura, formação de capineira, recuperação e formação de pastagens, plantio de essências florestais, plantas ornamentais, recuperação de áreas degradadas e café.

O lodo não pode ser usado na horticultura devido as características microbiológicas. Porém, se for devidamente higienizado pode ser possível a sua utilização neste segmento. Outra grande alternativa de reuso no Distrito Federal é na recuperação de áreas degradadas, como por exemplo as que são degradadas durante obras de execução de rodovias.

A disponibilização do lodo para os agricultores aumenta a responsabilidade da empresa produtora de lodo em garantir a qualidade do resíduo, bem como determina a utilização agrícola como forma fundamental de disposição de seu resíduo, solucionando também um problema da própria ETE.

Experiência de Itatinga/SP

Neste projeto, coordenado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) juntamente com a SABESP, está sendo feito um estudo do efeito do lodo de esgoto em talhões florestais de *Eucalyptus grandis*. A área do projeto está localizada na Estação Experimental de Itatinga SP, com supervisão do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

O tempo do estudo é de 4 anos e os objetivos são verificar o efeito do lodo sobre o crescimento das árvores, da vegetação rasteira e incremento da biomassa lenhosa, monitorar as características bio/físico/químicas do solo, movimentação de nutrientes e metais pesados no solo e plantas, efeitos na qualidade da água e fauna silvestre. O lodo usado é de Barueri/SP.

Os resultados deste estudo também serão aproveitados por empresas de reflorestamento de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, etc, e devido ao grande interesse de várias empresas pelo projeto, este poderá ser repetido em outras condições de solo e climáticas.

Foram estudados várias doses crescentes de lodo, além da testemunha e uma parcela que recebeu fertilização mineral. Entre os resultados obtidos pode-se citar que a análise de folhas de plantas que receberam as maiores doses de lodo apresentavam em

média uma aumento no teor de nitrogênio foliar. Outros elementos como o P e o Ca também tiveram um incremento nas plantas que receberam as maiores doses de biossólidos, e no caso do Ca isto pode ser explicado pelo tratamento feito com cal virgem que é feito no lodo da ETE de Baruerí. Também houve aumento do teor de enxofre pela grande quantidade de matéria orgânica, e mesmo as doses menores de aplicação apresentam o incremento de S.

O trabalho ainda deve ser monitorado por mais tempo para que sejam tiradas conclusões mais definitivas, no entanto já se pode dizer que a aplicação de lodo altera o estado nutricional das plantas de eucaliptos, pois vários nutrientes aumentaram sua concentração nas folhas das plantas que fizeram seu uso.

As vantagens da utilização do lodo em áreas de reflorestamento levam em consideração as seguintes razões:

- ✓ as florestas ocupam grandes áreas e a diminuição de custos com fertilizantes minerais pode ser vantajosa;
- ✓ as áreas florestais apresentam deficiências ou desbalanços nutricionais, como P e N, o que restringe este tipo de atividade;
- ✓ as áreas florestais são localizadas em sítios bem drenados e não sujeitos a enchentes periódicas;
- ✓ nestas áreas não há produção de alimentos, o que permitiria o uso do lodo com baixos riscos para a saúde; e,
- ✓ os ecossistemas florestais apresentam algumas características, como as taxas de infiltração do solo geralmente são altas, minimizando o potencial de arrastamento de constituintes do lodo via enxurrada.

Existem outros trabalhos de reuso de lodo na agricultura, como o Projeto da Embrapa Jaguariúna, que estuda o efeito do lodo no desenvolvimento do milho. São usados os lodo da ETE de Barueri e da ETE de Franca aplicados em parcelas nas quais foi feito o plantio. Este projeto está em andamento e vários parâmetros são analisados, como N, P, patógenos, metais, etc. Este projeto é desenvolvido em parceria com várias instituições, como o IAC- Instituto Agrônomo de Campinas.

A SANEPAR também possui em grande projeto de aplicação de lodo em parceria com a Universidade Estadual de Londrina, EMBRAPA, IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) desde 1993 para estabelecer critérios de utilização do lodo. Vários aspectos da utilização do lodo são estudados afim de viabilizar sua aplicação agrícola.

O interessante destes projetos de utilização agrícola do lodo é a formação de grupos multidisciplinares para realizar os estudos. São feitas parcerias com órgãos públicos, institutos de pesquisa e universidades, todo buscando um mesmo objetivo e visando um bem comum – a saúde de uma forma geral do ambiente e a diminuição dos índices de poluição.

Com o avanço das pesquisas e as Normas que vieram para regulamentar e disciplinar a utilização dos bio-sólidos, fica evidente que a utilização agrícola deste reuso é uma opção viável e que pode e deve ser feita com critérios e segurança.

O lodo gerado na maioria das ETEs pertence a Classe B, ou seja, pode ser utilizado mas com algumas restrições, para não colocar a saúde em risco. A ETE Samambaia –Campinas -SP produz um lodo deste tipo e que está sendo utilizado em agricultura. Segundo os operadores desta ETE há um monitoramento da utilização deste lodo, lembrando que o gerador é responsável pelo seu resíduo e deve zelar pela sua utilização.

Quanto maior for o controle da utilização e a conscientização de quem faz o uso deste resíduo, menores as chances de ocorrerem problemas como o que foi detectado em Brasília DF, que devido a imprudência de um agricultor houve contaminação de um poço com patógenos.

Não basta incentivar o uso do lodo, é preciso primeiro um convencimento de suas propriedades, qualidade na geração, acompanhamento de um especialista na hora que o reuso for feito, escolha adequada da cultura que será utilizada e acima de tudo bom senso de quem está fazendo o reuso deste lodo.

4. METODOLOGIA

A parte experimental foi montada em Limeira - SP na área experimental do CESET – Centro Superior de Tecnologia, pertencente a UNICAMP, onde foram instalados os protótipos usados para a aplicação do lodo no solo. As análises de laboratório foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP.

A escolha do local para montagem do experimento levou em consideração os seguintes aspectos: segurança do local, pois este é cercado e não permite a entrada de pessoas estranhas e uma estação hidrometeorológica situada ao lado da área do experimento, o que facilita o acompanhamento de dados meteorológicos.

A montagem do experimento em protótipos teve como objetivo permitir uma melhor avaliação do comportamento do solo que recebeu o lodo, não só em relação aos protozoários e helmintos, mas também para outros parâmetros, como coliformes, N, P, etc. analisados em outros projetos, e garantir os critérios ambientais e sanitários, evitando a contaminação do solo e até mesmo do lençol freático, com a infiltração do lodo, além de garantir a segurança das pessoas envolvidas, pois o lodo pode conter patógenos.

No total foram feitas 20 aplicações de lodo no solo num período total de 37 meses de experimento. O intervalo entre as aplicações foi de aproximadamente 42 dias de acordo com os ensaios de respirometria.

4.1 Montagem dos protótipos

A montagem da pesquisa foi feita em protótipos de fibra de vidro com dimensões: diâmetro de 1,10m, altura de 1,20m e capacidade de 1000L (Figuras 4.1 e 4.2).

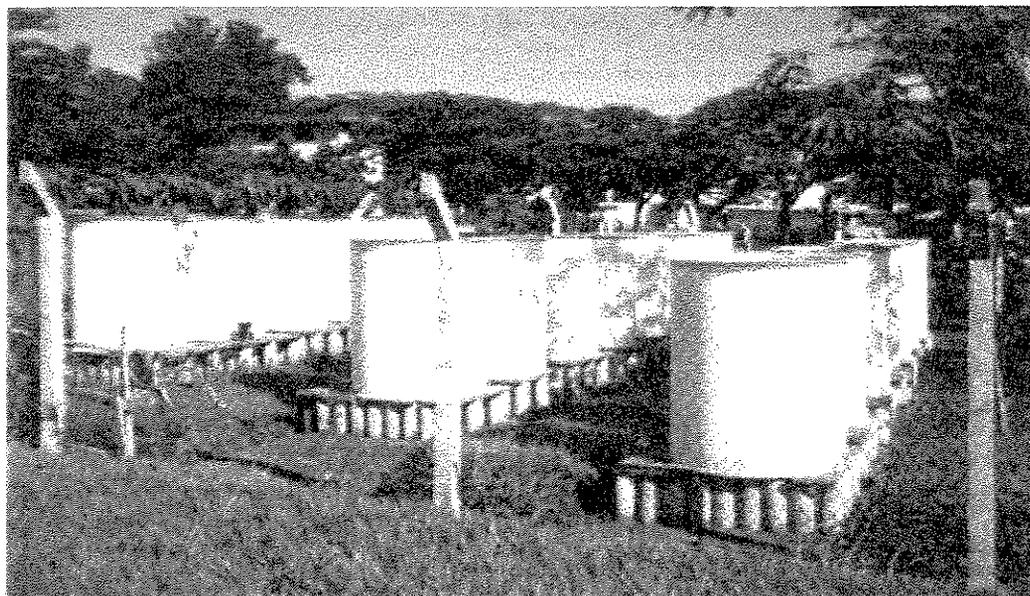


Figura 4.1 – Vista geral dos protótipos no local de experimento

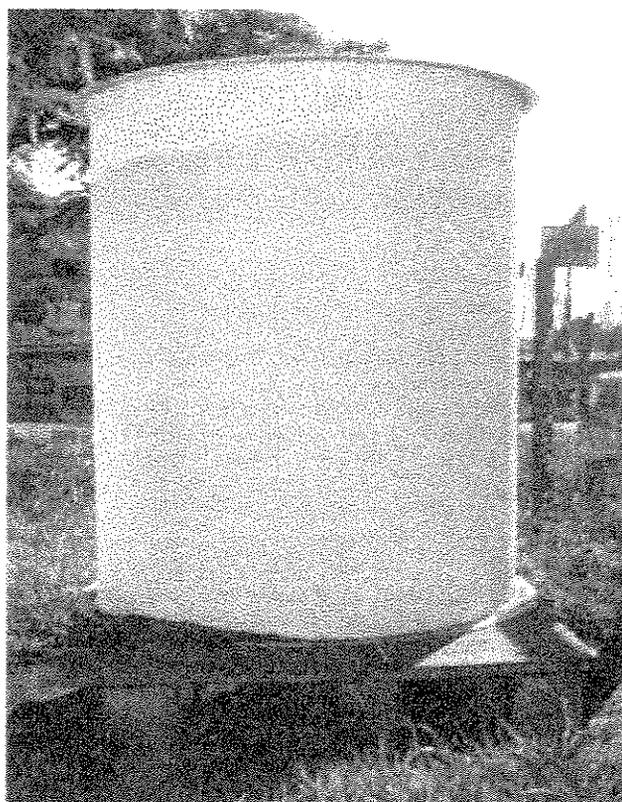


Figura 4.2 – Detalhe do protótipo usado para aplicação de lodo

No total foram usados 18 protótipos, dispostos aleatoriamente, afim de evitar que uma distribuição viciada pudesse causar interferência nos resultados. O esquema do terreno com os protótipos está apresentado na Figura 4.3.

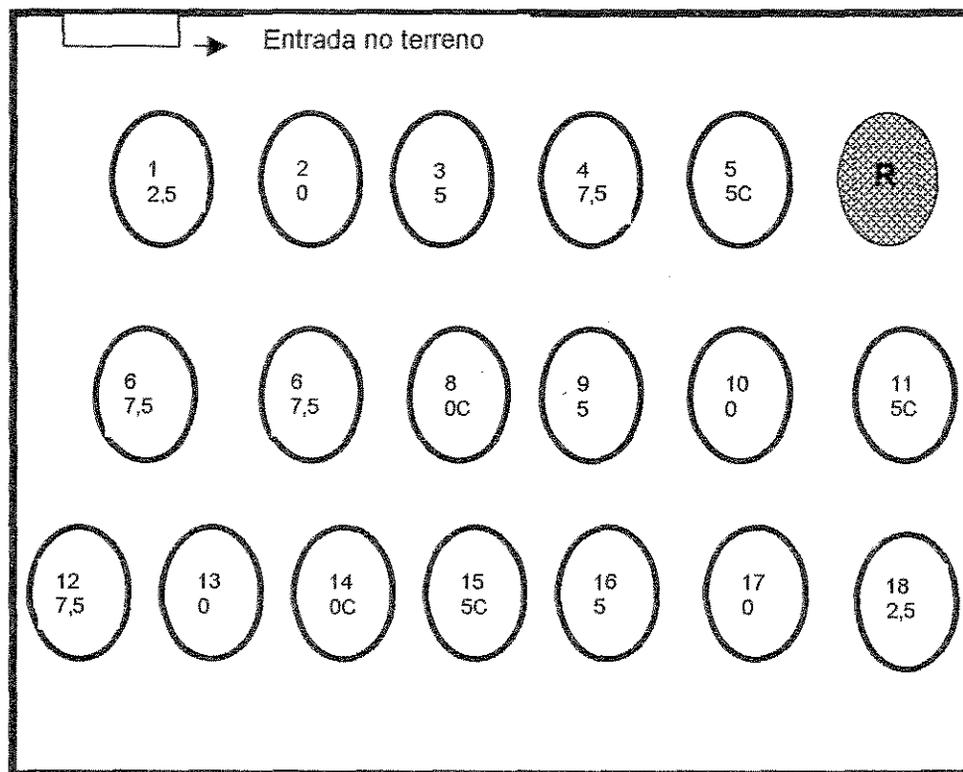


Figura 4.3 – Esquema de distribuição dos protótipos montados para aplicação de lodo.

Cada protótipo possuía três coletores de drenagem livre, usados para coleta do líquido percolado, e que foram posicionados nas seguintes profundidades: 0,25; 0,50 e 0,75 m. Além dos 3 coletores, havia uma saída de descarte de fundo na profundidade de 1,00 m (Figura 4.4).

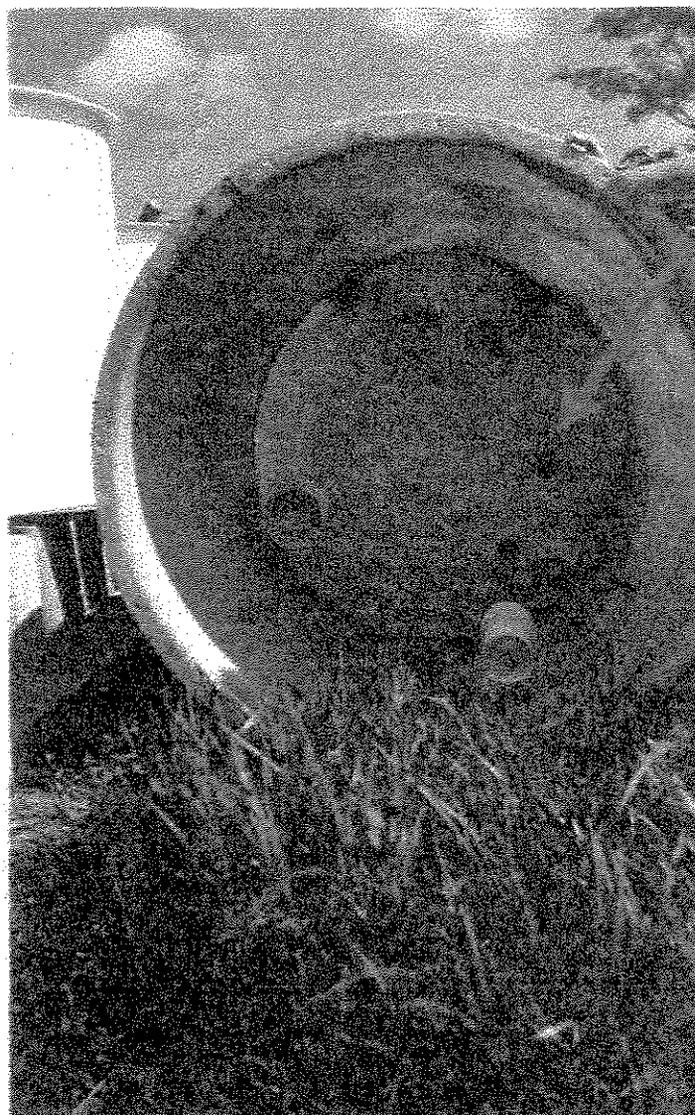
Descarte de
fundo

Figura 4.4 – Protótipo com coletores e descarte de fundo (seta)

Depois dos coletores de drenagem livre terem sido instalados, foi iniciada a etapa de preenchimento dos protótipos com o solo. Em primeiro lugar foi colocada uma camada de areia grossa e a seguir o solo foi acondicionado dentro dos protótipos, tomando-se cuidado com os coletores. Ao final do preenchimento dos protótipos foi colocada uma camada de cerca de 15cm de solo agrícola, finalizando a etapa de montagem. Na superfície do protótipo ficou um espaço livre de cerca de 20cm para a aplicação do lodo líquido.

4.2 Montagem dos coletores de drenagem livre

Os coletores de drenagem livre foram montados a partir de um modelo de caixa de drenagem de percolado, originalmente montado por LUDOVICE (1997). O coletor é composto por um "cap" de 100 ou 150mm (no caso dos coletores das profundidades de 0,50 e 0,75m), sobre o qual foi colocada uma grelha plástica recoberta com um tela de nylon com malha 1mm. Acima desta grelha foi colocada uma camada de areia grossa para evitar o carreamento de partículas de solo junto ao percolado. Para finalizar o coletor, foi colocado um prolongamento de PVC de 10 cm, o qual foi preenchido com solo para aumentar a área de captação de água. No fundo do "cap" tinha uma saída que estava conectada um tubo de PVC, com um registro externo para coleta de amostras.

4.3 Caracterização do solo

Antes de iniciar a montagem dos protótipos, foi feita a caracterização dos dois tipos de solos, o de preenchimento e o solo agrícola, usado na camada superficial. A análise química do solo (macronutrientes) foi feita em um laboratório particular em Piracicaba e as análises granulométrica e de capacidade de campo foram feitas no Laboratório de Hidrologia da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP.

A análise granulométrica foi feita utilizando o Método M6-61 (DER-SP – 1974) "Análise granulométrica de solos por peneiração e sedimentação (Processo do densímetro). A partir da curva granulométrica pode-se determinar a textura do solo em questão, utilizando-se o "Triângulo para determinação das classes texturais" (MEDINA, 1975). E a capacidade de campo foi feita utilizando um aparelho chamado "Membrana de Richards", descrito por REICHARDT, 1985).

4.4 Lodo de esgoto

O lodo de esgoto usado no trabalho era proveniente de São Bernardo do Campo-SP, na estação de tratamento do Bairro Riacho Grande, situada às margens da represa Billings. O sistema usado na ETE é valo de oxidação com aeração prolongada. O esgoto tratado é basicamente de origem doméstica e equivalente a uma população de 10.000 habitantes. A ETE também recebe caminhões limpa-fossa com esgoto proveniente de escolas municipais. O lodo utilizado era líquido e a coleta era feita no retorno do lodo do decantador para o valo de oxidação.

4.5 Doses de aplicação de lodo

As seguintes doses foram selecionadas para aplicação de lodo no solo: Dose 0 (grupo controle), 2,5; 5,0 e 7,5 TSS/ha/base seca (Tonelada de Sólido Seco por hectare), divididas em duas séries: uma série com o pH do solo natural (não corrigido), e outra série com correção do pH do solo em torno de 7,0, para o controle (taxa 0) e para a taxa 5 TSS/ha base seca. As aplicações de lodo foram feitas aproximadamente a cada 42 dias.

Estas doses foram selecionadas com base em trabalhos anteriores realizados por CORAUCCI FILHO (2000), que trabalhou com doses de 5, 10 e 15 TSS/ha e obteve os melhores resultados para a dose 5TSS/ha. A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, decidiu-se então verificar uma dose imediatamente abaixo e acima, no caso 2,5 e 7,5 TSS/ha, para determinar qual era melhor a ser usada em relação aos parâmetros analisados.

4.6 Determinação do volume do lodo a ser aplicado em cada dose

A aplicação de lodo nos protótipos era feita a partir de doses pré-determinadas. O lodo usado no projeto apresenta-se na forma líquida, e portanto era preciso calcular o

volume de lodo que deveria ser aplicado em cada protótipo, de acordo sua dose de aplicação correspondente.

Esta determinação do volume de lodo a ser aplicado foi baseado no diâmetro da protótipo, que deve ser relacionado com a dose a ser aplicada e os Sólidos Totais presentes no lodo. A determinação dos Sólidos Totais do lodo, era de acordo com o procedimento estabelecido pelo Standard Methods (1995).

4.7 Aplicação do Lodo de Esgoto

Para a aplicação do lodo nos protótipos foram usadas provetas de 2L e béquer de 4L de polietileno. A distribuição do lodo nos protótipos era feita manualmente, tomando-se o cuidado de não criar caminhos preferenciais (Figuras 4.5). Sempre tomou-se o cuidado de usar luvas, máscara e avental para evitar contato direto com o lodo e eventuais riscos de contaminação.

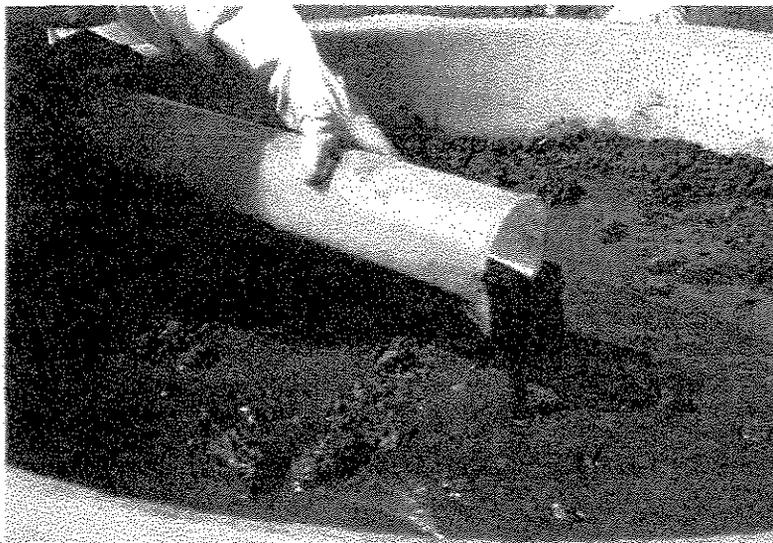


Figura 4.5 – Aplicação de lodo líquido no solo

4.8 Respirometria

A respirometria foi utilizada como baliza para a frequência das reaplicações do lodo no solo, pois neste caso o projeto visa uma disposição controlada deste resíduo no solo. O método é usado para avaliar a atividade microbológica de um solo, através da medida do CO_2 gerado no processo de degradação da matéria orgânica. Este ensaio permite estimar o tempo para a estabilização de um resíduo orgânico, quando este é lançado no solo. De acordo com o resultado da respirometria era possível determinar quando seria a próxima aplicação do lodo.

A ABNT (1993) prescreve o método de respirometria de Bartha para determinação da biodegradação da matéria orgânica contida em resíduos a serem tratados no solo. Nos respirômetros (Figura 4.6) são feitas as medidas de geração de CO_2 , tanto do solo controle quanto da mistura solo/lodo. O CO_2 é gerado pela respiração aeróbia decorrente da degradação da matéria orgânica do solo, e no respirômetro, o CO_2 produzido é absorvido pela solução de KOH colocada em seu interior.

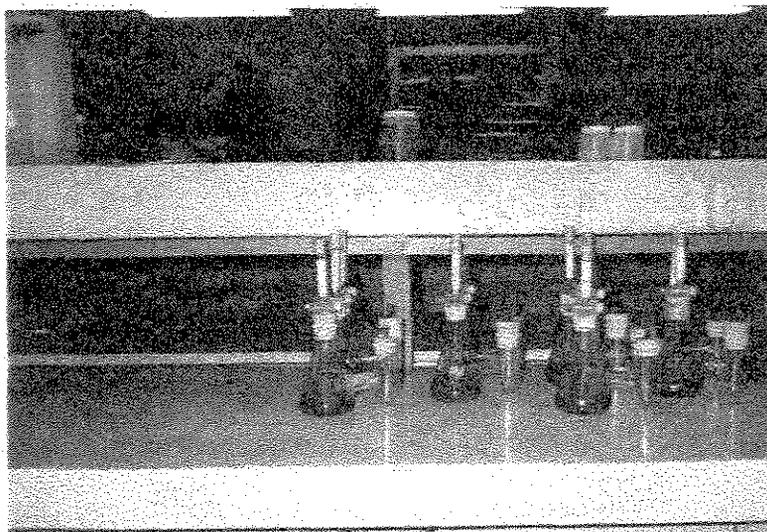


Figura 4.6 – Conjunto de respirômetros usados no experimento

O procedimento de avaliação da biodegradação é a titulação do KOH excedente, com HCl, após um determinado tempo de incubação, permitindo o cálculo da quantidade CO_2 gerado no processo. Com estes resultados é possível saber quando ocorreu a

degradação máxima de um resíduo e quando esta se estabiliza ou cessa, o que indica que toda matéria orgânica já foi degradada e o resíduo pode ser novamente aplicado.

4.8.1 Montagem dos respirômetros

O projeto de norma de respirometria (ABNT, 1993) determina a montagem dos respirômetros em triplicata. Inicialmente foi colocado em cada respirômetro 50g de solo seco e a umidade corrigida para 70% da capacidade de campo do solo. Antes da aplicação nos respirômetros o lodo era centrifugado e deixado secar ao ar livre por aproximadamente 1 semana. Após esta secagem o lodo era incorporado ao solo já contido no respirômetro. Era pesado a quantidade de lodo, de acordo com a dose de aplicação, e a amostra colocada junto ao solo do respirômetro para ser incorporada. Quando necessário fazia-se a correção da umidade adicionando água destilada.

O respirômetro era então vedado com rolha, e a parte superior, preenchida com ascarita, mantendo a válvula de ventilação fechada e a rolha colocada. Adicionava-se 10mL da solução de KOH no braço lateral do respirômetro e a cânula era vedada. Os respirômetros foram incubados a $28 \pm 2^\circ\text{C}$.

A determinação da quantidade de CO_2 produzido foi feita através da titulação do KOH com HCl. Após decorrido determinado período de incubação, este procedimento permitiu calcular a quantidade de CO_2 gerada no processo, naquele período de tempo considerado. As soluções usadas e o processo mais detalhado pode ser verificado na ABNT 1993. Nos primeiros dias, quando a produção de CO_2 é muito intensa é necessário fazer a titulação todos os dias para poder acompanhar melhor o processo.

4.9. Frequência de amostragem

As amostras de solo foram coletadas 1 semana e 15 dias após a aplicação de lodo para análise dos patógenos. O lodo sempre foi analisado antes de sua aplicação e o

líquido percolado dos coletores foi analisado sempre que for possível coletá-lo, pois neste caso era preciso que ocorresse um período de chuvas.

As amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades com a ajuda de um trado tipo parafuso, sendo que no total foram 4 camadas de coleta de solo – 0-20cm; 20-40cm; 40-60cm e 60-80cm. As amostras do líquido percolado também foram coletadas em profundidades diferentes – 25cm; 50cm; 75cm e 100cm, de acordo com sua disponibilidade.

4.10 Análise parasitológica do lodo, mistura solo/lodo e percolado

As análises no lodo de esgoto foram realizadas antes de sua aplicação no solo, e na mistura solo/lodo após a aplicação do lodo e no líquido percolado dos coletores.

4.10.1 Análise do lodo e lodo (mistura solo/lodo)

As análises do lodo foram realizadas antes de sua aplicação no solo, para determinar o número de cistos/ocistos/ovos presentes. O volume de lodo analisado foi de 1 litro.

Para análise do solo foram coletadas amostras da camada superficial do solo, e das diferentes profundidades de solo dos protótipos, com a ajuda de um trado. Após a coleta, o local da retirada das amostras foi novamente preenchido com o mesmo solo usado nos protótipos, para não deixar espaço sem preenchimento. Para maior representatividade das amostras, foram coletadas de 4-6 sub-amostras para compor a quantidade de 50g necessária para análise.

O método usado para análise do lodo e solo foi o Método de Yanko modificado (SANEPAR, 2000), que utiliza sulfato de zinco e éter (Figura 4.7). A contagem dos ovos e cistos foi feita com a auxílio de uma câmara de Sedgwick-rafter e observação em microscópio óptico comum (10 e 40X).

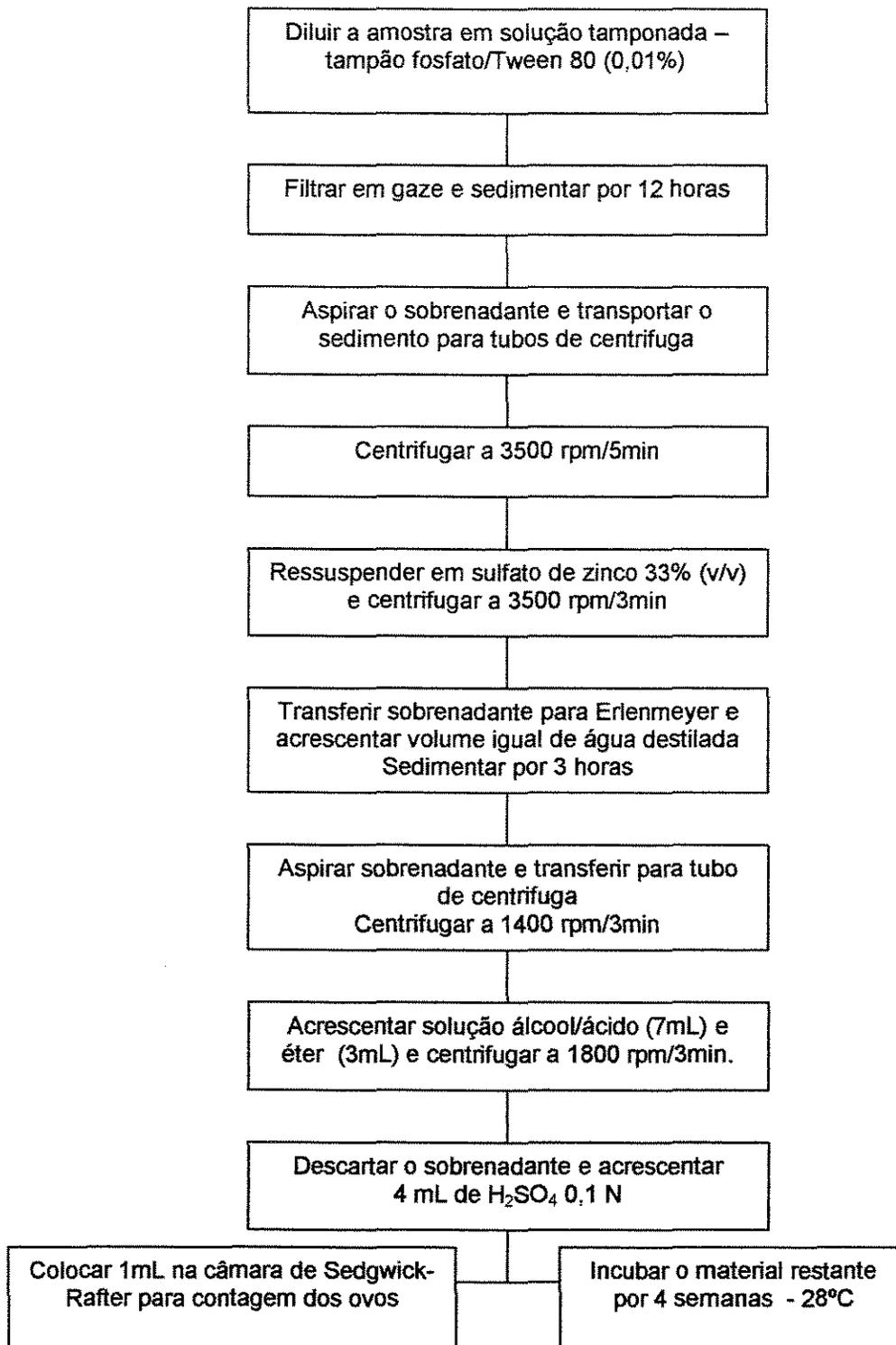


Figura 4.7 – Esquema da metodologia usada para contagem de ovos e cistos no lodo e mistura solo/lodo

Fonte: SANEPAR 2000.

4.10.2 Análise do percolado

Para análise das amostras de líquido percolado foi utilizado o método da centrifugo-flutuação – Método de Faust (CETESB, 1989). A contagem dos organismos também foi feita com auxílio da câmara de Sedgwick-Rafter e observação em microscópio óptico comum (10 e 40X).

4.10.3. Técnica de coloração para *Cryptosporidium*

Para a detecção dos oocistos de *Cryptosporidium* spp foi usada a técnica de coloração por Safranina – Azul de Metileno (BAXBY et al., 1984), descrita a seguir:

1. Fazer o esfregaço de material e secar ao ar;
2. Fixar passando a lâmina rapidamente sobre a chama do bico de Bunsen;
3. Fixar em ácido clorídrico a 3% em 100% de metanol (3-5');
4. Lavar em água corrente de baixa pressão;
5. Cobrir o esfregaço com safranina aquosa a 1% (60") e aquecer até ebulição. Acrescentar corante e continuar aquecendo se for preciso;
6. Lavar com água de baixa pressão;
7. Cobrir o esfregaço com Azul de Metileno a 1% (30");
8. Lavar com água de baixa pressão. Secar;
9. Colocar óleo de imersão e montar entre lâmina e lamínula. Fixar com Bálsamo do Canadá ou esmalte;
10. Deixar secar e observar.

Os oocistos de *Cryptosporidium* spp coram-se de cor alaranjada e destacam-se dos outros organismos presentes na lâmina, que irão corar-se de azul ou roxo, e desta forma é possível identificá-los.

4.11 Desinfecção do lodo

4.11.1 Calagem

Esta etapa do projeto foi montada para testar a eficiência da calagem na eliminação dos patógenos, e os primeiros testes foram feitos com calagem a 20, 30 e 50%. O experimento foi montado em garrafas PET para se obter um maior controle do experimento e facilidade do monitoramento dos patógenos.

Para o início da montagem, as garrafas foram lavadas e cortadas na parte superior, e também furadas no fundo para permitir saída de água. As garrafas foram então preenchidas com o mesmo solo usado nos protótipos em Limeira e a aplicação de lodo foi feita nas mesmas doses usadas nas cubas, ou seja, 2,5; 5,0 e 7,5 TDS/ha.

O peso de cal hidratada utilizado foi calculado em função do teor de sólidos presentes no lodo. Para o cálculo final será usada a seguinte expressão:

$$P_{cal} = \frac{100 - u\%}{100} \times V \times D \quad \text{onde,}$$

P_{cal} - peso da cal a ser utilizada (g);

$u\%$ - teor de umidade do lodo bruto (%);

V - volume do lodo a ser utilizado (de acordo com a taxa de aplicação) ml

D - dosagem de cal (adimensional).

O tempo de observação foi de 40 dias, sendo que as amostras da mistura solo/lodo foram a cada 5 dias para monitorar o comportamento dos patógenos. Foram realizados no total 4 ensaios de calagem.

4.11.2 Desinfecção solar

Nesta etapa foi testada a influência da luz solar e do sombreamento na desinfecção natural do lodo por meio da radiação ultravioleta. O experimento foi montado em recipientes plásticos (20L), que foram preenchidos com o mesmo solo usado nos protótipos e a dose de lodo aplicada foi a de 7,5 TSS/ha.

Para simular o sombreamento foram usadas telas – “sombrite” de três intensidades luminosas diferentes: 40, 60 e 80 % de sombreamento (Figura 4.8), além do grupo controle, no qual também foi feita aplicação de lodo e ficou diretamente exposto a luz solar. O experimento foi montado em triplicata e foram monitorados os protozoários e helmintos, coliformes totais e *E.coli*.



Figura 4.8 – Experimento de desinfecção solar.

As análises foram feitas no lodo de esgoto antes da aplicação e o acompanhamento da presença dos patógeno e dos coliformes totais e fecais foram feitas em intervalos de tempo variados, para determinar o decaimento destes organismos. No total foram realizados 4 ensaios nesta etapa do experimento. Para os coliformes foi usado Para a determinação da *E. coli* foi utilizado o substrato cromogênico (ONPG/MUG) denominado Colilert P/A - Quanti Tray 2000, comercializado pela IDEXX e para helmintos e protozoários o método de Yanko modificado.

Também foi feito um acompanhamento da variação da intensidade da temperatura em relação aos diferentes graus de sombreamento analisado no projeto. Os termômetros foram deixados na superfície do solo e a temperatura era acompanhada ao longo do período de exposição á luz solar.

4.12 –Testes de comparação de metodologia

Na fase final do projeto foram realizados testes comparando 4 metodologias diferentes para verificar se os índices de recuperação dos patógenos poderiam ser melhorados e ser utilizados em pesquisas futuras, para que pudesse ser aumentado o índice de recuperação dos cistos de protozoários e ovos de helmintos.

Foram escolhidos 4 métodos que estão descritos a seguir:

Método de Hoffman, (Pons & Janer) - sedimentação espontânea – a amostra apenas foi centrifugada para promover a decantação do sedimento, que a seguir era coleta, colocado em câmara de contagem, corado com lugol e era feita leitura em microscópio óptico comum.

Método de Faust e col. – a amostra era centrifugada (15 minutos/2500 rpm), o sobrenadante era dispensado e o sedimento resuspenso em solução de sulfato de zinco 33% (densidade 1,18). A análise era feita com a coleta da película sobrenadante que então era coleta na câmara de contagem, corado com lugol e observada em microscópio.

Método de Willis modificado– inicialmente era feita a centrifugação da amostra e o sobrenadante descartado (15 minutos/2500 rpm). A seguir o material decantado era suspenso em solução de cloreto de sódio saturada, novamente centrifugado e a análise era feita com a película sobrenadante em câmara de contagem.

Método de Yanko – já descrito no item 4.10.1.

5.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no trabalho serão apresentados subdivididos de acordo com as análises realizadas e estão em conjunto com a respectiva discussão.

5.1 Caracterização do lodo e solo

Os resultados da caracterização do solo e lodo de esgoto estão apresentados na Tabela 5.1 e 5.2, respectivamente.

Tabela 5.1 - Caracterização do solo utilizado no experimento

Parâmetros	Solo Agrícola	Solo de Preenchimento
pH CaCl ₂	4,6	4,1
M.O. gdm ³	17	5
P resina mg dm ³	5	1
K mmol _c dm ³	0,6	0,3
Ca mmol _c dm ³	5	6
Mg mmol _c dm ³	2	3
H+Al mmol _c dm ³	42	22
Al mmol _c dm ³	9	2
Soma bases S.B.	8	9
CTC	50	31
Sat. bases V%	15	30
Sat. AL m%	54	18

Tabela 5.2 - Caracterização do lodo - Parâmetros analisados no lodo bruto antes das aplicações no solo (valores médios)

PARÂMETROS	RESULTADOS
pH	6,0 - 6,5
Sólidos Totais (mg/L)	4122
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	80,796
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	30,695
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	50,101
Nitrogênio Nitrito (mg/L)	12,580
Nitrogênio Nitrato (mg/L)	123,710
Fósforo Total (mg/L)	1,075
Coliformes Totais (NMP de CT/100 mL)	$1,9 \times 10^6$
Coliformes Fecais (NMP de CF/100 mL)	$8,0 \times 10^5$
Ovos de Helmintos (ovos/L)	130

5.2 Helmintos e protozoários presentes no lodo

Antes de cada aplicação, o lodo era analisado quanto á presença de patógenos – cistos e oocistos de protozoários e ovos de helmintos. Estas análises foram importantes para determinar o número inicial de patógenos no lodo, além conhecer quais os patógenos que estavam presentes em maior quantidade no lodo estudado.

Na tabela 5.3 estão apresentados os resultados para o número de ovos e cistos das análises feitas para as 20 aplicações de lodo, realizadas durante a parte experimental.

Tabela 5.3. Número de cistos, ovos e larvas no lodo bruto nas 20 aplicações.

Data da Aplicação	Cistos/L	Ovos/L	Larvas/L	Total/L
1ª Aplicação – Março/2000	37	78	-	115
2ª Aplicação – Maio/2000	32	63	80	175
3ª Aplicação – Junho/2000	15	105	-	120
4ª Aplicação – Julho/2000	67	253	-	320
5ª Aplicação – Outubro/2000	27	111	-	138
6ª Aplicação – Dezembro/2000	15	115	100	230
7ª Aplicação – Janeiro/2001	28	68	160	256
8ª Aplicação – Março/2001	19	102	-	121
9ª Aplicação – Abril/2001	65	250	-	315
10ª Aplicação – Junho/2001	19	67	100	186
11ª Aplicação – Agosto/2001	38	87	120	245
12ª Aplicação – Outubro/2001	25	161	-	186
13ª Aplicação – Dezembro/2001	18	56	36	110
14ª Aplicação – Janeiro/2002	19	68	-	87
15ª Aplicação – Abril/2002	45	76	-	121
16ª Aplicação – Junho/2002	23	55	-	78
17ª Aplicação – Julho/2002	26	55	-	81
18ª Aplicação – Setembro/2002	19	101	-	120
19ª Aplicação – Novembro/2002	15	80	70	165
20ª Aplicação – Abril/2003	31	36	-	67
Média	29,15±15,09	98,35±59,55	33,3±51,51	160,8±76,42

Como pode ser observado, há uma grande variação no número de patógenos encontrados ao longo das análises realizadas no lodo. A incidência de patógenos está relacionada com a questão de saúde da população, o modo em que a coleta era feita e variações sazonais que normalmente ocorrem.

O número de ovos de helmintos e cistos de protozoários encontrados no lodo foi algumas vezes bastante alto, chegando a valores como 320 ovos e cistos/L, e por outras vezes havia uma queda na quantidade de ovos, como na última coleta em que foram encontrados 67 ovos e cistos/L. O valor médio encontrado foi na em torno de 127 ovos e cistos/L, não sendo computadas as larvas, que em alguns meses foram detectadas em grande quantidade no lodo.

Um ponto que deve ser considerado nesta variação do número de cistos, ovos e larvas por coleta, é a inconstância do funcionamento da ETE e das características do lodo que era coletado. Embora a coleta fosse feita sempre no mesmo local, ou seja, no ponto de retorno do lodo para o valo de oxidação, nem sempre o lodo apresentava as mesmas

características, sendo que algumas vezes apresentava-se líquido e em outras em uma forma mais pastosa. Além disto, a ETE apresentou algumas vezes problemas em seu funcionamento o que poderia ter afetado as características do lodo, e algumas coletas foram feitas após o descarte de lodo pela estação.

O lodo analisado nesta pesquisa era lodo estabilizado, não sofrendo nenhum processo de redução de patógenos e por este motivo apresentou, algumas vezes um alto índice de patógenos. De acordo com bibliografia consultada os lodos gerados no Brasil apresentam altos índices de organismos patogênicos, sendo que no Nordeste este número pode chegar a 670 ovos/L. Este alto índice retrata a situação da saúde no Brasil, com a população sendo bastante atingida por parasitoses.

A legislação (CETESB, SANEPAR, EPA) divide o lodo de esgoto em 2 classes, que estão relacionadas com a quantidade de patógenos presente: Classe A e B. O lodo para ser considerado Classe A deve conter menos que 1 ovo por 4 gramas de sólidos totais e a WHO determina menos que 1 ovo/L para que o reuso de águas residuárias possa ser feito na agricultura. De acordo com os resultados encontrados para o lodo analisado, pode-se concluir que este apresenta-se com um número elevado de patógenos/L, sendo classificado como lodo Classe B, que não apresenta número limite para helmintos e protozoários.

Para que este lodo possa ser usado de maneira segura, é preciso que anteriormente ele passe por um processo de redução de patógenos, que pode ser calagem, secagem térmica, compostagem, entre outros, de maneira que atinja os valores determinados pela legislação. Da maneira que foi utilizado o lodo nesta pesquisa, sem nenhum tratamento prévio não seria recomendada sua utilização.

Os cistos dos protozoários e ovos de helmintos que foram mais encontrados nas amostras de lodo analisadas estão apresentados na Figura 5.1.

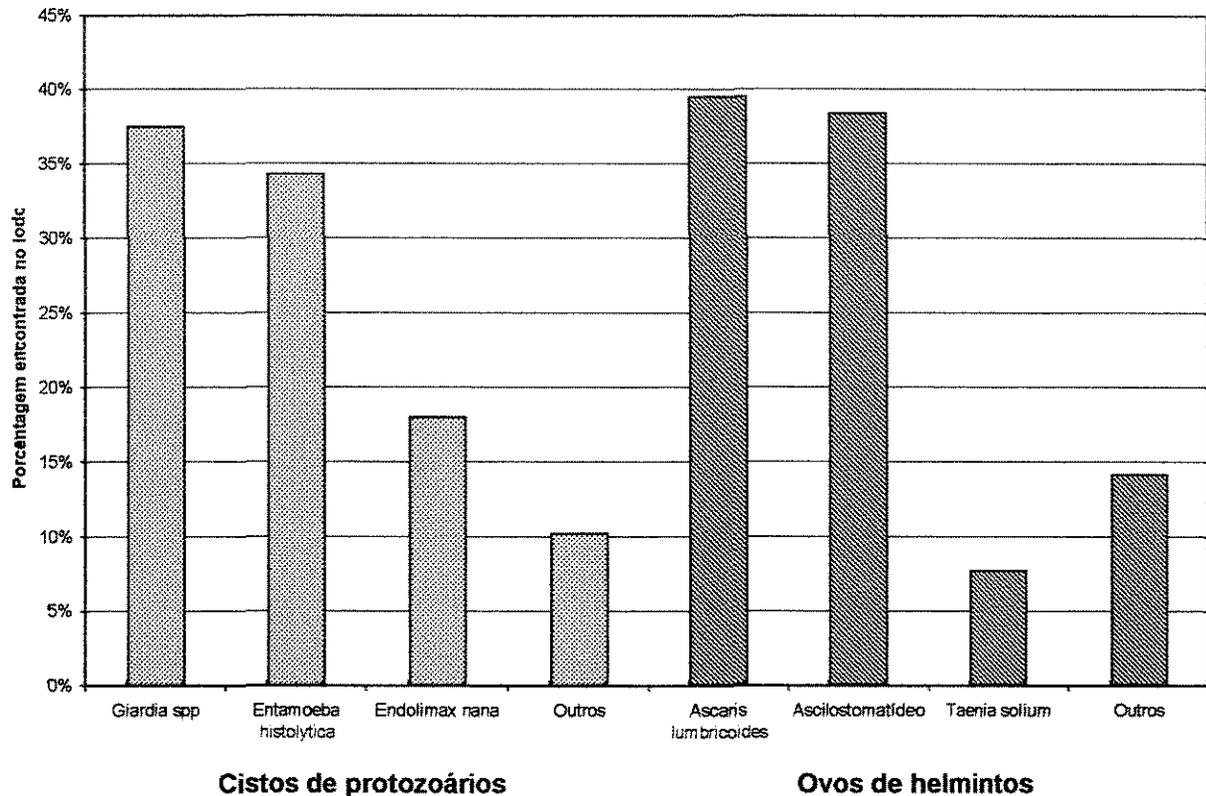


Figura 5.1 – Principais patógenos encontrados no lodo da ETE Riacho Grande SBC-SP (média de 20 aplicações).

5.3 Análise do solo que recebeu lodo de esgoto

No total foram feitas 20 aplicações de lodo no solo, por um período de 37 meses e com intervalos de aproximadamente 42 dias entre cada aplicação.

As coletas eram feitas sempre 1 semana e 15 dias após aplicação do lodo no solo. Em alguns meses não foi possível realizar duas coletas de solo devido às chuvas que dificultavam este trabalho, sendo que neste caso eram feitas análises do líquido percolado. Antes de iniciar a aplicação de lodo foram realizadas coletas para verificar a

presença ou não de patógenos no solo, e estes não foram detectados em nenhuma amostra. Os resultados obtidos são referentes a média das amostras coletas em triplicata em cada protótipo e estão apresentados a cada aplicação de lodo.

Embora as análises tenham sido realizadas em 4 profundidades diferentes – 0-20cm; 20-40cm; 40-60cm e 60-100cm, os patógenos somente foram detectados na primeira camada –0-20cm, pois estes acumulam-se nas camadas mais superficiais. Portanto nas Figuras apresentadas com os resultados, apenas estão retratados os resultados obtidos para esta camada superficial de solo.

Além das análises do solo dos protótipos que receberam aplicação de lodo, também foram realizadas coletas do solo dos protótipos que não receberam as aplicações – Grupo 0 e 0C, todas as vezes em que as coletas eram feitas. Em nenhuma delas foi detectada a presença de patógenos – protozoários e helmintos, e por este motivo optou-se por não incluir estes grupos nos gráficos que serão apresentados a seguir.

1ª Aplicação. Março/2000

Na Figura 5.2 estão apresentados os resultados encontrados na primeira semana e 15 dias após aplicação de lodo.

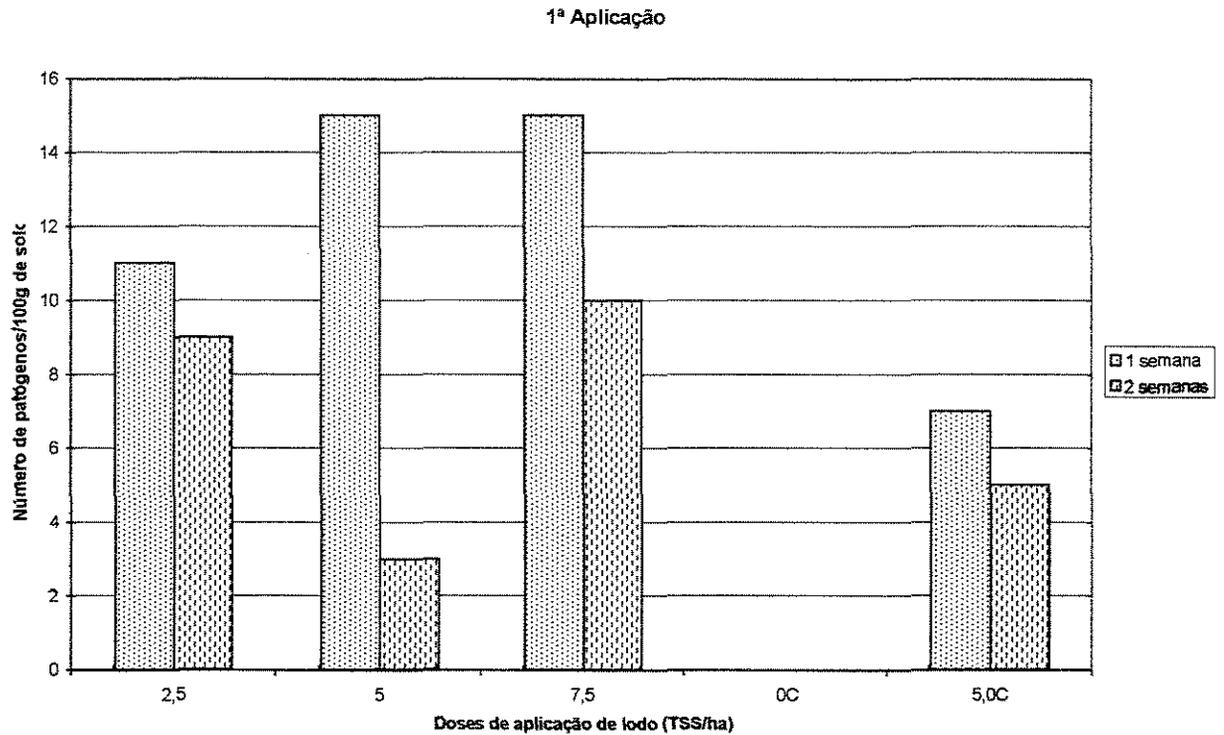


Figura 5.2 – Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 1ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

Na primeira aplicação é possível observar que nas doses 5,0 e 7,5 TSS/ha foram encontrados o mesmo número de patógenos 1 semana após aplicação de lodo, e a dose 5,0TSS/ha corrigida (pH 7,0) apresentou o menor número. Na coleta realizada após 15 dias da aplicação do lodo, houve maior redução dos patógenos na dose 5 TSS/ha que nas outras, sendo até mesmo menor que na dose corrigida, onde esperava-se que houvesse uma redução maior, devido a calagem que é um método usado para desinfecção do lodo. Nos grupos controle 0 e 0C não foram detectados nenhum patógeno.

2ª Aplicação – Maio/2000

Os resultados para esta aplicação estão na Figura 5.3.

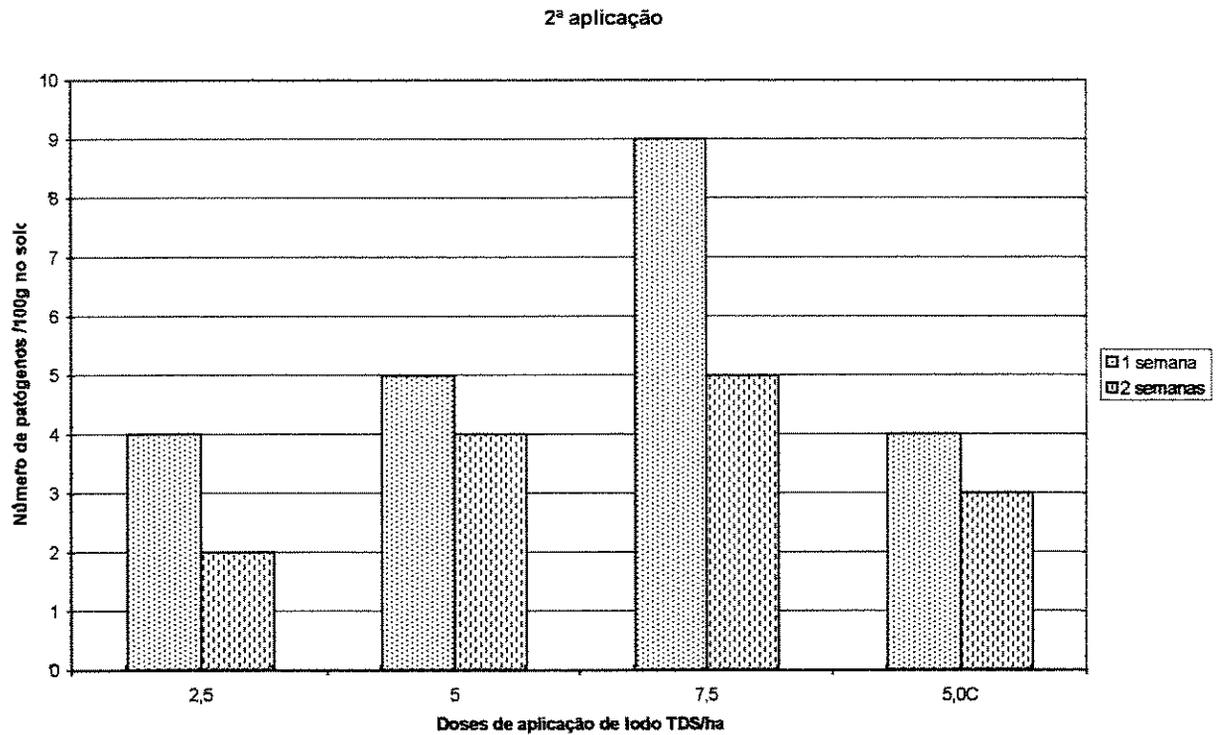


Figura 5.3 – Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 2ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

Pode-se observar a tendência de concentração de patógenos nas doses maiores de aplicação, com maior concentração de patógenos na dose 7,5 TSS/ha e menor na dose 5,0 TSS/ha com pH corrigido.

3ª Aplicação – Junho/2000

Nesta aplicação pode-se notar uma diminuição da incidência de patógenos nas doses de 2,5; 5,0 e 7,5 TSS/ha, porém na dose 5 TSS/ha corrigida, que nas duas aplicações anteriores havia apresentado uma menor incidência de patógenos, teve um

aumento. Isto pode ser explicado pelo fato de destes organismos estarem presentes desde as aplicações anteriores no solo e só foram detectados nesta análise. A Figura 5.4 apresenta os resultados obtidos nestas análises.

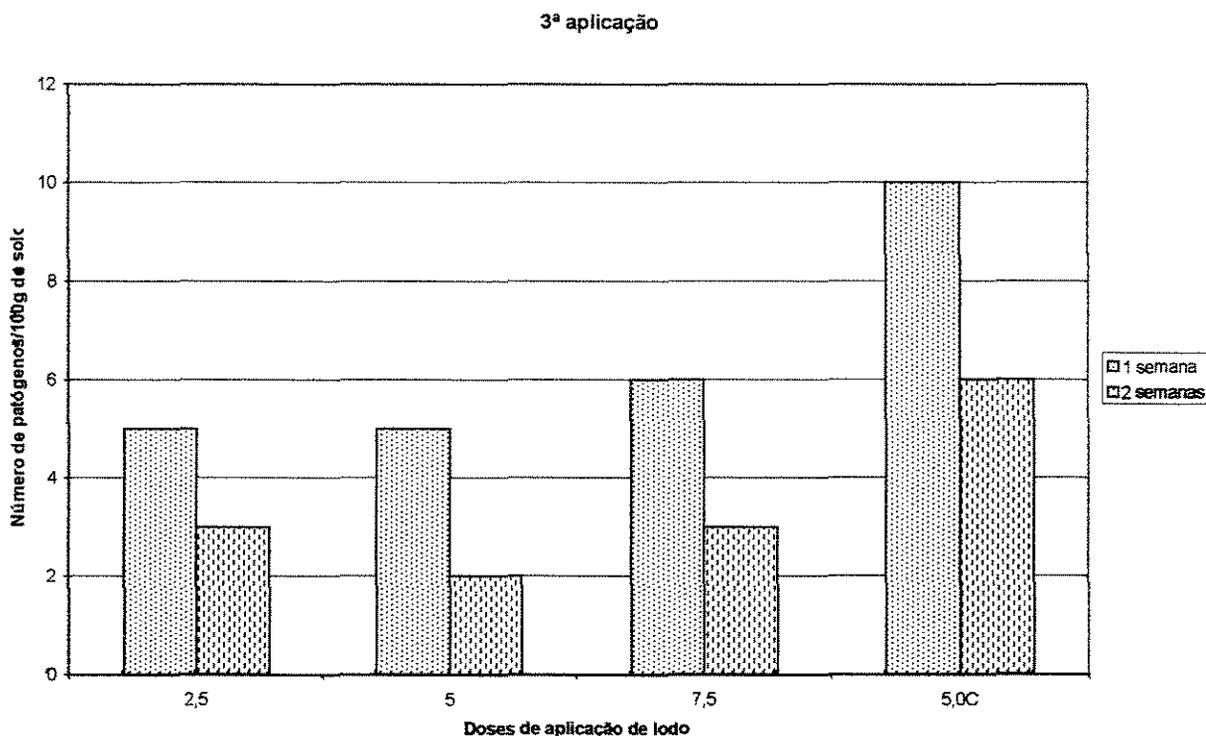


Figura 5.4 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 3ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

4ª Aplicação – Julho/2000

Analisando os dados obtidos nesta aplicação é possível notar um aumento do número de patógenos encontrados em todas as doses de aplicação. Uma possível explicação para este fato é o acúmulo dos patógenos no solo, decorrente das 3 primeiras aplicações de lodo. A tendência é que ocorra um aumento destes organismos, pois a cada reaplicação de lodo aumenta o número destes no solo. Além disto, o lodo usado nesta aplicação apresentava o dobro da concentração de patógenos em relação as outras 3 aplicações. Estes resultados estão na Figura 5.5.

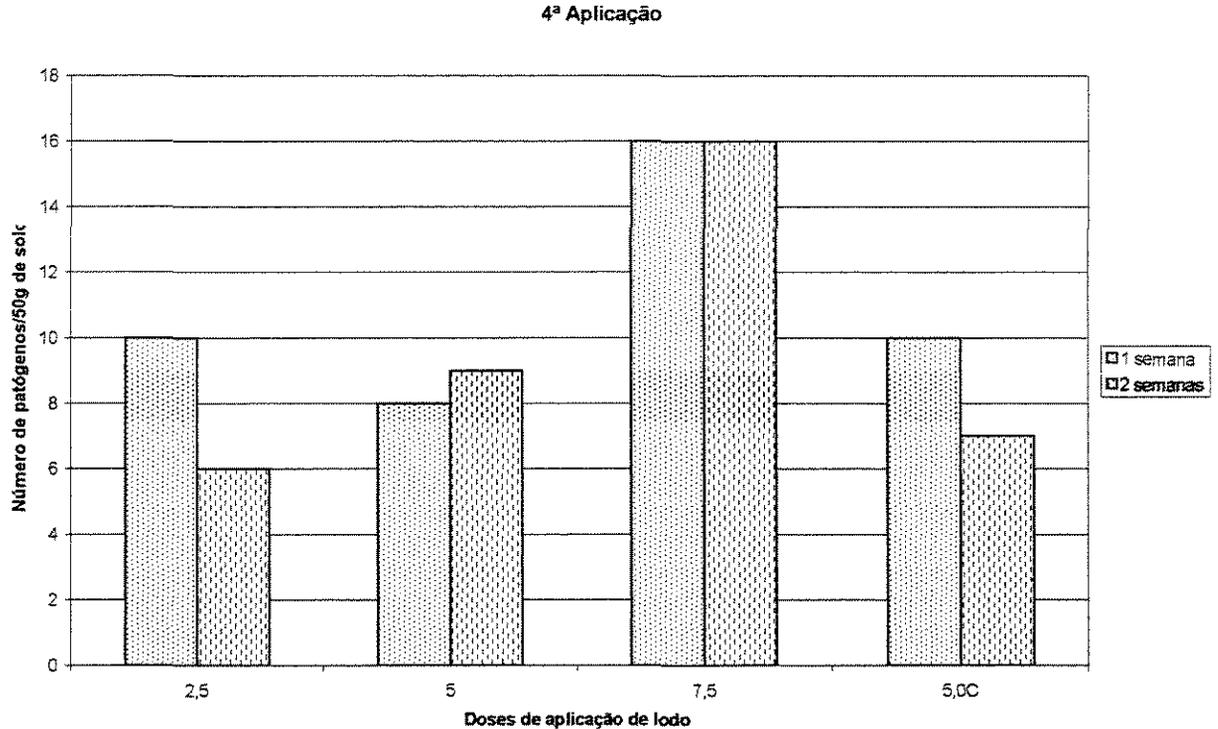


Figura 5.5- Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 4ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

Na dose 5 TSS/ha houve um aumento no número de patógenos detectados 15 dias após a aplicação do lodo em relação a análise realizada 1 semana após a aplicação e no caso na dose 7,5 TSS/ha, foi encontrada a mesma quantidade nas duas amostragens. Este aumento pode ser dado em função do acúmulo de patógenos das aplicações de lodo anteriores.

5ª Aplicação – Outubro/2000

Nesta aplicação só foi possível analisar o solo na semana seguinte a aplicação, sendo que a análise 15 dias após aplicação não foi realizada devido as chuvas, que dificultou a coleta do solo. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 5.6.

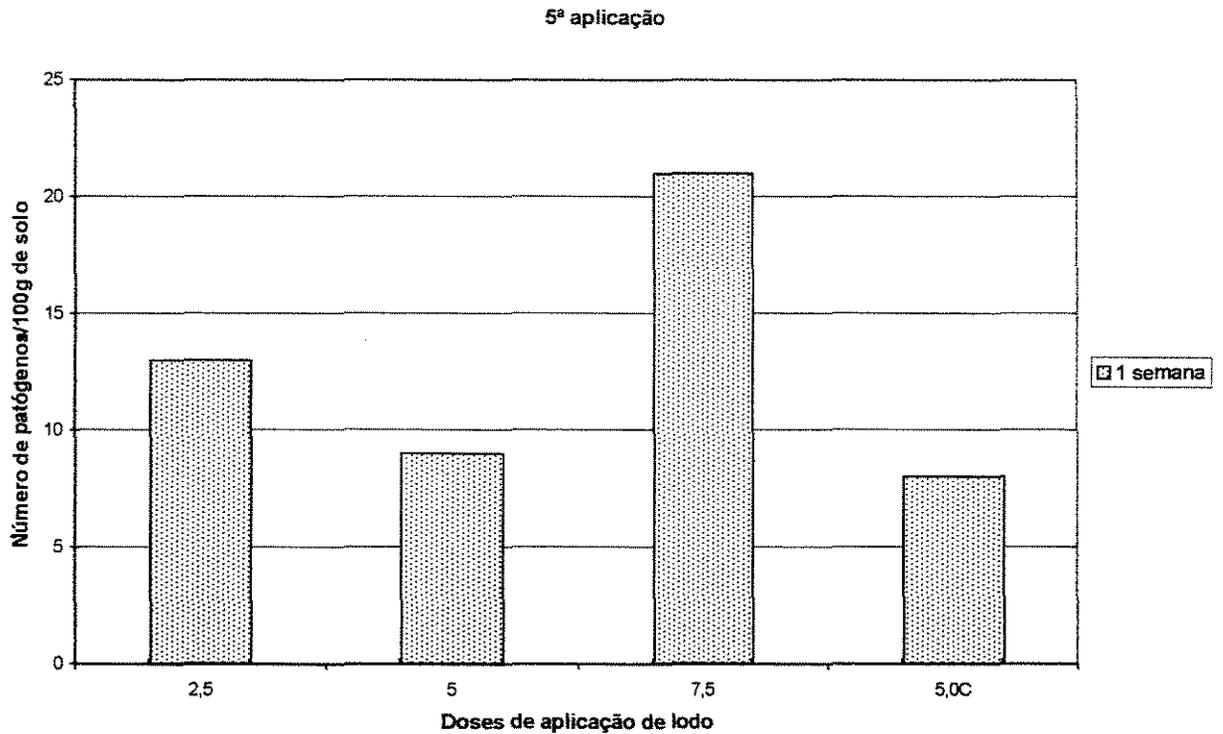


Figura 5.6 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 5ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

Nesta aplicação foi possível notar um aumento da incidência dos patógenos em todas as doses de aplicação de lodo.

6ª Aplicação – Dezembro/2000

Nesta aplicação também não foi possível realizar duas coletas de solo, devido as chuvas que dificultam a realização desta. Os resultados para esta aplicação estão apresentados na Figura 5.7.

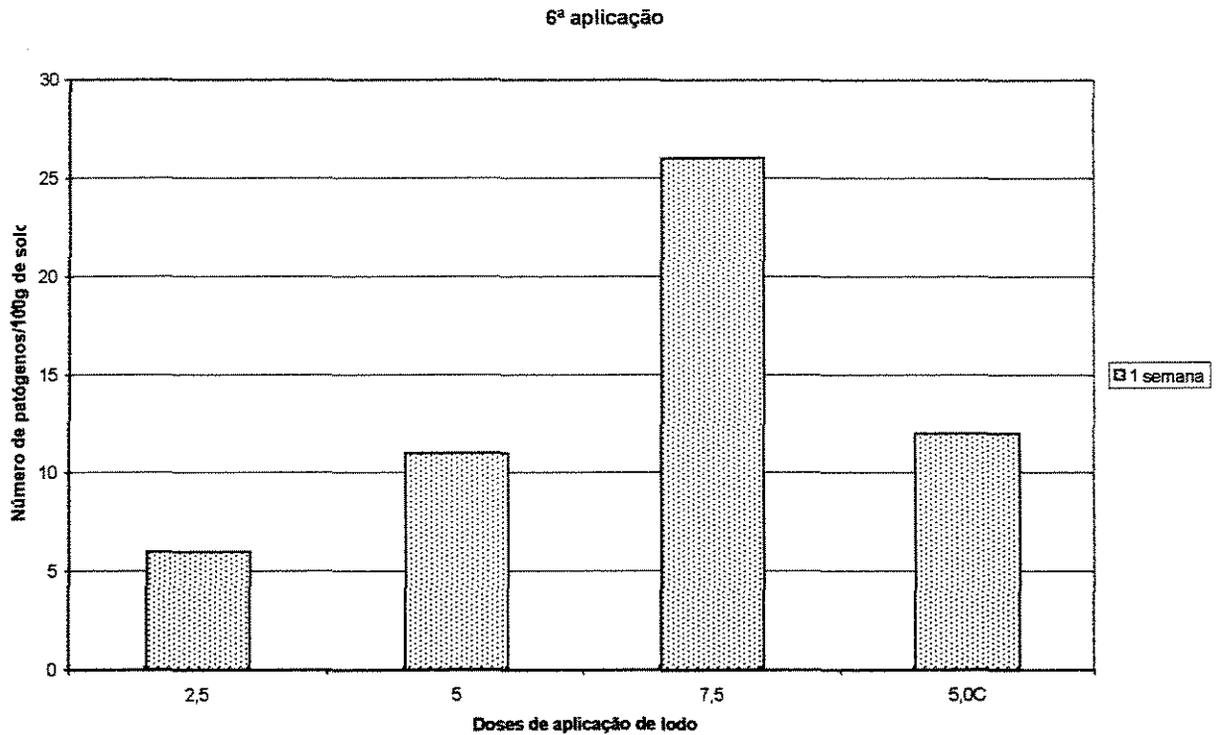


Figura 5.7 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 6ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

Na dose 2,5 TSS/ha houve uma acentuada queda no número de patógenos encontrados, em relação as análises anteriores. A dose 7,5 TSS/ha manteve uma concentração maior de patógenos.

7ª Aplicação – Janeiro/2001

Nesta aplicação foi possível fazer a coleta do solo 1 e 2 semanas após aplicação do lodo, pois as chuvas diminuíram, o que permitiu a coleta do solo. Novamente foi detectado uma incidência maior de patógenos que na análise anterior. Os resultados estão apresentados na Figura 5.8.

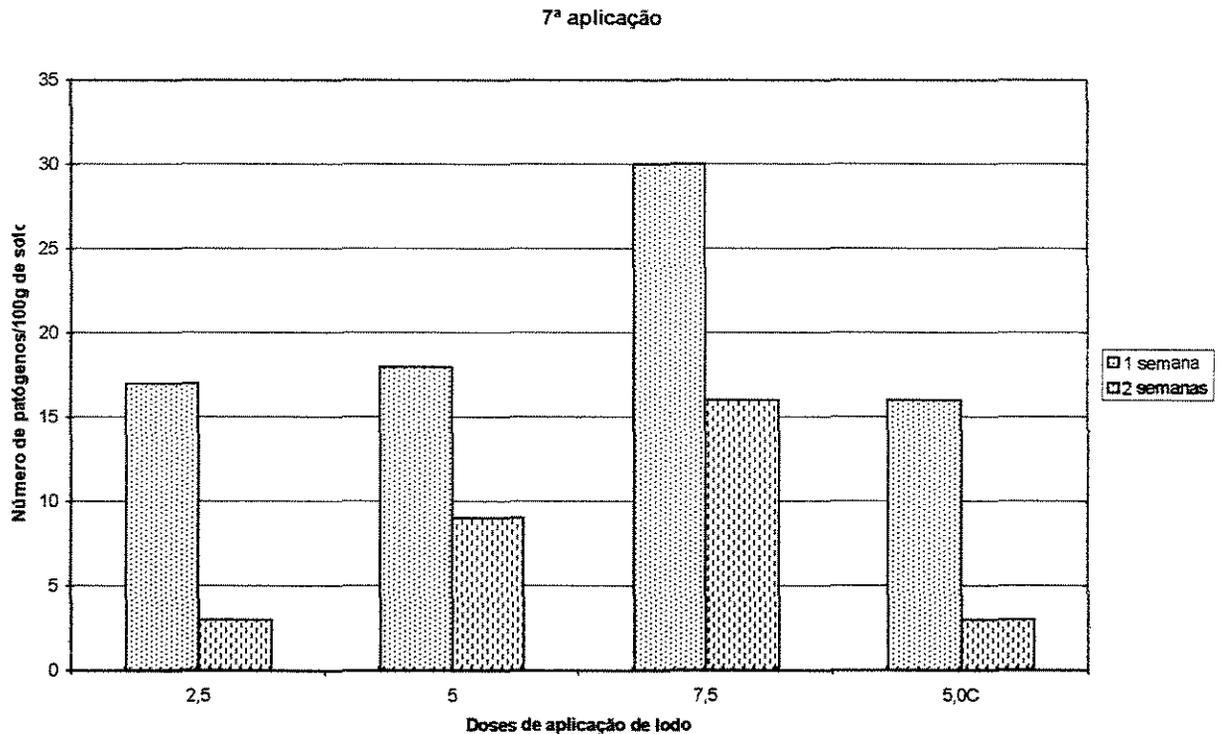


Figura 5.8 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 7ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

Entre as duas análises realizadas, pode-se observar que houve uma grande redução dos patógenos em todas as doses, mas principalmente na 2,5 e 5,0C TSS/ha

8ª Aplicação – Março/2001

Nesta aplicação só foi possível coletar o solo na semana seguinte da aplicação do lodo, novamente devido as chuvas. Os resultados desta aplicação estão apresentados na Figura 5.9.

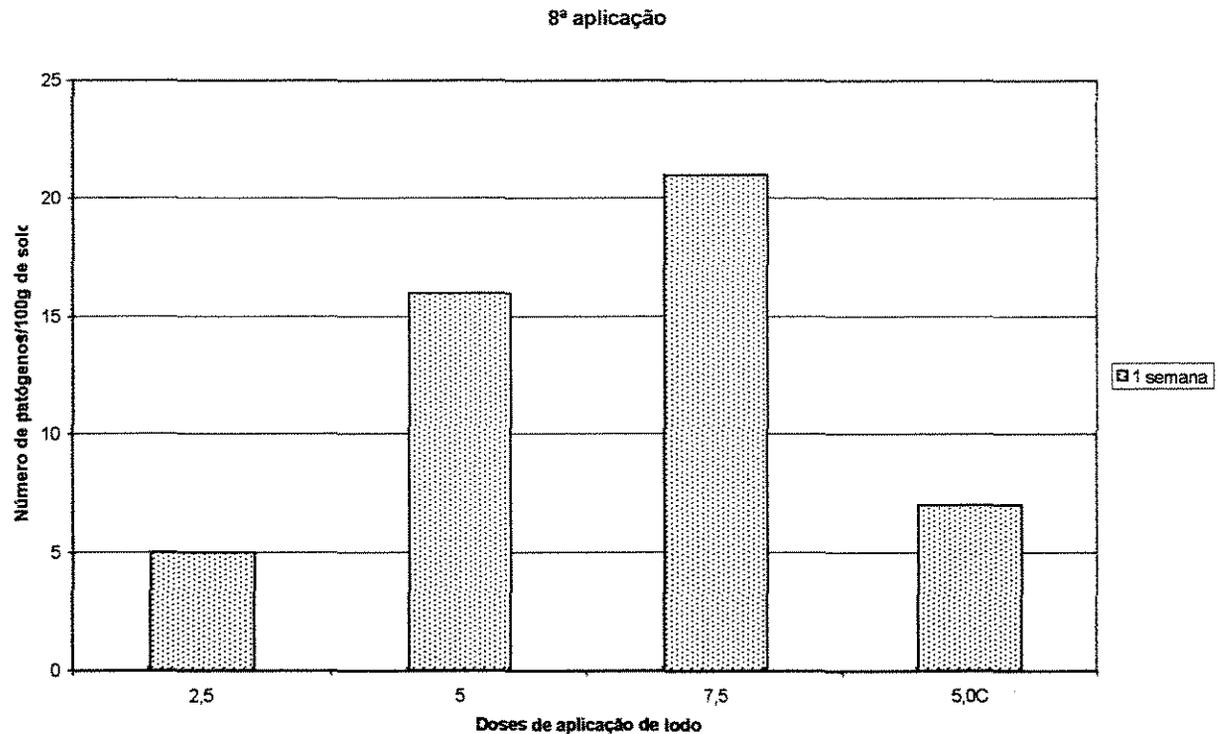


Figura 5.9 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 8ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

O lodo usado nesta aplicação não tinha uma grande concentração de patógenos e pode-se observar que nas doses 5,0 e 7,5 TSS/ha, houve uma maior detecção destes organismos.

9ª Aplicação – Abril/2001

Os resultados obtidos para esta aplicação de lodo estão apresentados na Figura 5.10.

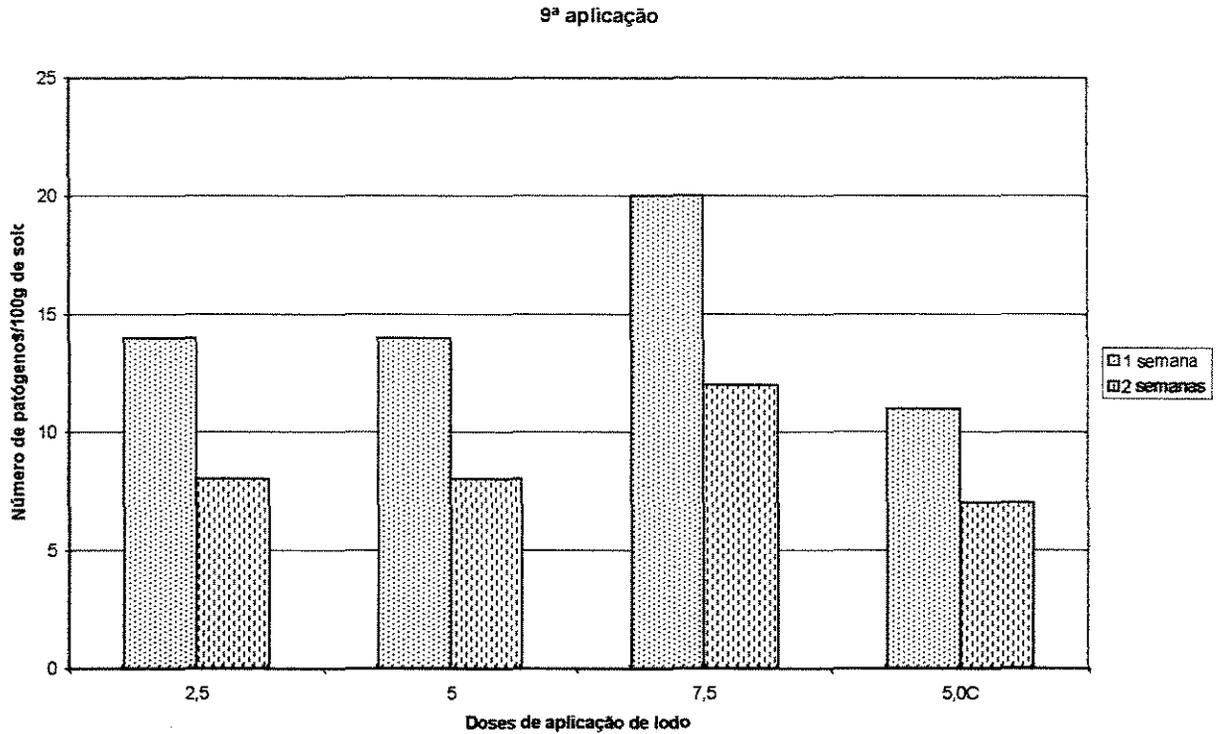


Figura 5.10 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 9ª aplicação de lodo (média de repetições)

Nesta aplicação, foi encontrado no lodo 315 ovos e cistos/L e apesar disto pode-se observar que o número destes patógenos detectados foi praticamente o mesmo da aplicação anterior. Nas análises da coleta 15 dias após aplicação não foi observada uma grande redução destes organismos em relação a semana anterior.

10ª Aplicação – Junho/2001

As análises realizadas nesta aplicação apresentaram maior concentração de patógenos 15 dias após aplicação do lodo, do que na semana seguinte a esta aplicação e isto pode ser notado em todas as doses de aplicação. Os resultados são apresentados na Figura 5.11.

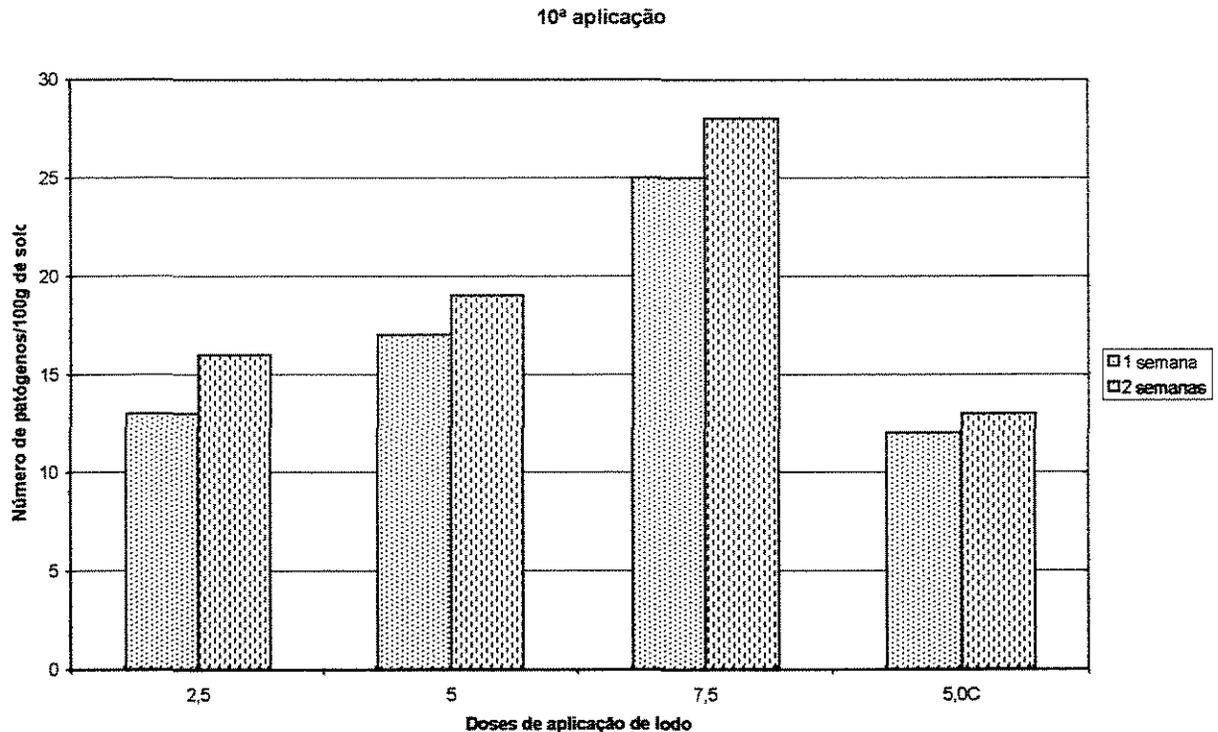


Figura 5.11 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 10ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

Também é possível notar que o número de patógenos encontrados foi maior em relação a aplicação anterior, apesar do lodo usado apresentar menor concentração destes. Este fato reforça que os patógenos ficam acumulados no solo e podem sobreviver neste ambiente.

11ª Aplicação – Agosto/2001

Com bases nos resultados obtidos nesta aplicação é possível detectar uma diminuição da incidência de patógenos em relação a aplicação anterior e devido as chuvas, novamente só foi possível realizar uma coleta de solo. Os resultados estão na Figura 5.12.

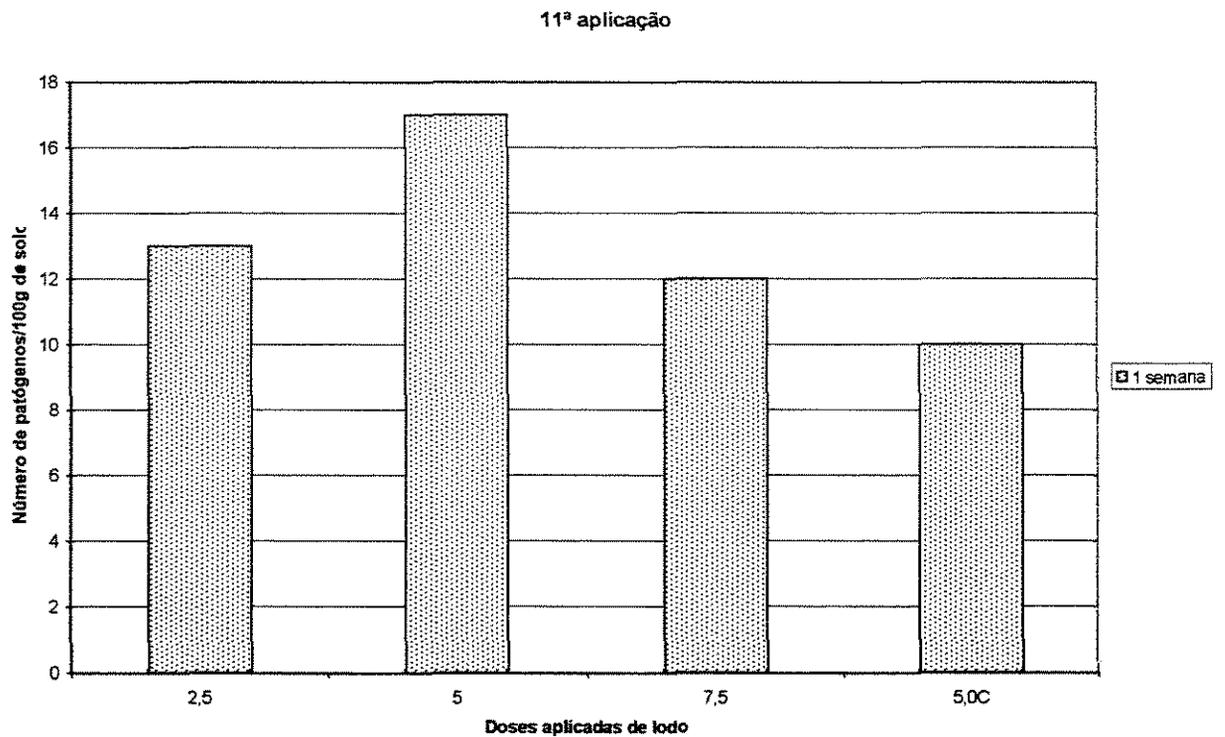


Figura 5.12 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 11ª aplicação de lodo (média de 3 repetições)

A dose 5,0 TSS/ha foi a que apresentou maior incidência de patógenos nesta aplicação, sendo até mesmo maior que a detectada na anterior.

12ª Aplicação – Outubro/2001

A partir desta data, somente houve aplicação de lodo em duas séries de protótipo, sendo que uma foi deixado de aplicar lodo para que pudesse ser feito um acompanhamento do solo, não só em relação aos patógenos mas também quanto aos outros parâmetros monitorados no projeto. Os resultados obtidos são decorrentes das médias destas duas séries de aplicação de lodo, para os protótipos em que o lodo deixou de ser aplicado, os resultados serão apresentados posteriormente.

A incidência de patógenos encontrada no solo, nesta aplicação de lodo apresentou-se parecida com a anterior, com exceção da dose 2,5 TSS/ha na qual houve uma acentuada diminuição. Os resultados obtidos para esta aplicação de lodo estão apresentados na Figura 5.13.

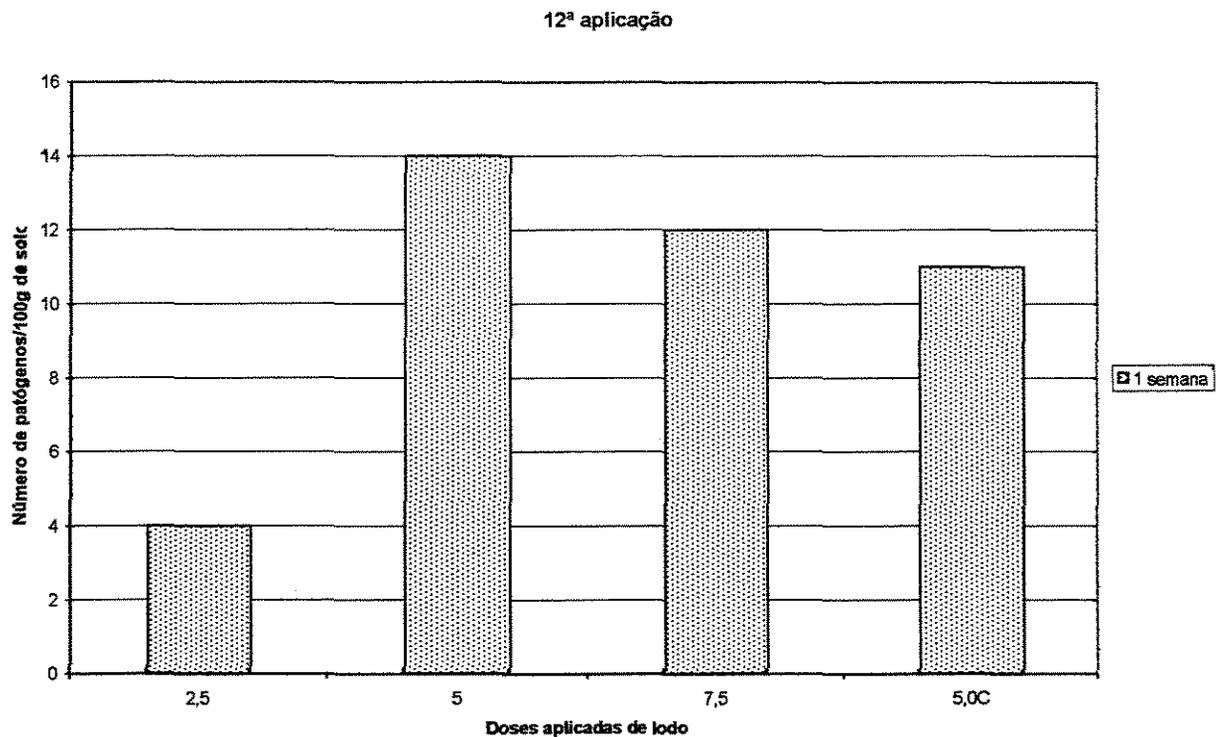


Figura 5.13 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 12ª aplicação de lodo (média de 2 repetições)

13ª Aplicação – Dezembro/2001

Nesta aplicação só foi possível coletar solo 15 dias após aplicação do lodo, pois houve uma alta incidência de chuvas logo após a aplicação. Os resultados encontrados estão apresentados na Figura 5.14

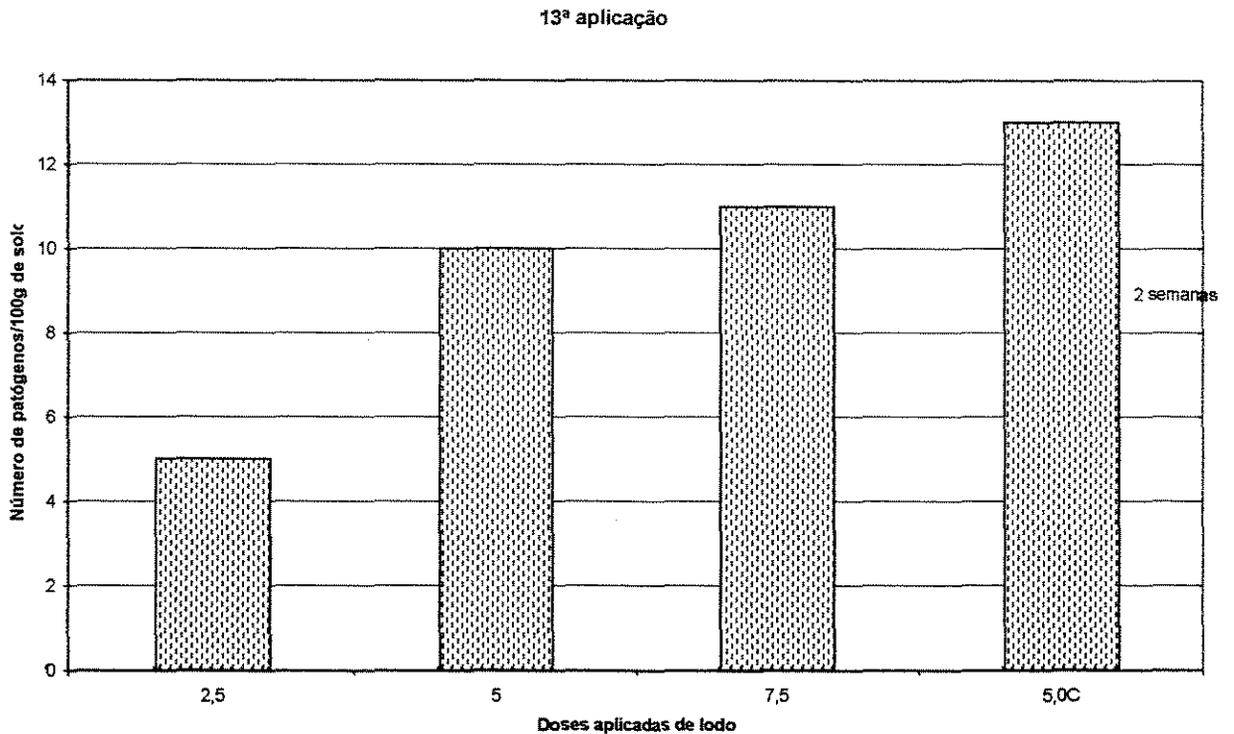


Figura 5.14 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 13ª aplicação de lodo (média de 2 repetições)

Na dose 5,0 TSS/ha houve um aumento do número de patógenos em relação as análises anteriores. Nas outras doses houve uma diminuição em relação a coleta anterior.

14ª Aplicação – Janeiro/2002

O lodo usado nesta aplicação apresentou baixa densidade de patógenos, em relação aos meses anteriores. Este fato pode explicar o fato de não ter sido encontrado uma alta concentração destes organismos nas coletas realizadas. Na dose 2,5 TSS/ha foram encontrados apenas 2 ovos 15 dias após aplicação do lodo e em todas as doses é possível observar uma queda na concentração destes organismos. Os resultados encontrados para esta aplicação estão apresentados na Figura 5.15

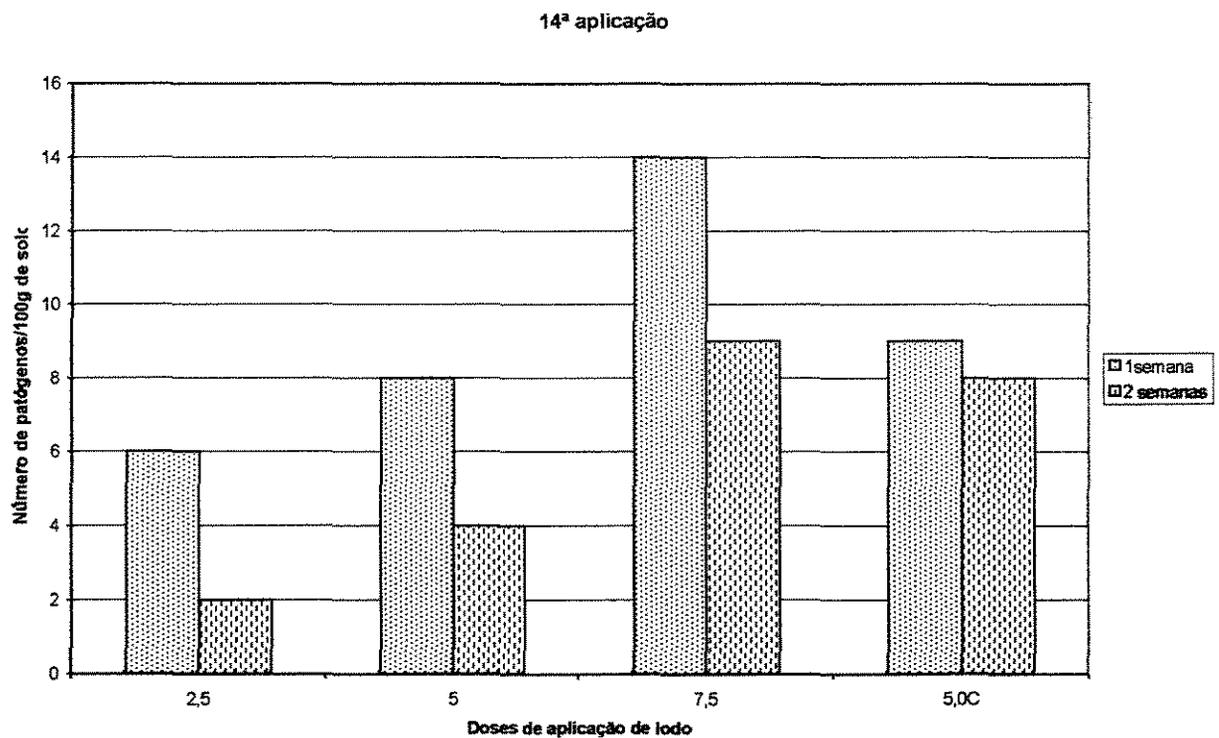


Figura 5.15 Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 14ª aplicação de lodo (média de 2 repetições)

15ª Aplicação – Abril/2002

Nesta aplicação, o lodo utilizado apresentava maior concentração de patógenos que na anterior. Os resultados para esta aplicação estão na Figura 5.16

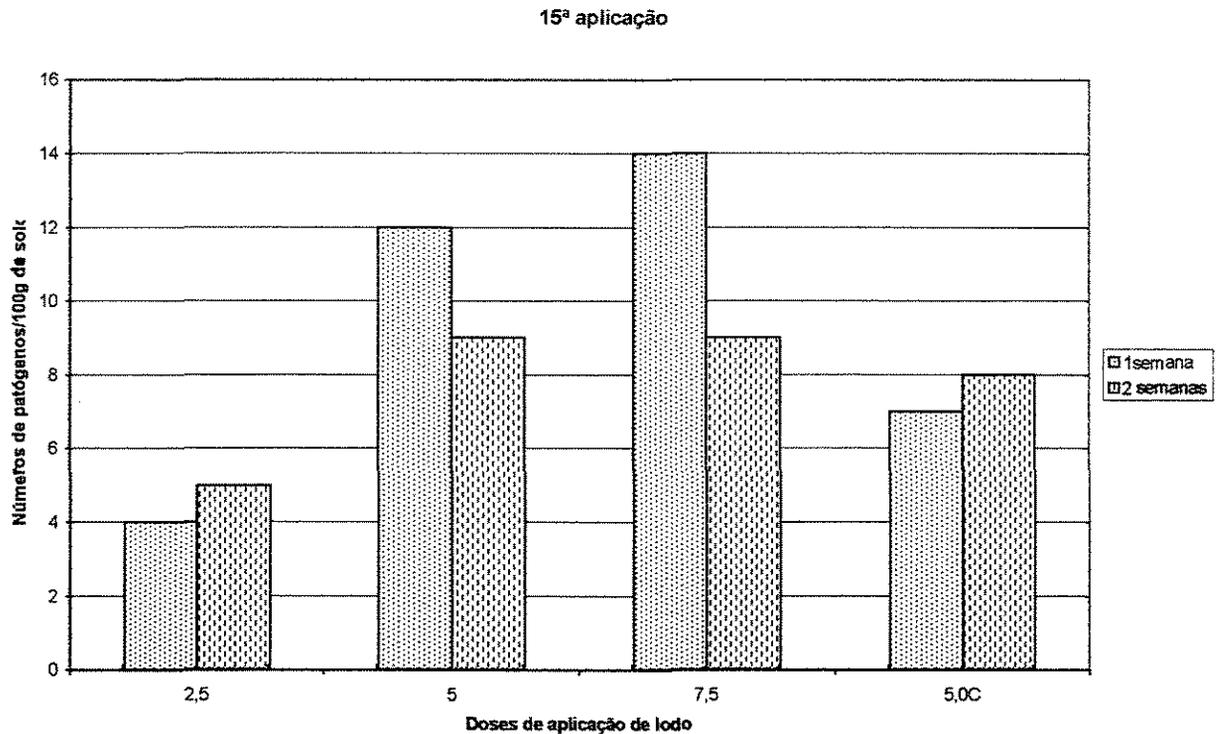


Figura 5.16 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 15ª aplicação de lodo (média de 2 repetições)

Nas doses 2,5 e 5,0C TSS/ha foram encontrados mais patógenos 15 dias após aplicação do lodo do que na semana seguinte a esta aplicação. Também foi possível notar um número maior destes organismos em relação a aplicação anterior. Nas outras doses manteve-se praticamente a mesma densidade encontrada nas análises da aplicação anterior.

16ª Aplicação – Julho/2002

O lodo usado nesta aplicação apresentou baixa concentração de patógenos– 78 ovos e cistos/L. Apesar disto pode-se observar uma incidência dos patógenos próxima a encontrada na aplicação anterior. Os resultados desta aplicação estão na Figura 5.17

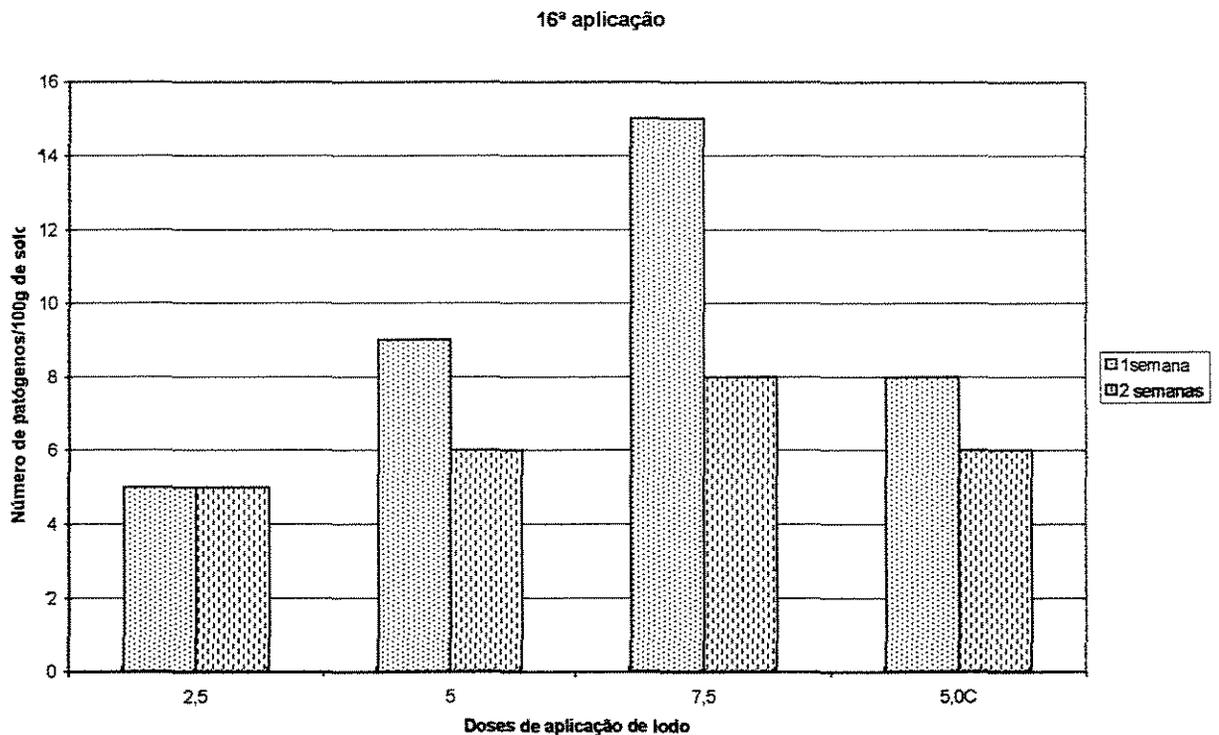


Figura 5.17 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 16ª aplicação de lodo (média de 2 repetições)

17ª Aplicação – Julho/2002

O lodo usado nesta aplicação também apresentava baixa concentração de ovos de helmintos e cistos de protozoários, assim com na aplicação anterior. A concentração destes organismos foi similar a encontrada na aplicação anterior. Na dose 5,0 TSS/ha corrigida não houve uma grande redução da concentração quando comparada as análises realizadas 1 semana e 15 dias após aplicação de lodo. Os resultados são apresentados na Figura 5.18.

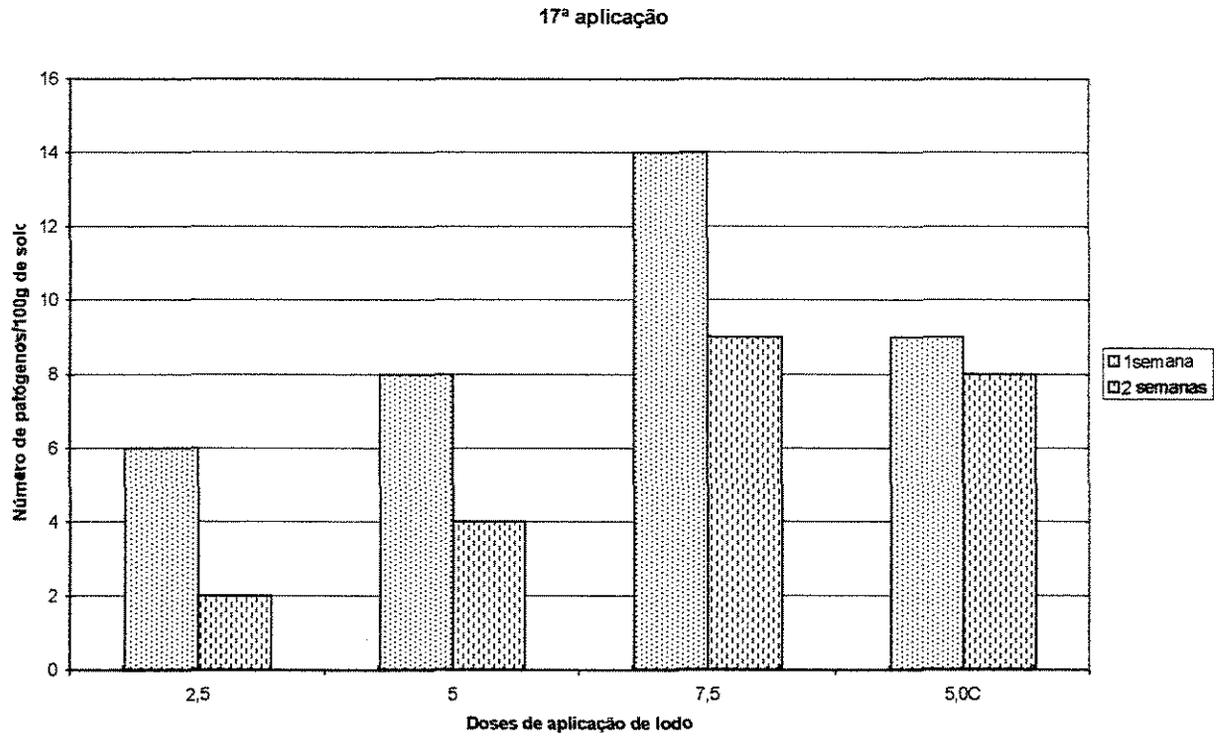


Figura 5.18 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 17ª aplicação de lodo (média de 2 repetições)

18ª Aplicação – Setembro/2002

Nesta aplicação o lodo apresentou um aumento no número de patógenos em relação às duas aplicações anteriores. Os resultados encontrados para análise do solo estão apresentados na Figura 5.19.

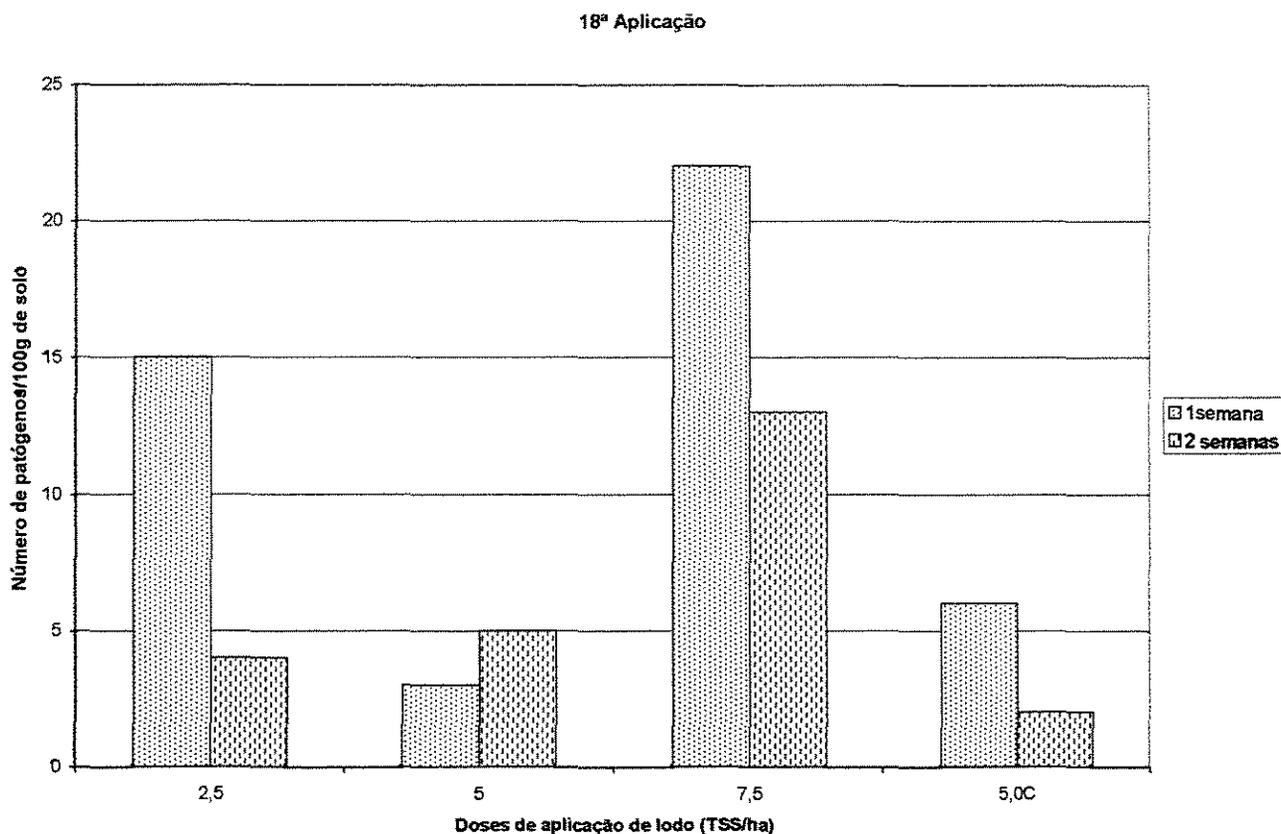


Figura 5.19 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 18ª aplicação de lodo (média de 2 repetições)

Nesta aplicação foi detectado um número maior de patógenos em relação as aplicações anteriores, pois o lodo continha uma maior concentração destes organismos. A dose 2,5 TSS/ha apresentou maior concentração destes organismos que as doses 5,0 e 5,0 TSS/ha C, e na dose 5,0 TSS/ha o número de patógenos encontrados 2 semanas após aplicação do lodo foi maior que após a 1ª semana. Estes resultados ocorrem pois há um acúmulo de patógenos decorrentes de todas as aplicações já realizadas.

19ª Aplicação – Novembro/2002

Os resultados obtidos para esta aplicação de lodo estão apresentados na Figura 5.20.

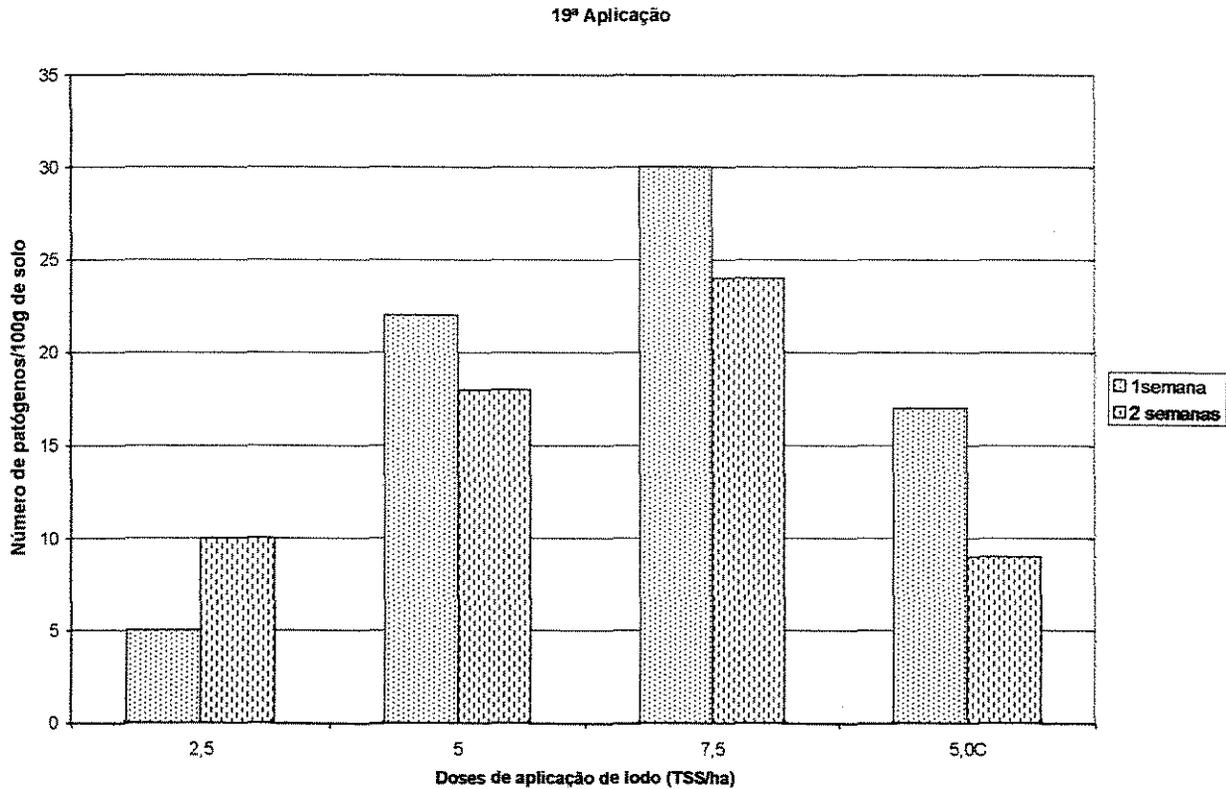


Figura 5.20 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 19ª aplicação de lodo (média de 2 repetições)

Nesta aplicação foi detectado número maior de patógenos que na anterior devido ao fato do lodo conter mais destes organismos que nas coletas anteriores.

20ª Aplicação de lodo – Abril 2003

Esta foi a última aplicação de lodo realizada no experimento, e os resultados estão apresentados na Figura 5.21.

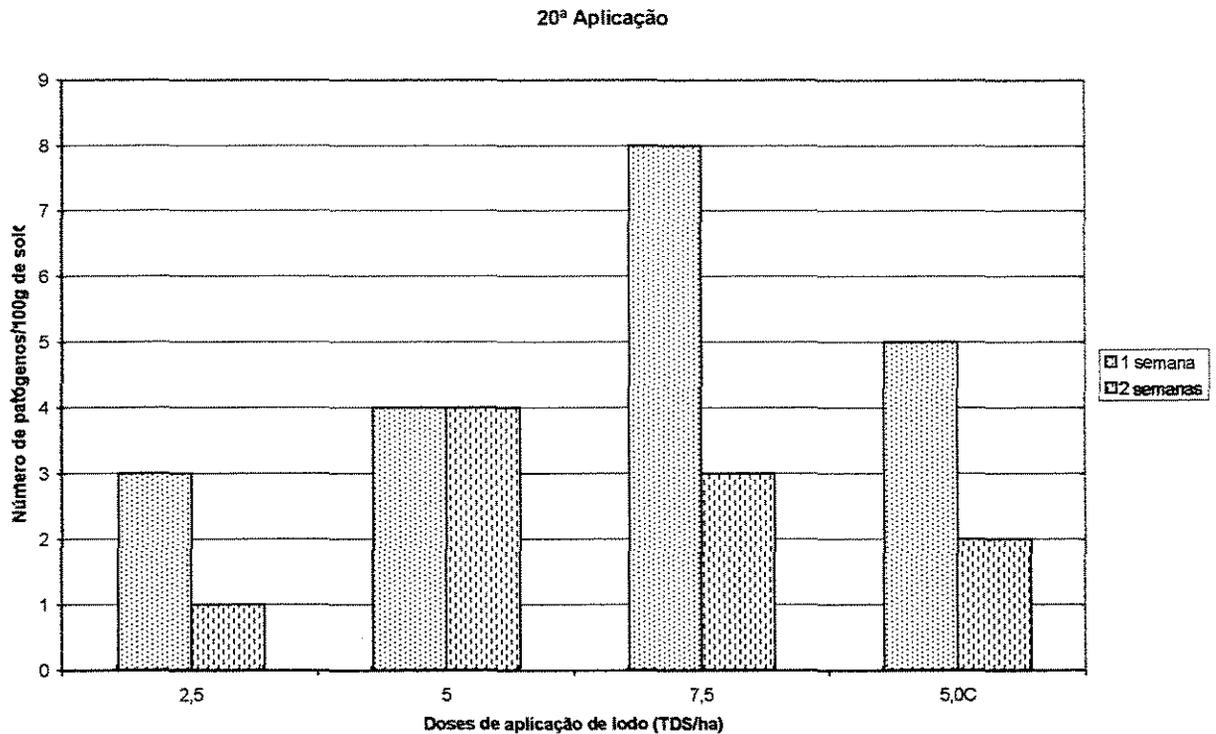


Figura 5.21 - Resultados obtidos para análise do solo para todas as doses de aplicação de lodo após 20ª aplicação de lodo (média de 2 repetições)

As análises dos resultados obtidos mostram que a presença de patógenos no lodo pode causar problemas de contaminação, principalmente no solo, restringindo sua utilização sem um tratamento prévio, pois em todas as doses analisadas foi detectada a presença dos helmintos e protozoários, sendo que algumas vezes foi encontrado um número elevado por 100 g de solo analisado.

A análise dos resultados dos ovos e cistos presentes no solo, após aplicação de lodo indica que estes patógenos concentram-se mais nas camadas superiores do solo, não sendo capazes de penetrar ao longo do perfil do solo. Estes resultados indicam que se o lodo for usado em solos no quais haverá contato humano, isto poderá provocar um sério risco de contaminação, pelo fato destes patógenos estarem mais expostos.

Nas camadas mais profundas, a partir dos 20cm de perfil do solo, não foram detectados os patógenos, o que significa a prevalência destes microrganismos na superfície do solo. Porém, se o solo, no qual for aplicado lodo de esgoto, sofrer uma ação mecânica, como aração, pode acontecer destes patógenos atingirem camadas mais profundas, o que poderia até acarretar uma contaminação dos lençóis freáticos. Pelos resultados obtidos é possível constatar que não haveria estes risco de contaminação do lençol freático.

O fato destes organismos somente serem encontrados nas camadas superiores do solo está de acordo com a literatura pesquisada, pois segundo ANDREOLLI et al (1998), a maior concentração de patógenos no solo ocorre nos primeiros 2,5 cm. Outro ponto a ser considerado, é que os helmintos e protozoários não possuem mobilidade própria no solo, como vírus e bactérias, que são capazes de deslocamentos horizontais e verticais (EPA, 1992).

O lodo utilizado na pesquisa encontrava-se na forma líquida, o que facilita sua aplicação pois esta ocorre de maneira mais uniforme, com bom espalhamento do lodo por toda a superfície. O solo acaba funcionando como um filtro para o lodo líquido, que retêm os organismos na camada 0-20cm.

As análises sempre foram realizadas na semana seguinte da aplicação de lodo e cerca de 15 dias após esta aplicação. Este procedimento foi adotado para observar se havia uma acúmulo dos patógenos de uma aplicação para outra, ou se havia uma diminuição com o passar dos dias, pois estes estariam em um ambiente hostil e sofrendo influência do meio, como umidade (que pode ser limitante), temperatura, incidência da luz solar que tem efeito bactericida e poderia afetá-los, provocando sua eliminação.

Em algumas coletas foi possível observar que 15 dias após aplicação do lodo, eram encontrados mais patógenos que na coleta 1 semana após esta aplicação. Isto se deve ao fato dos patógenos estarem distribuídos de maneira não uniforme (ANDREOLLI et al, 1998), e mesmo a coleta de amostras ter sido composta, pode ocorrer uma variação nas amostragens.

Com base nos resultados obtidos pode-se verificar que nem sempre é possível determinar se a detecção destes patógenos em uma determinada amostra significa que está diretamente relacionada com a aplicação de lodo imediatamente anterior à coleta da amostra pois em alguns casos, pode-se notar que houve um pequeno acúmulo de patógenos no solo.

Para determinar se os ovos e cistos pertencem a uma determinada aplicação, seria preciso realizar ensaios em que não ocorra reaplicação de lodo, pois desta forma é possível ter certeza que o que for detectado na amostra pertence a aplicação realizada. Da maneira em a pesquisa foi feita, era possível coletar um ovo de helminto na 4ª aplicação, mas que na realidade pertencia a segunda aplicação de lodo.

Outro fato que precisa ser considerado é que as metodologias de recuperação dos ovos e cistos nem sempre são capazes de recuperar 100%, o que pode gerar uma estimativa menor do que a real, da ocorrência destes patógenos.

Na última aplicação de lodo houve uma redução dos patógenos encontrados em todas as doses de aplicação, provavelmente ao intervalo entre a aplicação anterior ter sido de 5 meses, devido a problemas no funcionamento da ETE, que pode ter levado a uma redução natural destes organismos no solo, pois o ambiente não é favorável á sua presença, além do que isto ocorreu durante os meses de verão, quando a intensidade da luz solar é maior e possivelmente contribuiu para provocar a eliminação dos protozoários e helmintos. A eliminação destes organismos no solo, ao longo do tempo será discutida no item 5.3.1.

Em relação as doses de aplicação estudadas foi possível observar, de uma maneira geral, que quanto maior a dose maior a concentração de patógenos encontrada, e que a calagem também provoca uma diminuição destes organismos. A dose 7,5 TSS/ha foi a que apresentou maior incidência de helmintos e protozoários/100 g de solo.

Na dose de 2,5 TSS/ha o número médio de patógenos encontrados durante o experimento foi de 12 por 100 g de solo analisado. Devido as menores quantidades de lodo aplicada, a incidência de patógenos também foi menor. Na 10ª aplicação foram encontrados 28 organismos/100g de solo, sendo o maior número encontrado para esta

dose durante a pesquisa. Na Figura 5.22 estão apresentados os resultados do número de patógenos encontrados para esta dose em todas as análises de solo.

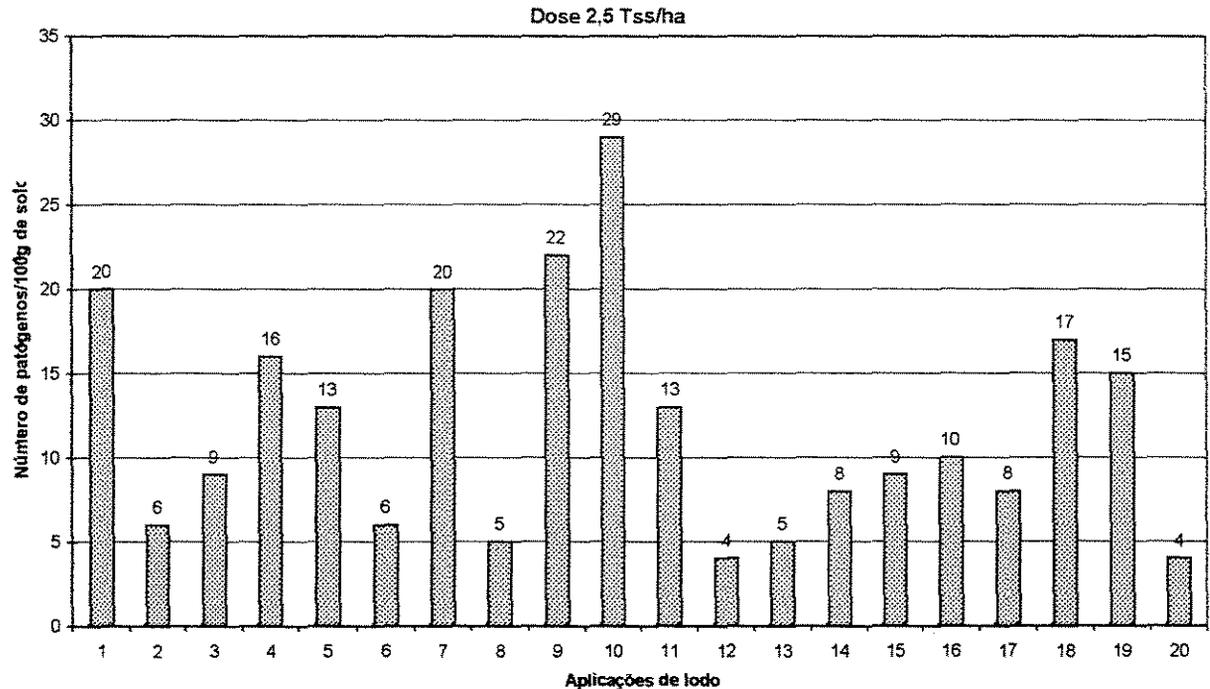


Figura 5.22 – Variação do número de patógenos para a dose 2,5 TSS/ha nas 20 aplicações de lodo.

Em algumas coletas houve baixa detecção dos patógenos nas amostras de solo que recebeu aplicação de lodo, isto pode ter ocorrido devido a recuperação do método utilizado não ser 100% e pelas destruição dos ovos e cistos.

Para a dose 5,0 TSS/ha – pH natural- o número médio encontrado foi de 17 ovos e cistos /100g de solo e para o solo com pH corrigido, também dose de 5,0TSS/ha o número médio encontrado foi de 14 ovos e cistos/100 g de solo. Os resultados do número de ovos e cistos detectados para estas duas doses de aplicação estão apresentados nas Figuras 5.23 e 5.24, respectivamente.

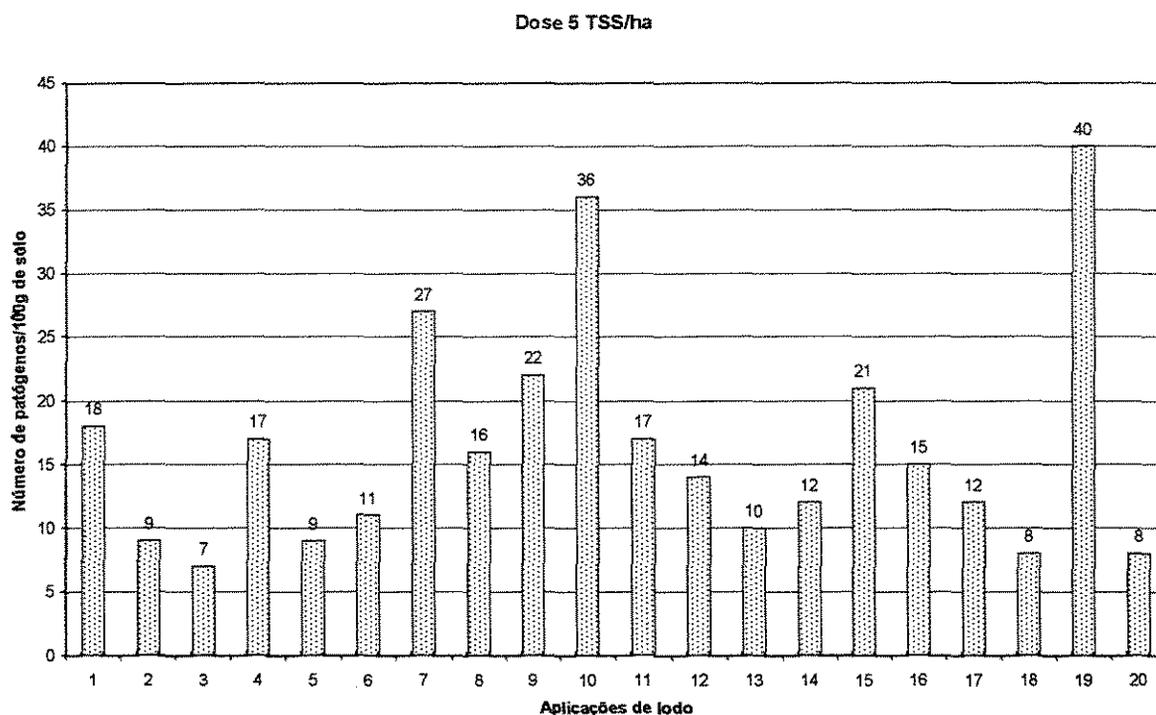


Figura 5.23 – Variação do número de patógenos para a dose 5 TSS/ha nas 20 aplicações de lodo.

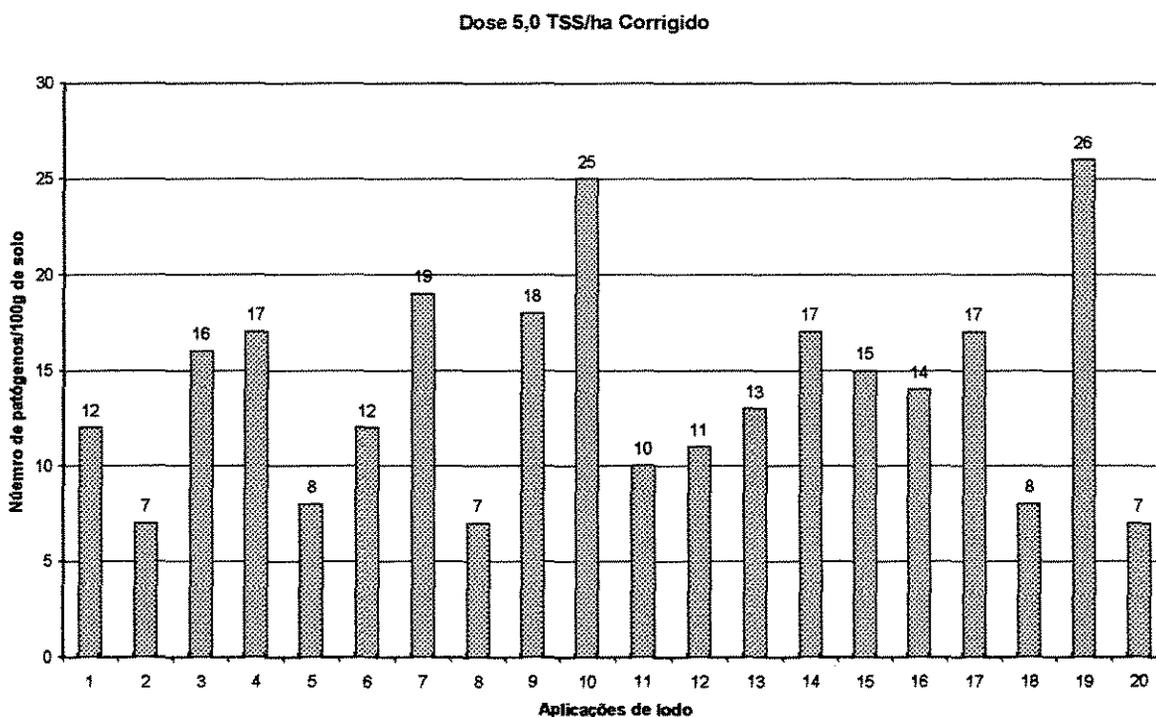


Figura 5.24 – Variação do número de patógenos na dose 5TSS/ha pH corrigido nas 20 aplicações de lodo.

Comparando as doses 5,0 TSS/ha – pH natural e 5,0 TSS/ha – pH corrigido observa-se que com o pH corrigido o número de patógenos encontrado foi menor que com pH natural, com exceção de 3 aplicações (3ª, 13ª e 14ª). Isto demonstra que a calagem tem um efeito significativo na redução de patógenos e pode ser usada como uma forma de promover a desinfecção do lodo.

A dose de aplicação 7,5 TSS/ha foi a que apresentou maior número de patógenos/ 100g de solo analisado – 25. Em algumas aplicações ocorreram picos de detecção, com na 7ª, 10ª e 19ª. Este alto número de organismos detectados indica que no caso de ser usada uma dose de aplicação como esta pode haver riscos maiores de contaminação do solo por agentes patogênicos. Os resultados encontrados nas 20 aplicações para esta dose estão apresentados na Figura 5.25.

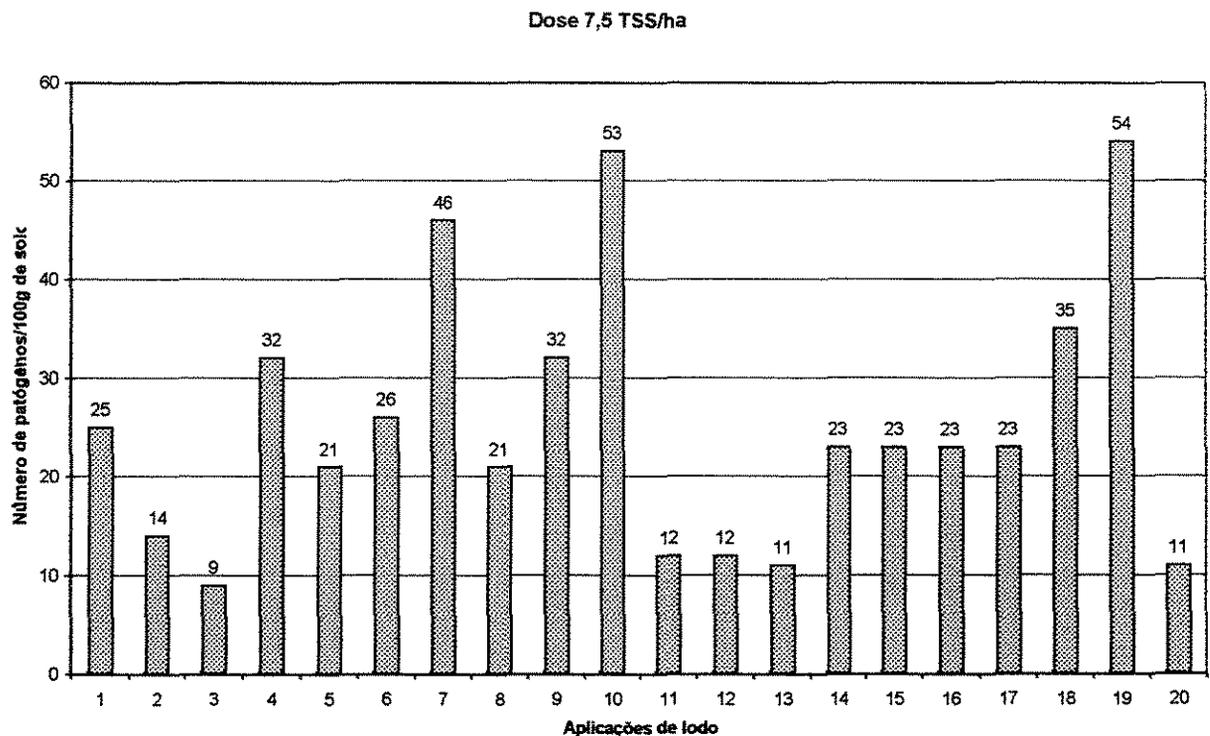


Figura 5.25 – Variação do número de patógenos na dose 7,5TSS/ha pH corrigido nas 20 aplicações de lodo.

Nos grupos controle, ou seja no 0 e 0C não foram detectados a presença de patógenos em nenhuma coleta feita durante as 20 aplicações de lodo. As análises destes solos foram feitas sempre em conjunto com a análise dos outros solos.

Os patógenos mais detectados nas amostras de solo foram os ovos de helmintos, que são mais resistentes que os cistos e oocistos de protozoários (Figura 5.26). Os oocistos de *Cryptosporidium* não foram detectados em nenhuma amostra de lodo ou solo. análise na maioria das vezes apenas os helmintos eram encontrados.

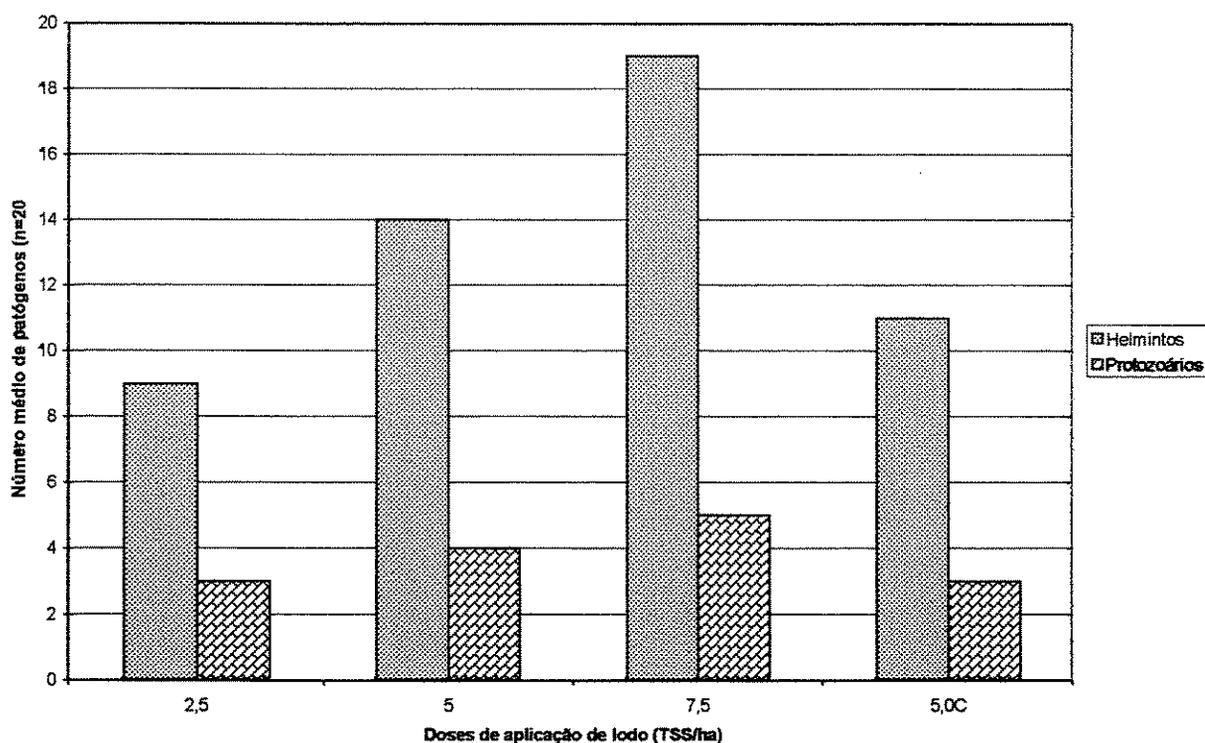


Figura 5.26 – Comparação entre número de helmintos e protozoários presentes no solo após aplicação de lodo (média de 20 aplicações).

Com relação as doses de lodo aplicadas, TSUTYA (2000) recomenda que para solos sem impermeabilização na camada de fundo, não seja superior a 60 – 70 toneladas ha /ano – base seca. Esses cuidados com as quantidades de lodo aplicada no solo estão relacionadas com a possível contaminação das águas subterrâneas com nutrientes, metais pesados, ovos de helmintos e coliformes.

Nesta pesquisa o lodo foi aplicado em intervalos de 40 dias com base nos resultados da respirometria. As doses utilizadas foram 2,5 TSS/ha, 5,0 TSS/ha e 7,5 TSS/ha, que corresponde a 22,5 TSS/ha ano, 45 TSS/ha ano e 67,5 TSS/ha ano respectivamente, na situação da pesquisa, ou seja 9 aplicações em 1 ano. Essas quantidades estão próximas das recomendadas por TSUTYA (2000).

A legislação existente não determina qual é a porcentagem de patógenos que o solo que recebe aplicação de lodo pode conter para não causar danos, o que é determinado é que o lodo passe por um processo de desinfecção antes de sua aplicação no solo, o que evitaria que estes organismos se acumulassem neste ambiente e fossem detectados nestes níveis.

Esta pesquisa fez parte de um projeto, em que também foram analisados outros parâmetros, como coliformes totais e fecais, nitrogênio e fósforo. Para os coliformes, a dose de aplicação limitante é a 5,0TSS/ha, pois na dose superior foram detectados coliformes estavam presentes nas camadas mais profundas de solo (CAMPOS, 2002). Em relação ao nitrogênio e fósforo, a dose limitante de aplicação é a 2,5 TSS/ha, pois nas outras doses foi detectado a presença de nitrato, em níveis superiores ao permitido pela legislação, no líquido percolado na profundidade de 1,00m (NASCIMENTO, 2002). Para os helmintos e protozoários, também seria recomendada a dose de aplicação 2,5TSS/ha, na qual a ocorrência destes organismos foi detectada em menor número, e portanto o risco de contaminação seria menor.

5.3.1 Análise do solo que deixou de receber aplicação de lodo

A partir da 12ª aplicação de lodo, uma série de protótipos deixou de receber aplicação de lodo, enquanto as outras duas séries recebiam a aplicação normalmente. No total foram deixadas de ser realizadas 9 aplicações de lodo e esta etapa teve como objetivo avaliar quais as condições do solo que deixou de receber o lodo, não só em relação aos patógenos, mas também em outros parâmetros estudados nos demais projetos.

Neste caso, não havia repetição para as análises e os resultados obtidos são os de apenas uma amostra composta. Os resultados são apresentados divididos em doses de aplicação e comparados com os protótipos que continuaram a receber aplicação de lodo e estão representados nas Figuras 5.27 a 5.30.

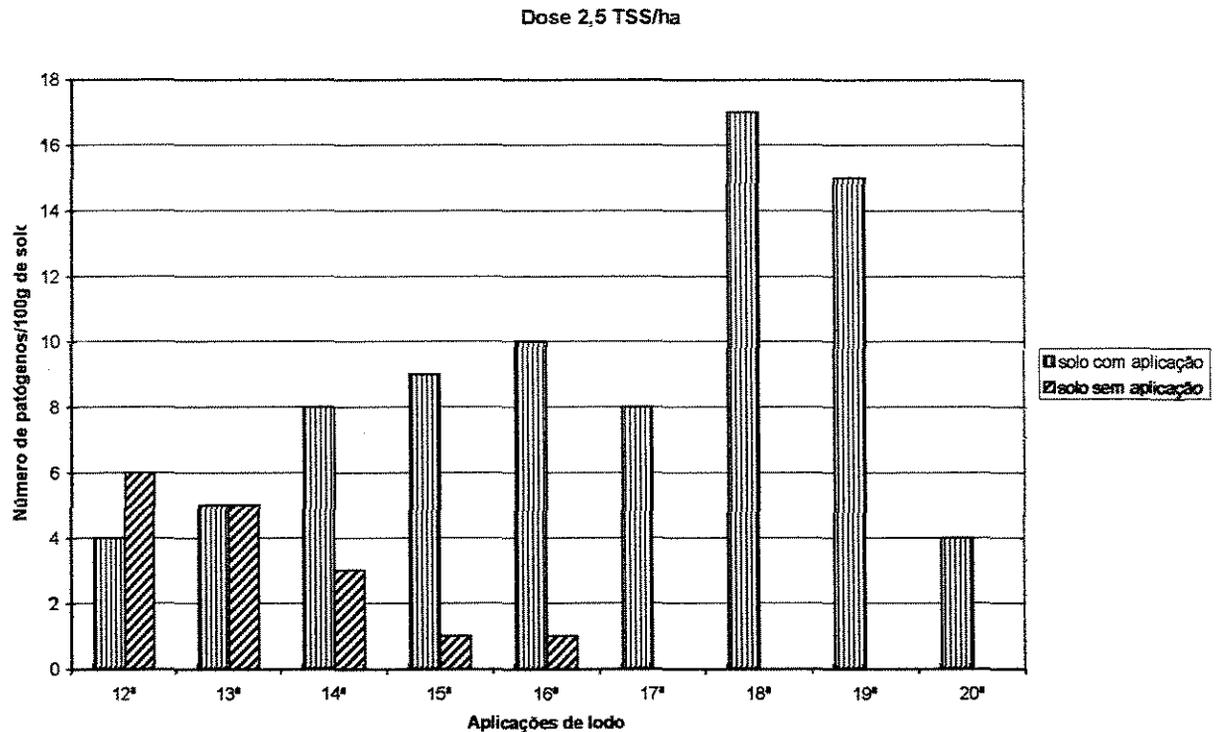


Figura 5.27 – Resultados comparativos entre solo que recebeu e solo que deixou de receber aplicação de lodo para dose 2,5 TSS/ha.

A partir da 17ª aplicação nos protótipos onde esta havia cessado, não foram mais detectados os patógenos nas análises de solo. Isto indica que há uma diminuição destes organismos com o passar do tempo, novamente lembrando que estes estão em ambiente hostil e portanto não favorável à sua permanência.

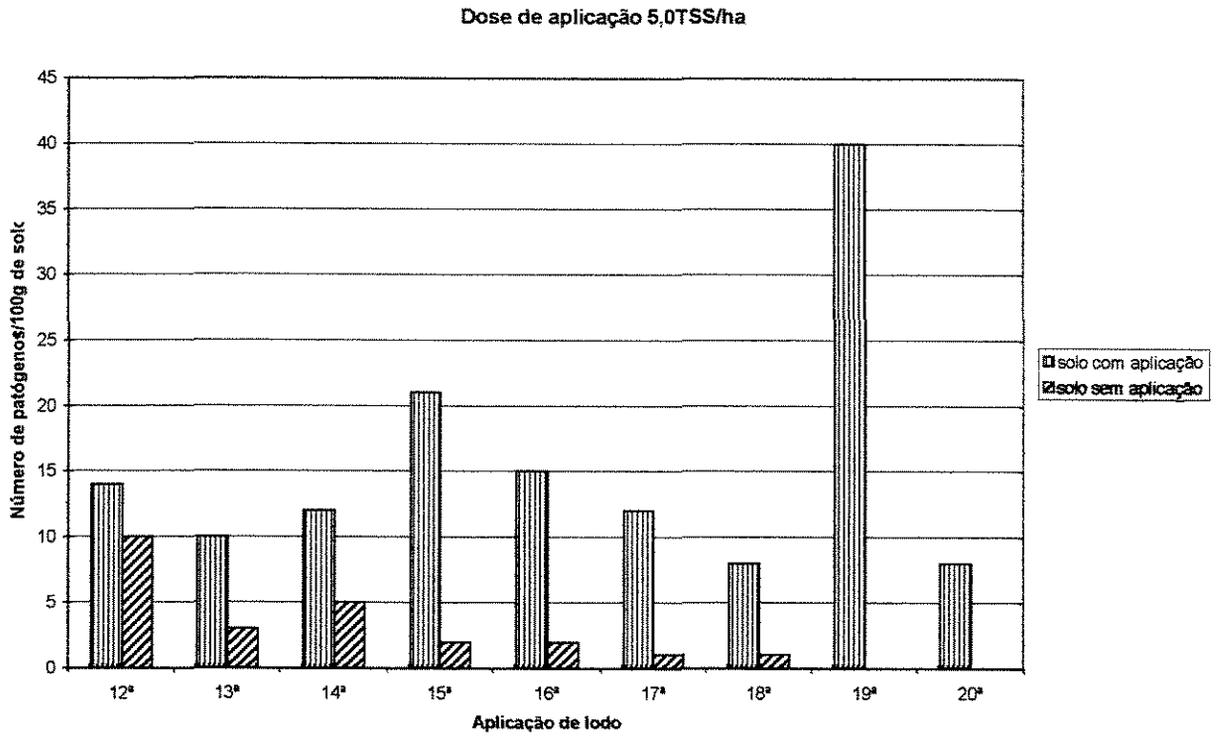


Figura 5.28 – Resultados comparativos entre solo que recebeu e solo que deixou de receber aplicação de lodo para dose 5,0 TSS/ha.

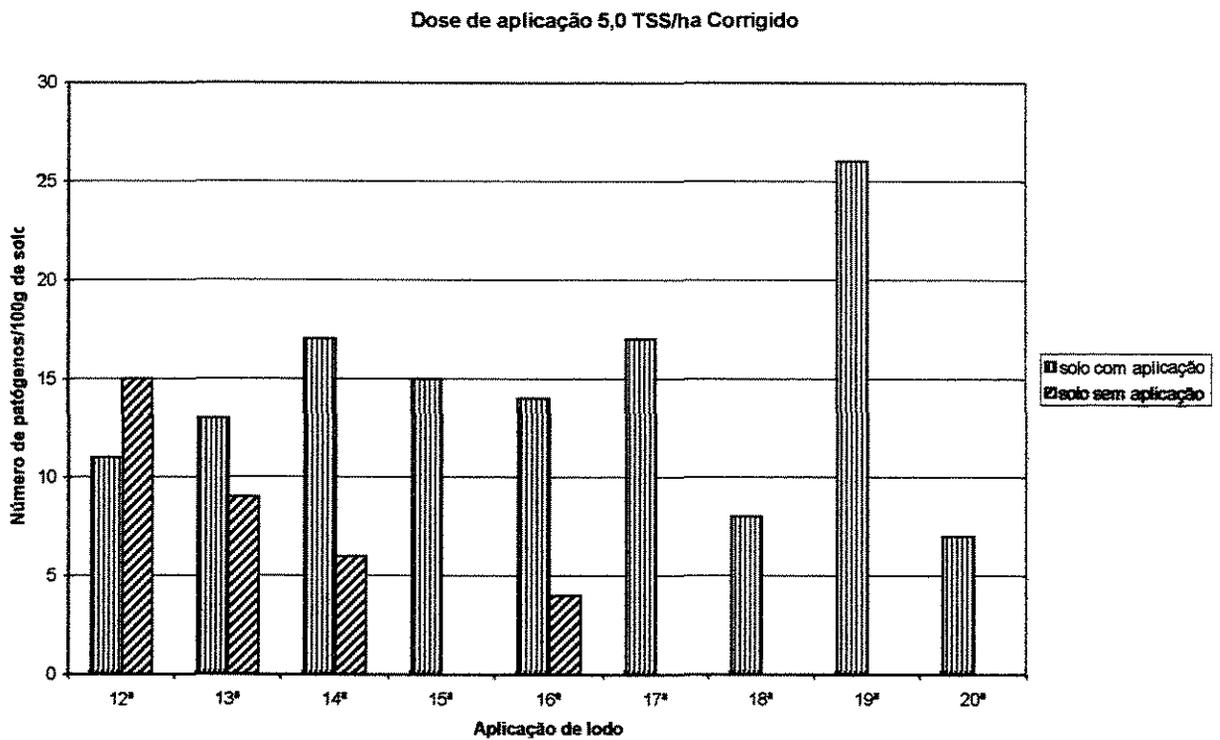


Figura 5.29 – Resultados comparativos entre o solo que recebeu e solo que deixou de receber aplicação de lodo para dose 5 TSS/ha pH corrigido

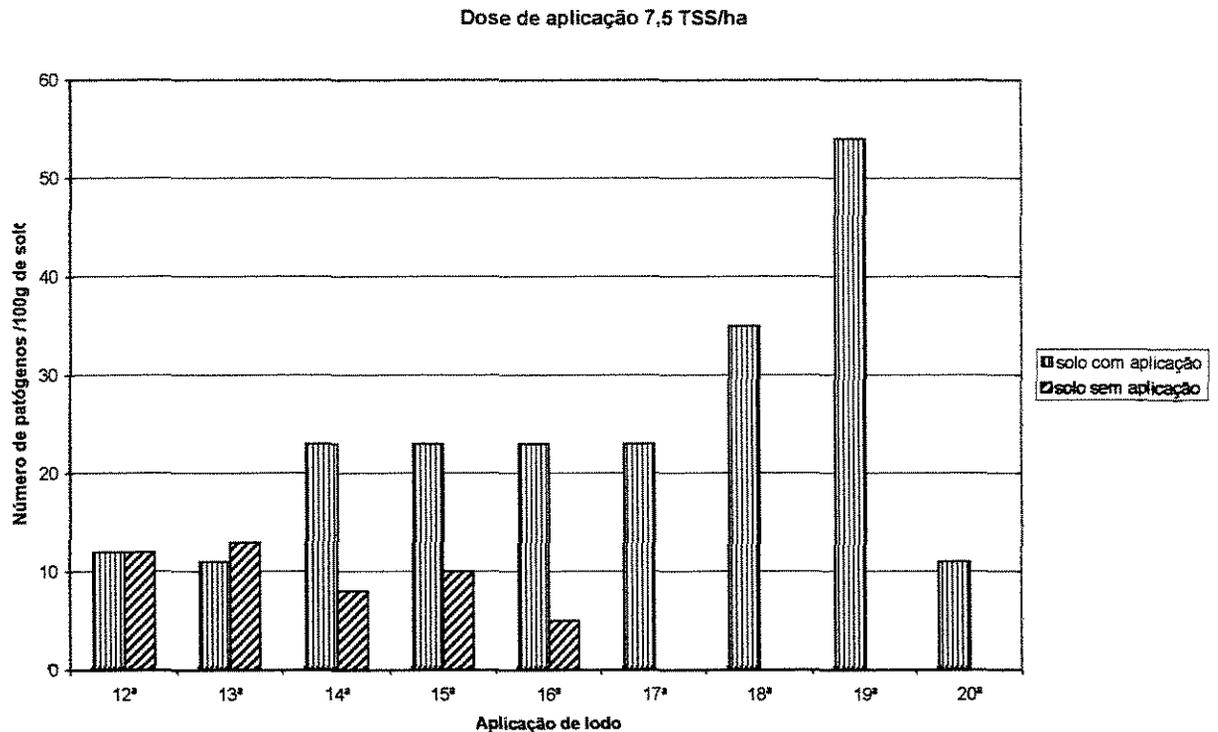


Figura 5.30 – Resultados comparativos entre solo que recebeu e solo que deixou de receber aplicação de lodo para dose 7,5 TSS/ha.

Com base nos resultados obtidos é possível estabelecer uma comparação entre o solo que recebe e o que deixou de receber aplicação de lodo. Nos protótipos em que a aplicação de lodo deixou de ser feita, houve gradativa diminuição dos patógenos encontrados e até mesmo sua não detecção a partir da 17ª aplicação de lodo, com exceção da dose 5,0 TSS/ha pH natural, em que ainda foram detectados patógenos na 17ª e 18ª aplicação.

Estes resultados reforçam que o ambiente do solo é hostil para estes organismos, principalmente quando presentes nas camadas mais superficiais, como foi detectado ao longo do trabalho. No solo, estes patógenos sofrem com diminuição da umidade e principalmente com a incidência da radiação solar, que devido ao comprimento de onda ultra-violeta pode estar causando sua eliminação.

O tempo necessário para que os patógenos fossem eliminados foi de 09 meses, entre a 12ª e 17ª aplicação de lodo, sendo este um intervalo a ser respeitados, entre a aplicação e o reuso do solo com segurança. No caso de um lodo que tenha passado por um processo de desinfecção, este período pode ser menor, mas é preciso acompanhar a presença dos patógenos para se certificar de sua eliminação.

Pelos resultados obtidos nesta pesquisa, o recomendado para aplicação de lodo líquido no solo, seria a dose de aplicação 2,5TSS/ha, que tem menor incidência de patógenos e período de espera para o solo de 09 meses, como margem de segurança.

5.4 Análise do Líquido percolado

As análises do líquido percolado só foram possíveis serem realizadas na época das chuvas, pois durante a estiagem não era possível coletar o líquido. Os coletores funcionaram bem, mas nem sempre foi possível coletar em todos eles no mesmo protótipo. Na profundidade de 1,00m a coleta do percolado era mais difícil de ser feita, pois muitas vezes não havia amostra e em outras a quantidade não era suficiente para a realização das análises.

De uma maneira geral não foram observados muitos patógenos neste percolado, e quando estes eram observados geralmente estavam presentes no coletores mais superficiais, ou seja, a 0,25 do solo. O mais comum de encontrar nas amostras deste líquido eram larvas de nematóide de vida livre, que estão naturalmente presentes no solo.

Os primeiros resultados para o líquido percolado só foram obtidos a partir da 5ª aplicação de lodo, que ocorreu em outubro de 2002 quando se iniciou o período de chuvas e no total foram feitas coletas de percolado em 7 aplicações de lodo. Quando não foi possível coletar o líquido percolado nas 3 repetições, correspondentes a cada profundidade de coletor e dose de aplicação de lodo, foi apresentado o resultado em que houve detecção, e quando foi possível fazer as 3 repetições de coleta, foi feita a média destas repetições para apresentação dos resultados. Os resultados destas análises estão apresentados nas Tabelas 5.4 a 5.7.

Tabela 5.4 Número de ovos/cistos por 50ml de percolado para a dose de aplicação de lodo de 2,5 TSS/ha.

Aplicação de lodo	Coletor 25cm	Coletor 50cm	Coletor 75 cm	Coletor fundo 100cm
5ª aplicação	2	ND	ND	ND
6ª aplicação	2	ND	ND	ND
7ª aplicação	4	1	ND	ND
8ª aplicação	10	2	ND	ND
11ª aplicação	2	1	ND	ND
12ª aplicação	4	ND	ND	ND
13ª aplicação	4	ND	ND	ND

ND - não detectado

Tabela 5.5 Número de ovos/cistos por 50ml de percolado para a dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha.

Aplicação de lodo	Coletor 25cm	Coletor 50cm	Coletor 75 cm	Coletor fundo 100cm
5ª aplicação	NC	ND	ND	ND
6ª aplicação	NC	ND	ND	ND
7ª aplicação	3	ND	ND	ND
8ª aplicação	9	2	NC	NC
11ª aplicação	4	ND	NC	ND
12ª aplicação	3	ND	ND	ND
13ª aplicação	ND	ND	ND	ND

ND - não detectado

NC – não coletado

Tabela 5.6 Número de ovos/cistos por 50ml de percolado para a dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha (corrigido).

Aplicação de lodo	Coletor 25cm	Coletor 50cm	Coletor 75 cm	Coletor fundo 100cm
5ª aplicação	NC	NC	NC	NC
6ª aplicação	4	ND	ND	NC
7ª aplicação	ND	ND	ND	ND
8ª aplicação	7	1	NC	NC
11ª aplicação	1	1	NC	NC
12ª aplicação	1	ND	1	NC
13ª aplicação	3	ND	ND	NC

ND - não detectado
NC – não coletado

Tabela 5.7 Número de ovos/cistos por 50ml de percolado para a dose de aplicação de lodo de 7,5 TSS/ha.

Aplicação de lodo	Coletor 25cm	Coletor 50cm	Coletor 75 cm	Coletor fundo 100cm
5ª aplicação	5	ND	ND	ND
6ª aplicação	5	1	ND	ND
7ª aplicação	4	ND	ND	ND
8ª aplicação	9	1	ND	ND
11ª aplicação	2	2	ND	ND
12ª aplicação	3	ND	ND	ND
13ª aplicação	3	1	ND	ND

ND - não detectado
NC – não coletado

Nos protótipos do grupo controle, ou seja, que não receberam aplicação de lodo não foram detectados patógenos em nenhuma análise, mas apenas algumas larvas de nematóides de vida livre que são comuns ao solo. Nos resultados apresentados estas larvas de nematóides não estão computadas para dose de aplicação de lodo e nem nas diferentes profundidades dos coletores de drenagem livre. Os resultados referem-se apenas aos patógenos encontrados no líquido percolado.

Depois destas coletas não foi possível mais coletar líquido percolado devido ao período de estiagem. De uma maneira geral, as amostras de líquido percolado não apresentaram uma alta incidência de patógenos, o que significa que estes não conseguem atingir altas profundidades e não haveria muitos riscos em relação ao lençol freático, no caso de haver uma disposição do lodo de esgoto no solo.

A profundidade em que mais foram detectados os patógenos foi a de 25cm, pois é a que se encontra mais próxima da camada de solo em que estes se encontram, ou seja de 0 – 0,20cm. Nos coletores mais profundos não foram detectados os ovos de helmintos ou cistos dos protozoários, somente poucas vezes no coletor da profundidade 50cm.

Devido ao grande período de estiagem em nenhuma coleta foi possível obter amostras de todos os reatores e de todos os coletores, para que pudesse ser feita análise completa do líquido percolado em uma determinada aplicação. Muitas vezes o volume de amostra foi insuficiente para realizar todas as análises pertencentes ao projeto, e como as análises de helmintos e protozoários eram realizadas também no solo, dava-se prioridade para análise de outros parâmetros.

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que os patógenos acumulam-se mais nas camadas superiores do solo, não sendo encontrados em camadas mais profundas e que portanto não é provável que atinjam o lençol freático, causando contaminação, mesmo na maior dose de aplicação de lodo pesquisada – 7,5 TSS/ha.

5.5 Resultado dos Testes de Calagem

A calagem foi testada a 3 dosagens –20, 30 e 50% para as mesmas taxas de aplicação de lodo usadas nas cubas. No total foram realizados 3 ensaios para a dose de aplicação 5,0 TSS/ha e 4 ensaios para a dose de aplicação 7,5 TSS/ha. As análises do solo que recebeu aplicação de lodo e cal foram realizadas a cada 5 dias, durante um período total de 40 dias. Os resultados apresentados referem-se apenas aos custos de protozoários e ovos de helmintos detectados nas amostras de solo analisadas. Algumas vezes foram detectadas a presença de larvas de nematóides, mas estas não estão computadas junto com os resultados. Os resultados estão apresentados nas Figuras 5.31 a 5.36.

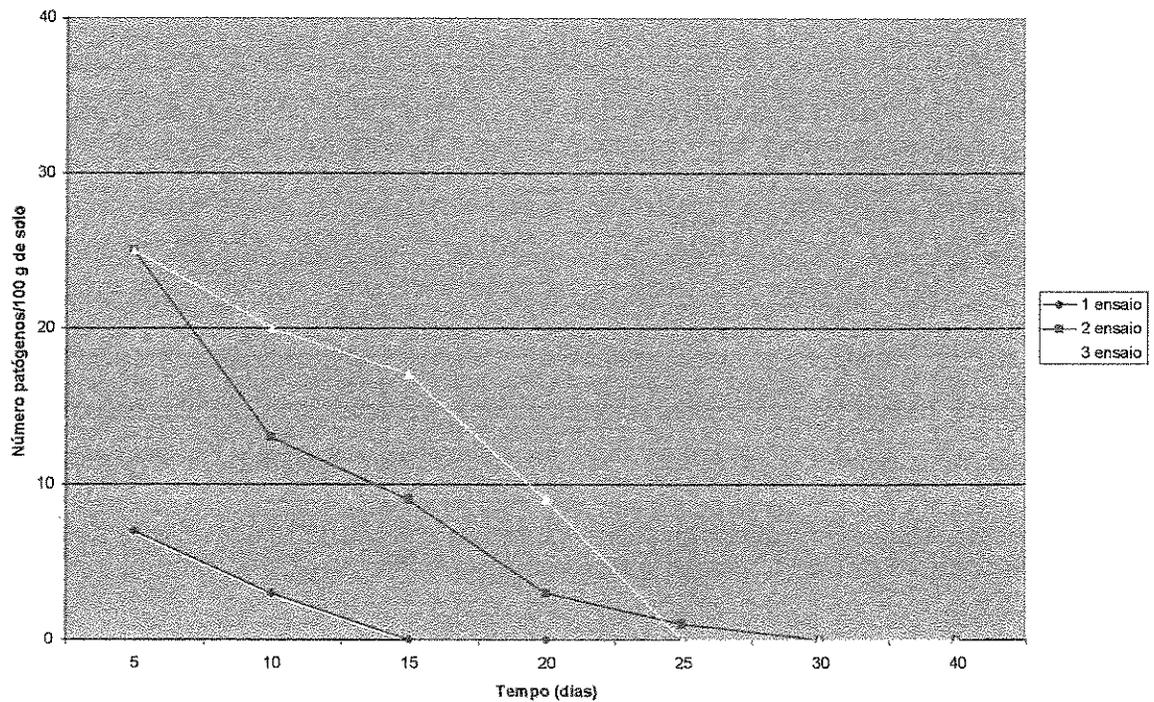


Figura 5.31 – Resultados obtidos para calagem 20% para dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha.

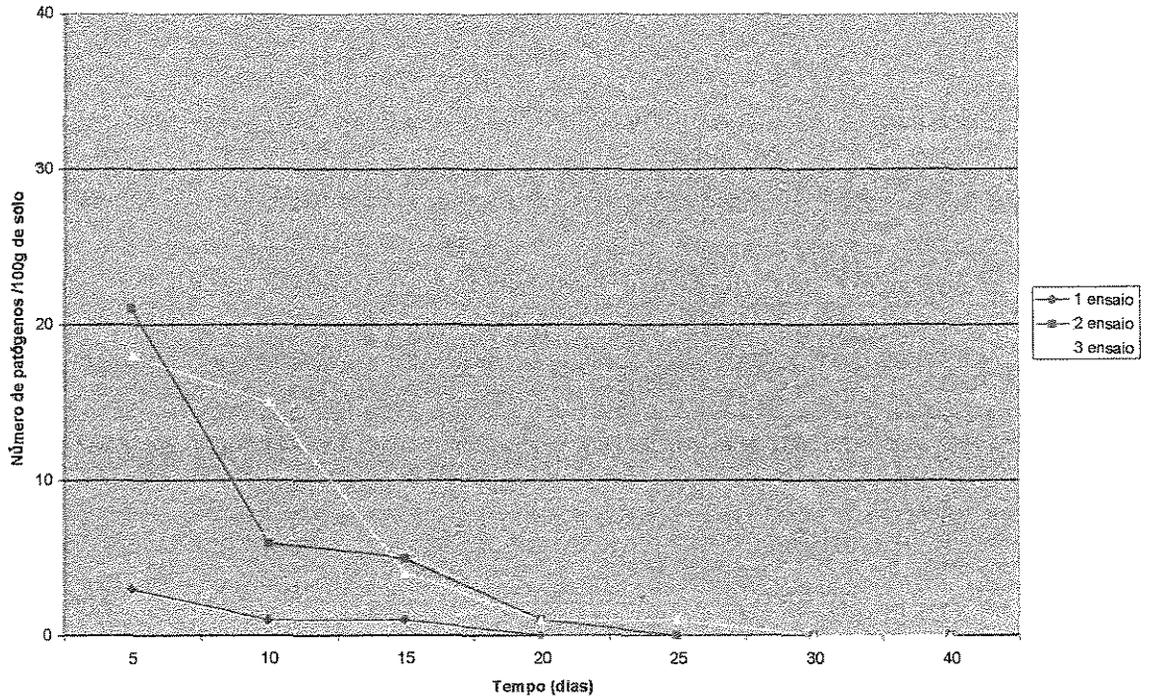


Figura 5.32 – Resultados obtidos para calagem 30% para dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha.

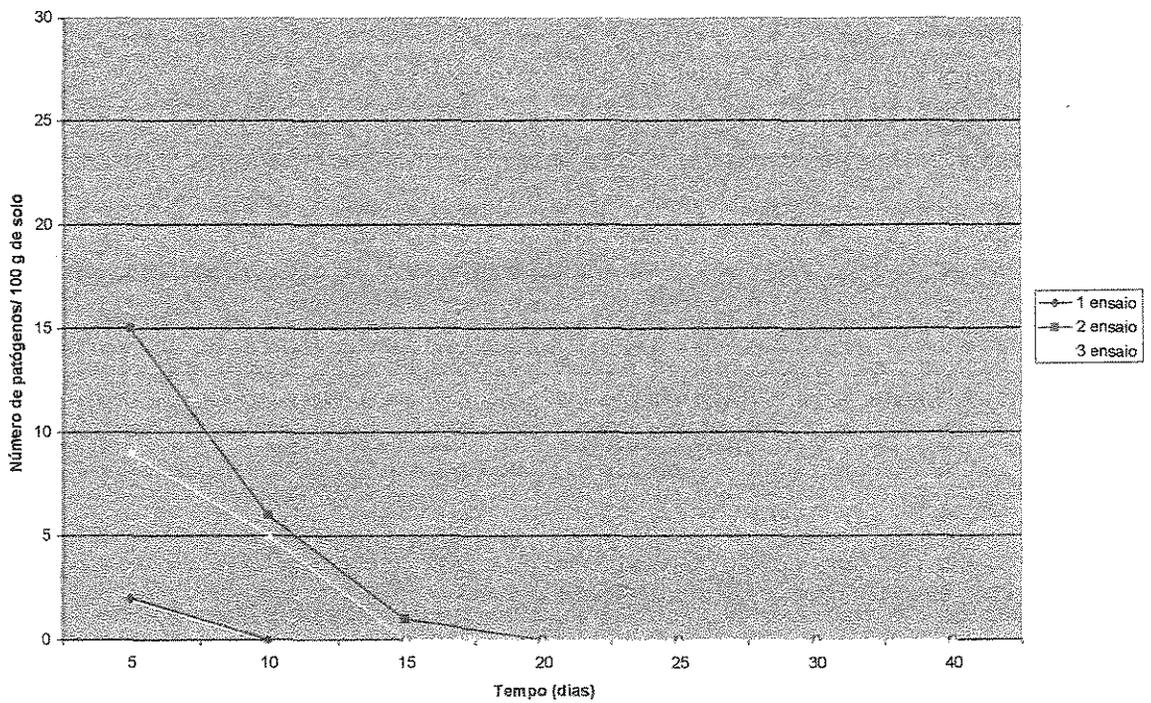


Figura 5.33 - Resultados obtidos para calagem 50% para dose de aplicação de lodo de 5 TSS/ha.

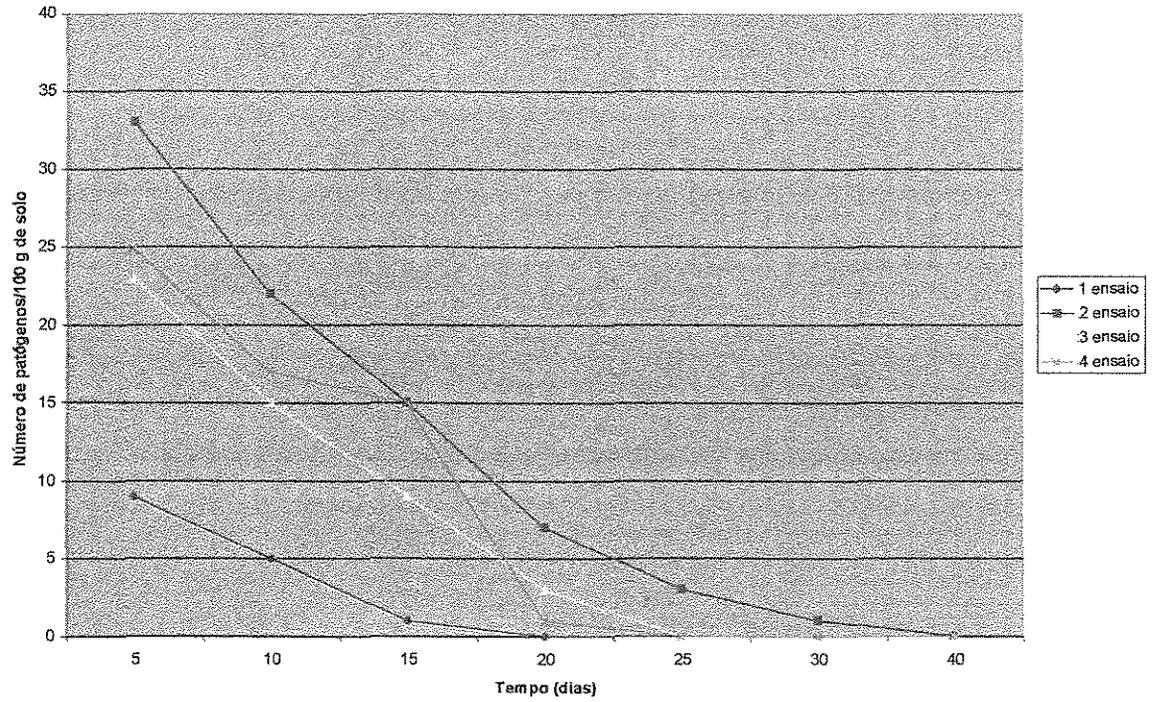


Figura 5.34 - Resultados obtidos para calagem 20% para dose de aplicação de lodo de 7,5 TSS/ha.

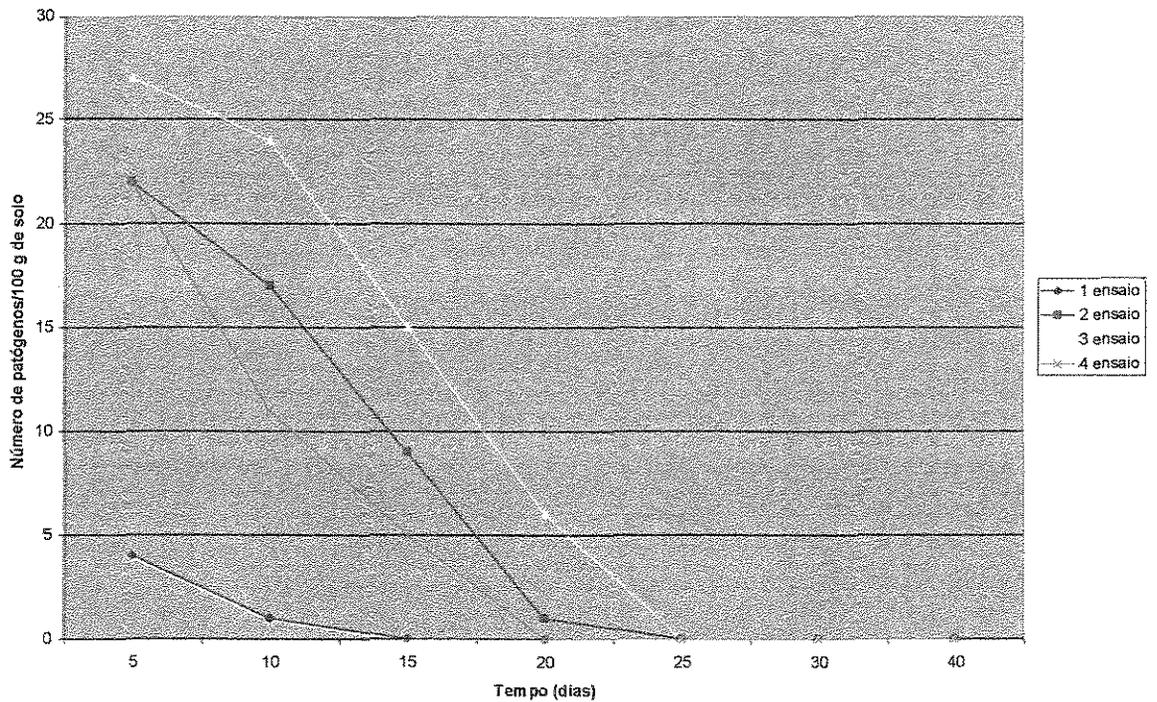


Figura 5.35 - Resultados obtidos para calagem 30% para dose de aplicação de lodo de 7,5 TSS/ha.

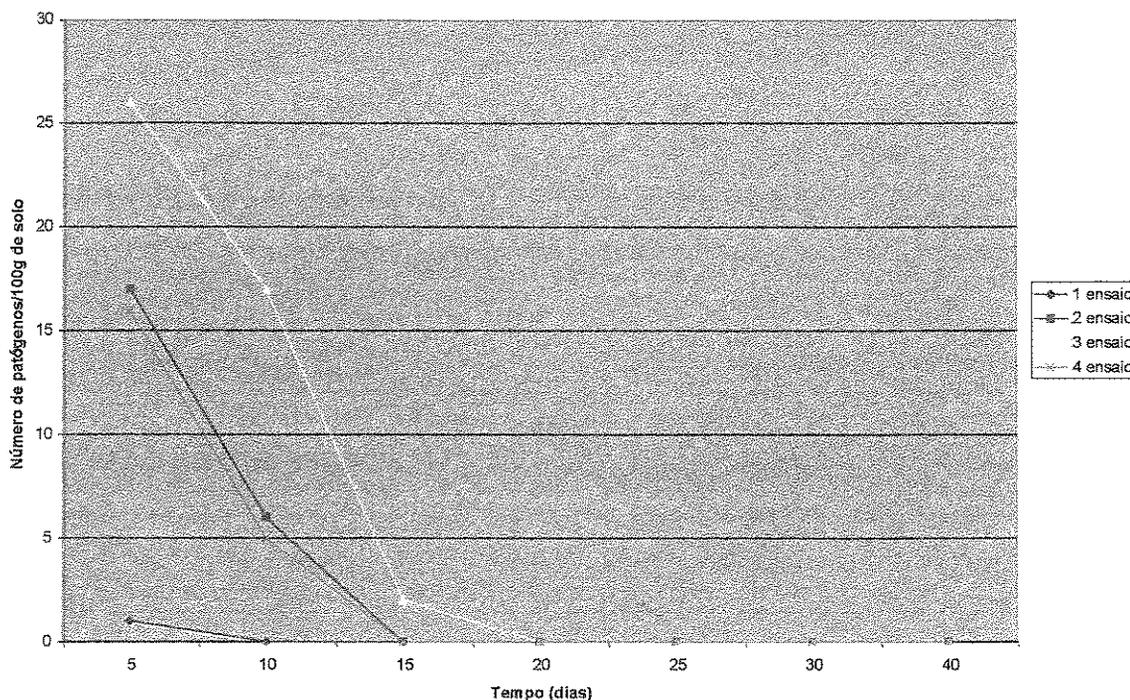


Figura 5.36 – resultados obtidos para calagem 50% para dose de aplicação de lodo de 7,5 TSS/ha.

Pelos resultados obtidos pode-se observar que quanto maior a porcentagem de calagem usada, menor é o tempo de contato exigido para que os patógenos sejam eliminados.

A porcentagem de calagem que eliminou mais rapidamente os patógenos em todas as taxas foi a 50. De uma maneira geral 10 a 20 dias foram suficientes para a destruição dos patógenos nesta porcentagem.

Para a dose de aplicação de lodo 5,0 TSS/ha foram realizados 3 ensaios e pode-se observar que a menor dose de calagem (20%) – destruiu os ovos em cerca de 20 dias, e a maior dose 50% - de 15 a 20 dias. A dose de aplicação de lodo 7,5 TSS/ha foi a que mostrou ser necessário um maior tempo de contato e dosagem de calagem para a destruição dos ovos. Quanto menor a dosagem de calagem pesquisada, maior o tempo de contato necessário para a eliminação dos ovos.

Comparando os resultados obtidos com a literatura ficou comprovada a eficácia desta forma de desinfecção na destruição dos patógenos. PASSAMANI (2000) afirma em

seu trabalho que este processo é um dos mais eficientes para eliminação dos patógenos no lodo. Desta maneira, pode-se recomendar este processo antes da aplicação do lodo, eliminando desta forma os agentes patogênicos que estão presentes.

Pelos resultados com os obtidos nos protótipos, na dose de 5,0TSS/ha com correção de pH, é possível afirmar que a calagem é eficiente na remoção de patógenos, pois nos protótipos também havia menor incidência de patógenos nestas condições, que na mesma dose sem correção de pH.

5.6 Desinfecção natural com luz solar

Nestes ensaios foram analisados coliformes totais e *E. coli* no lodo e solo que recebeu aplicação de lodo, além de cistos de protozoários e ovos de helmintos. A temperatura também foi acompanhada para verificar sua variação de acordo com as diferentes intensidades de sombreamento.

5.6.1 Variação da Temperatura

Os resultados encontrados para as variações da temperatura, de acordo com o sombreamento, estão apresentados a seguir. Na Tabela 5.8 estão expressos os resultados das medições feitas nos meses de verão e inverno.

Tabela 5.8 – Média da variação da temperatura no diferentes sombreamentos nos meses de verão e inverno.

Varição da intensidade luminosa	Verão (°C)	Inverno (C°)
C	37	30
40%	35	29
60%	33	27
80%	31	25

C – grupo controle – sem nenhum sombreamento

40% - malha de sombrite com sombreamento de 40%

60% - malha de sombrite com sombreamento de 60%

80% - malha de sombrite com sombreamento de 80%

Estes resultados indicam uma variação na temperatura que pode ser relacionada com o grau de sombreamento, sendo inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o grau de sombreamento, menor a temperatura observada.

A temperatura é um fator importante na eliminação dos patógenos, pois altas temperaturas podem provocar o dessecamento principalmente dos cistos e oocistos dos protozoários. Quando a temperatura combina-se com outros fatores, como intensidade de radiação e baixa umidade, há uma tendência da eliminação dos patógenos de maneira mais rápida.

5.6.2 Helmintos e Protozoários

As análises de helmintos e protozoários foram realizadas no lodo antes da aplicação e no solo que recebeu o lodo. Os resultados encontrados para estes patógenos estão apresentados nas Tabelas 5.9 a 5.12.

Tabela 5. 9 Número de helmintos e protozoários encontrados no solo (100g) na 1ª aplicação de lodo

Varição da intensidade luminosa (%)	Cistos de protozoários	Ovos de Helmintos
0	0	3
40	1	2
60	0	5
80	0	11

Tabela 5. 10 Número de helmintos e protozoários encontrados no solo (100g) na 2ª aplicação de lodo

Variação da intensidade luminosa (%)	Cistos de protozoários	Ovos de helmintos
C	0	4
40	1	7
60	1	10
80	2	17

Tabela 5. 11 Número de helmintos e protozoários encontrados no solo (100g) na 3ª aplicação de lodo

Variação da intensidade luminosa (%)	Cistos de protozoários	Ovos de helmintos
C	0	2
40	0	2
60	0	5
80	0	13

Tabela 5. 12 Número de helmintos e protozoários encontrados no solo (100g) na 4ª aplicação de lodo

Variação da intensidade luminosa (%)	Cistos de protozoários	Ovos de helmintos
C	0	4
40	0	7
60	0	12
80	0	18

Em todas as aplicações foram detectados patógenos presentes no solo. No grupo controle, ou seja, sem sombreamento a incidência dos patógenos foi menor e no grupo com sombreamento 80% foram detectados maior número destes patógenos.

Os cistos de protozoários foram detectados em menor número que os ovos de helmintos, sendo que sua prevalência foi na segunda aplicação de lodo. No grupo controle, em que há exposição direta ao sol os protozoários não foram detectados em nenhuma amostra. Isto pode ter ocorrido pelas temperaturas maiores e menor umidade, que provoca dessecação dos cistos, levando-os a sua eliminação. Os ovos de helmintos são mais resistentes e portanto encontrados em maior número. Em nenhuma amostra foram detectados oocistos de *Cryptosporidium*. Também foram detectadas larvas de vida livre que são comuns ao solo.

As análises foram feitas 1 semana após aplicação do lodo e os resultados se comparados com os obtidos nos protótipos podem confirmar a tendência de eliminação dos patógenos com o tempo, ainda mais quando presentes em ambiente hostil.

Para que fosse possível determinar o tempo exato de sobrevivência destes organismos no solo seria necessário que não fossem feitas novas aplicações de lodo, a fim de monitorar cada aplicação de maneira independente.

5.6.3 Coliformes totais e *E. coli*

Os resultados obtidos para coliformes totais e *E.coli* estão apresentados a seguir de acordo com a aplicações de lodo efetuadas.

1ª Aplicação de Lodo

Nesta aplicação foram realizadas análises de coliformes totais e *E. coli* em dois períodos 8 e 25 dias após aplicação do lodo, para observar o decaimento destes

microrganismos com o tempo. Os resultados destas análises estão nas figuras 5.37 e 5.38.

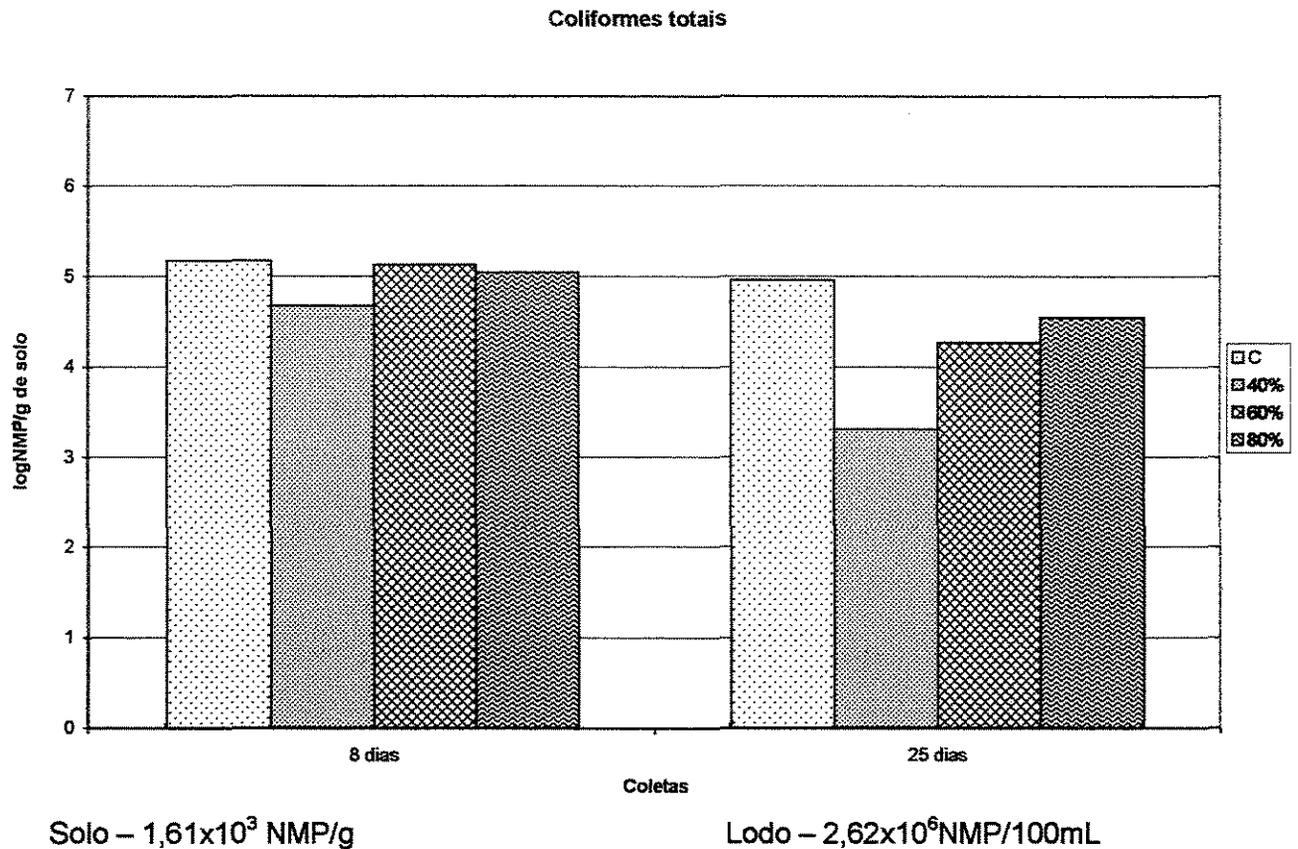


Figura 5.37 Valores de coliformes totais no solo após 1ª aplicação de lodo

Antes da aplicação de lodo foi feita análise do solo para quantificar os coliformes totais presentes, assim como no lodo. Após 8 dias de aplicação do lodo no solo, é possível observar que não houve um decaimento do número de coliformes presentes, sendo que o grupo controle apresentou a mesma quantidade que o sombrite 60%. O esperado era que houvesse uma diminuição no grupo controle, pois este estava diretamente exposto à radiação ultravioleta.

Nas análises realizadas após 25 dias da aplicação do lodo, o grupo controle apresentou maior incidência de coliformes totais, possivelmente devido a contribuição de algum animal. Nos grupos com sombrite o observado ficou dentro do resultado esperado, pois quanto maior o grau de sombreamento, maior a população de coliformes detectada.

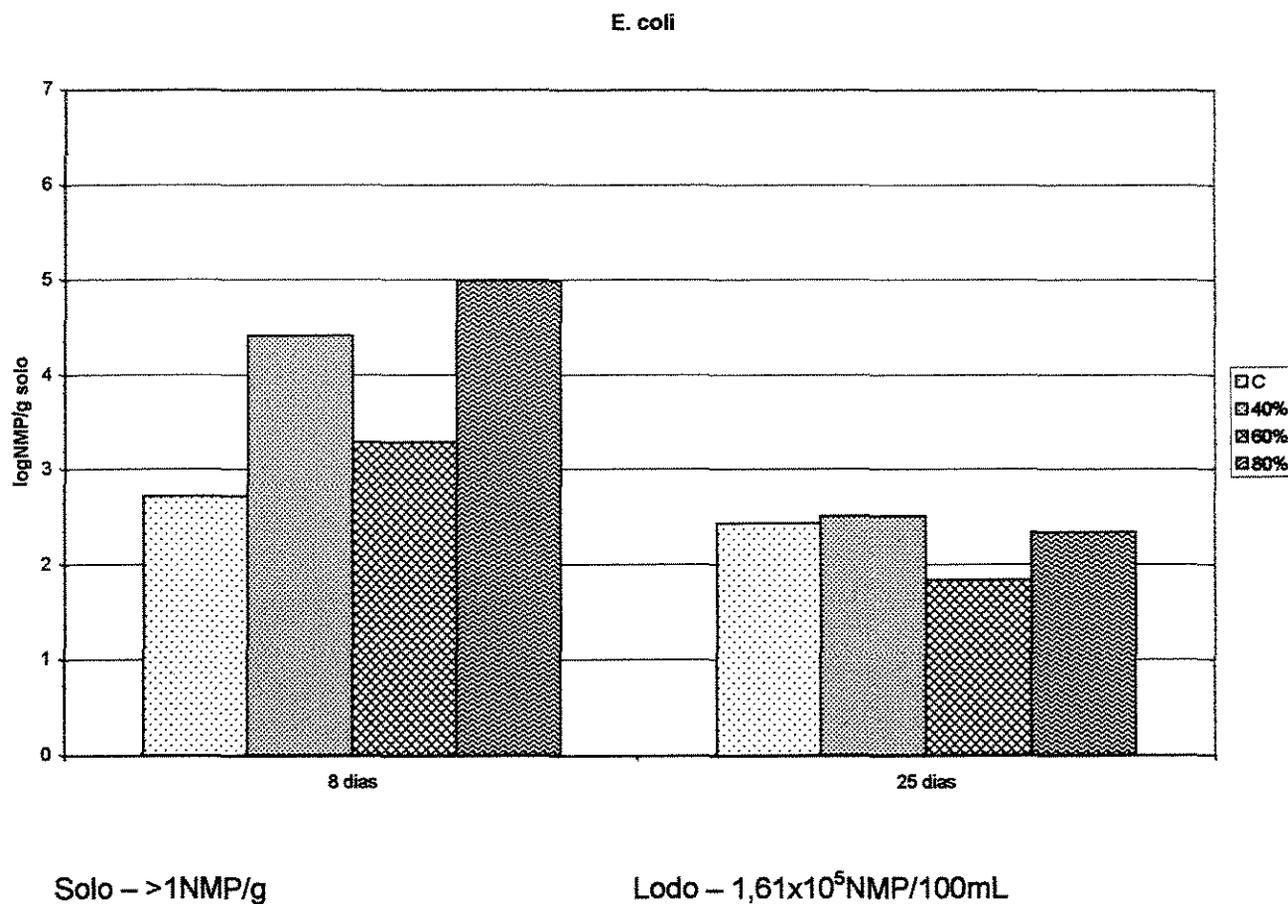


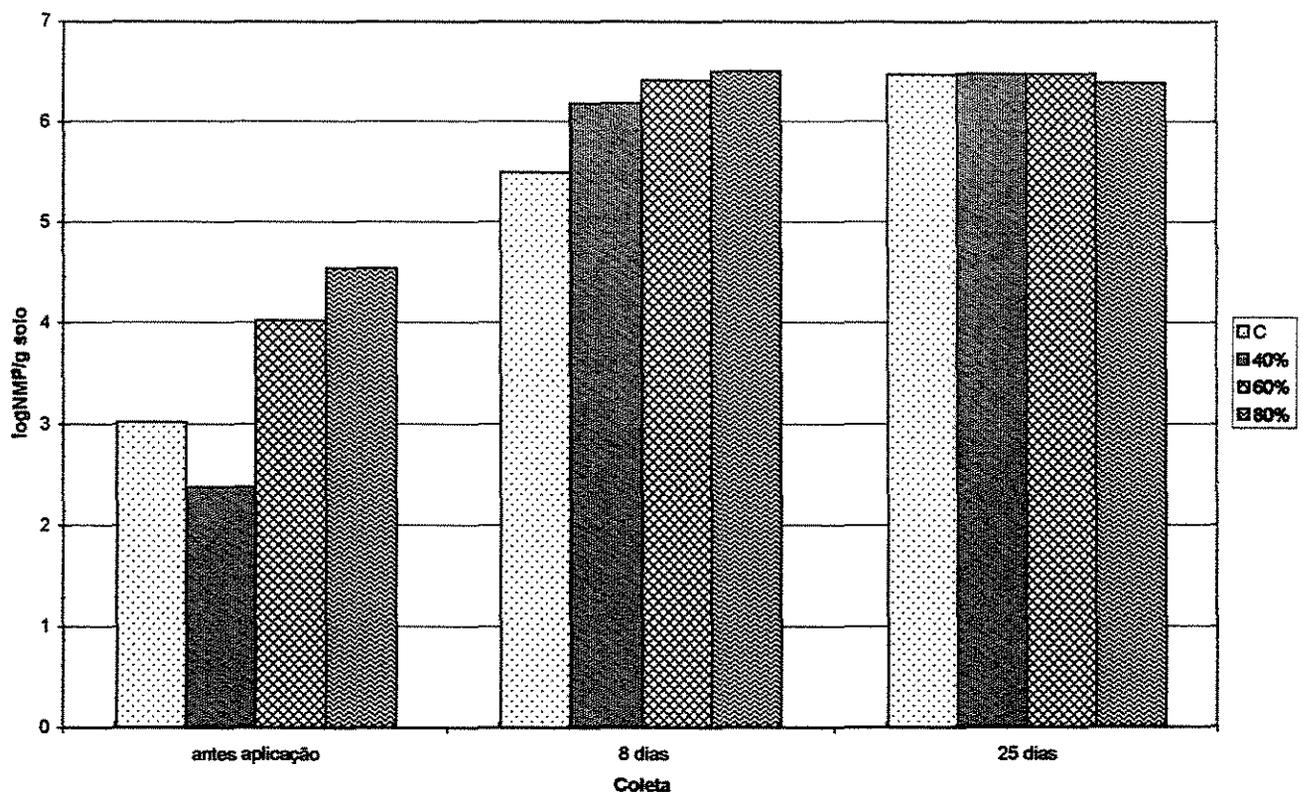
Figura 5.38 Valores de *E coli* no solo após 1ª aplicação de lodo

No solo antes da aplicação de lodo não foi detectado a presença de *E coli* e comparando o resultado inicial do lodo com o obtido após 8 dias de aplicação de lodo, pode-se observar que houve decaimento de 3 e 2 unidade logarítmica para o grupo controle e sombreamento 60%. No sombrite 40% a redução foi baixa e para o 80% manteve-se na mesma concentração inicial.

Na amostras coletadas após 25 dias de aplicação de lodo houve redução em todos os grupos estudados, sendo que no controle a redução foi menor que nos demais, ficando muito próxima da observada na análise anterior. O grupo com sombreamento 80% foi o que apresentou maior redução – 3 unidades logarítmicas, seguido pelo 40% com redução de 2.

2ª Aplicação de lodo

Nesta aplicação também foram realizadas análises em dois períodos e os resultados estão apresentados nas Figuras 5.39 e 5.40.

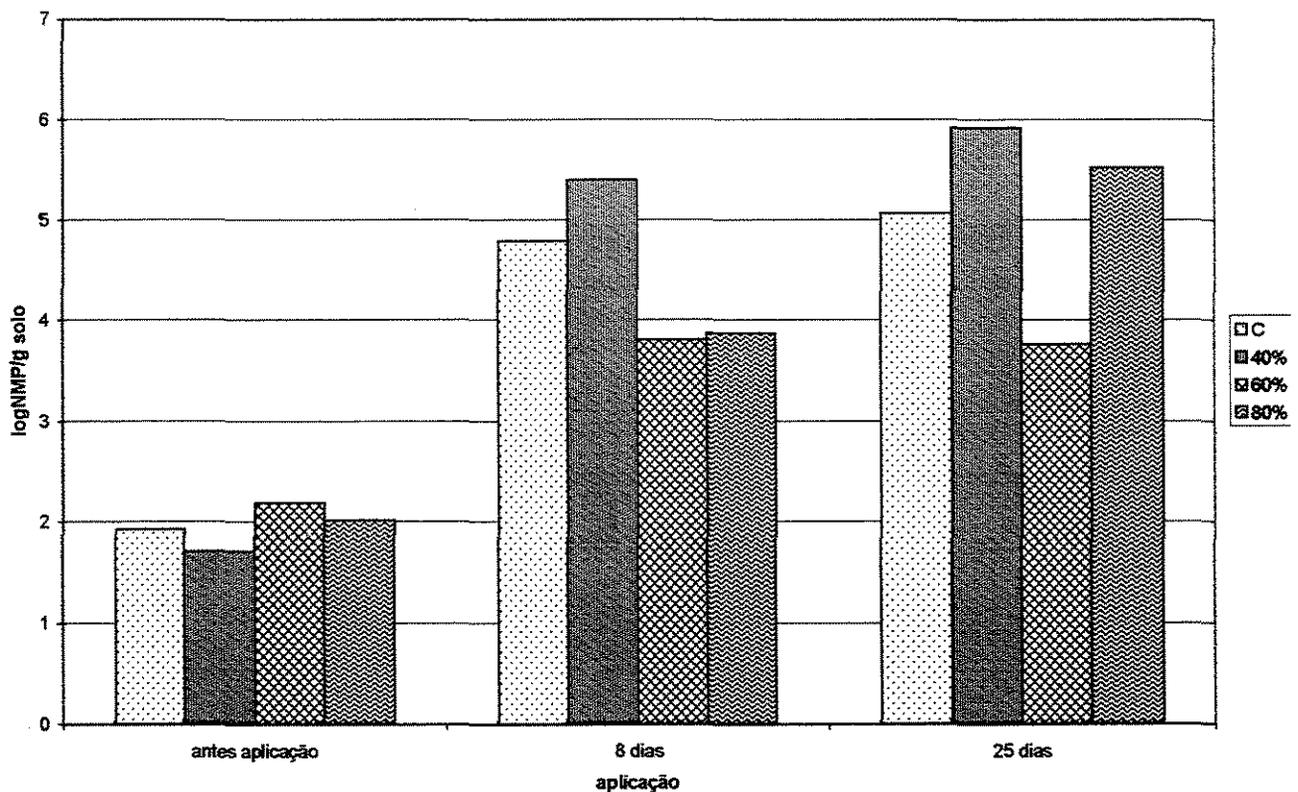


Lodo – $5,29 \times 10^6$ NMP/100mL

Figura 5.39 Valores de coliformes totais presentes no solo após 2ª aplicação de lodo

Antes da 2ª aplicação havia uma população remanescente no solo, proveniente da aplicação anterior de lodo. Esta população teve um aumento em relação ao último período de análise da aplicação anterior. As análises 8 dias após esta 2ª aplicação indicam que houve um aumento em todos os grupos, em decorrência também do lodo que tinha concentração elevada de coliformes totais.

Após 25 dias de aplicação as populações de coliformes totais continuavam na mesma faixa de concentração, havendo um aumento de 1 unidade logarítmica para o grupo controle, um pequeno aumento para os grupos 40 e 60% de sombreamento.



Lodo – $1,236 \times 10^6$ NMP/100mL

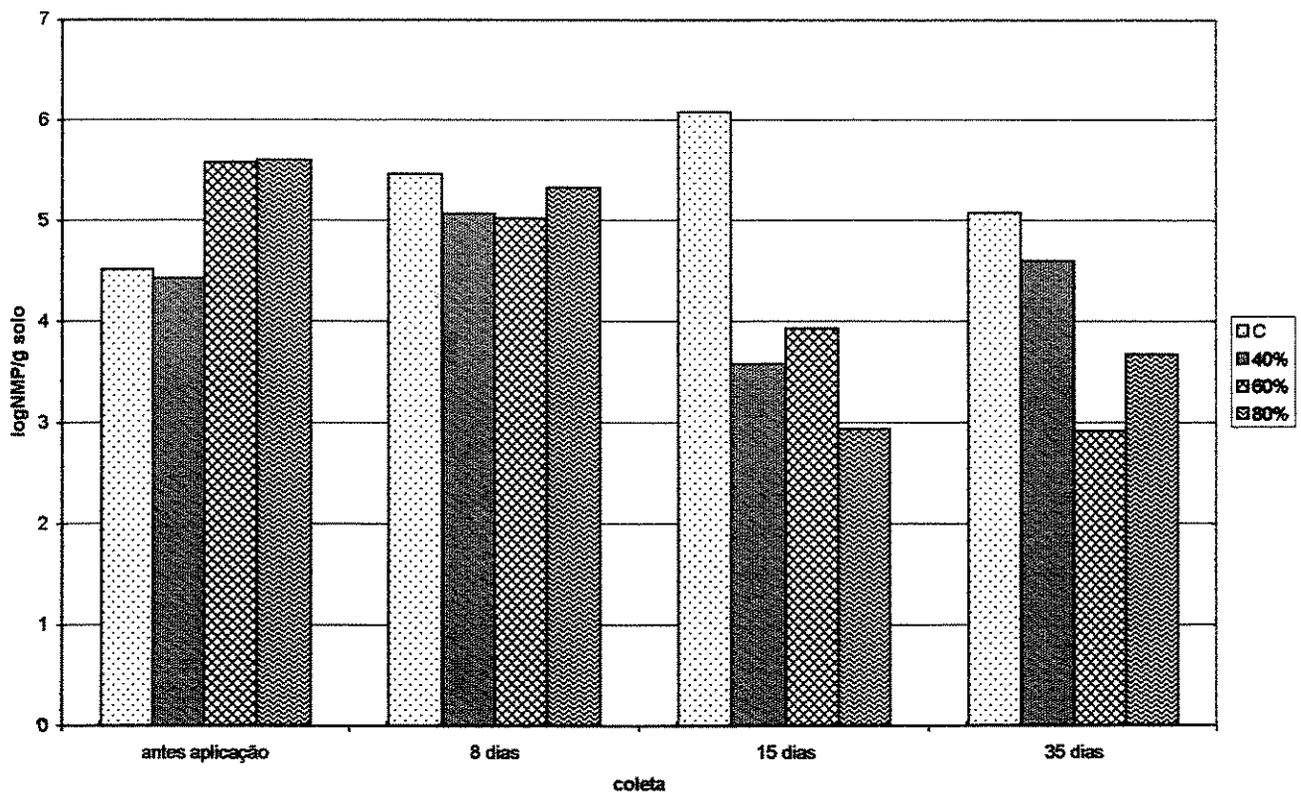
Figura 5.40 Valores de *E. coli* presentes no solo após 2ª aplicação de lodo

O lodo utilizado nesta aplicação apresentava alta concentração de *E. coli* o que fez que houvesse um grande aumento destes microrganismos no solo. Também havia presente uma população remanescente da aplicação anterior.

Nas análises realizadas 8 dias após aplicação do lodo a maior queda na concentração de *E coli* ocorreu nos grupos 60 e 80%, porém após 25 dias de aplicação houve no grupo 40% aumento de 1 unidade logarítmica e no 80% aumento de 2 unidades logarítmicas. As possíveis explicações para isto são: contaminação por animais, reparo do DNA pelos microrganismos, fotorreativação, ou erro amostral.

3ª Aplicação de lodo

Nesta aplicação foram realizados ensaios em intervalo de tempo maior que os anteriores. Os resultados para esta aplicação estão apresentados nas Figuras 5.41 e 5.42.

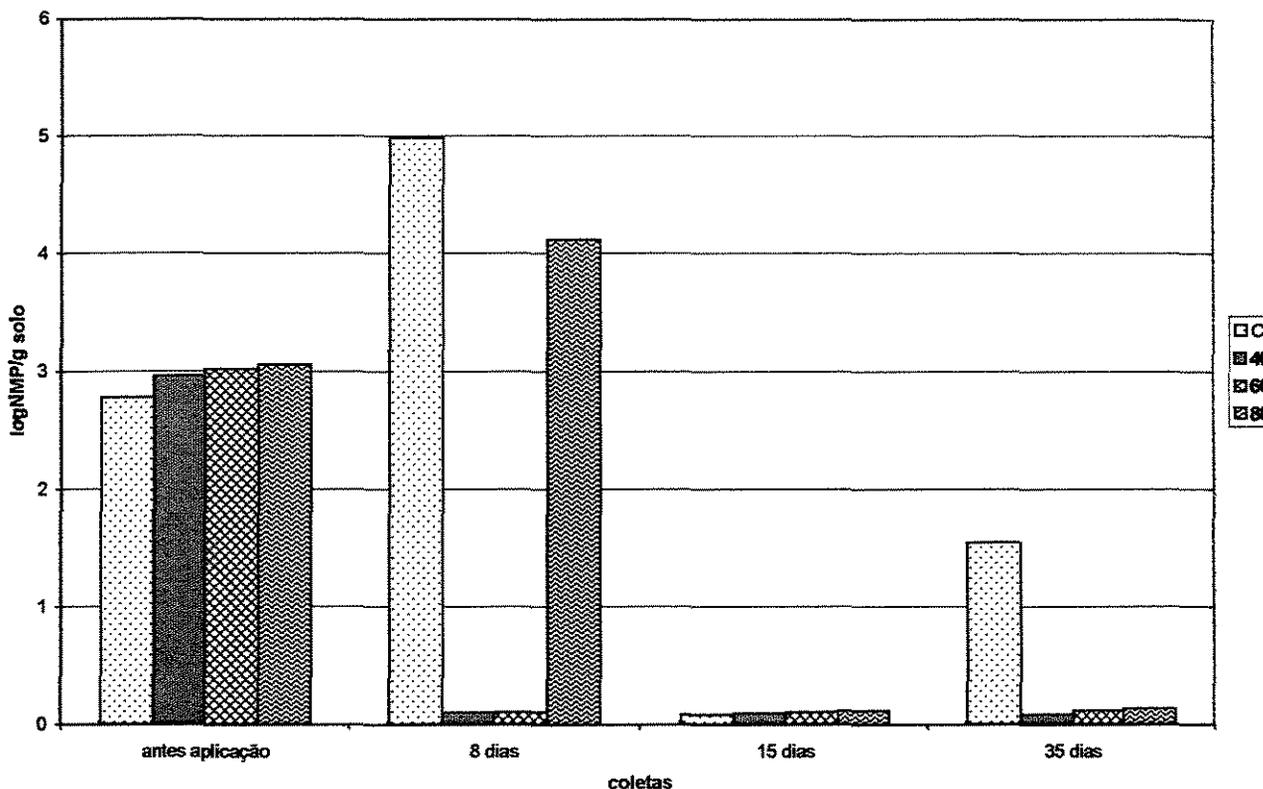


Lodo – $1,046 \times 10^6$ NMP/100mL

Figura 5.41 - Valores de Coliformes totais presentes no solo após 3ª aplicação de lodo

Antes desta aplicação havia uma população de coliformes totais em concentração elevada em todos os grupos, sendo que para os grupos 60 e 80% a concentração era 2 unidades logarítmicas a mais que o controle e 40%. O lodo também apresentou alta concentração de coliformes totais.

Após 8 dias de aplicação do lodo houve queda da concentração em todos os grupos, sendo que nos grupos 40 e 60% foi maior que os outros. Nas análises realizadas 25 dias após aplicação, no grupo controle houve aumento de 1 unidade logarítmica em relação a análise anterior, e em todos os outros grupos houve queda da concentração, sendo que a maior foi para o grupo 80% , com redução de quase 3 unidades logarítmicas. Este aumento do grupo controle reforça a questão de uma possível contaminação por animais. Para as análises realizadas com 35 dias após a aplicação, houve queda na concentração de coliformes totais para o grupo controle e 60%, já nos outros dois grupos, 40 e 80% houve aumento na incidência destes microrganismos.



Lodo – $4,6 \times 10^5$ NMP/100mL

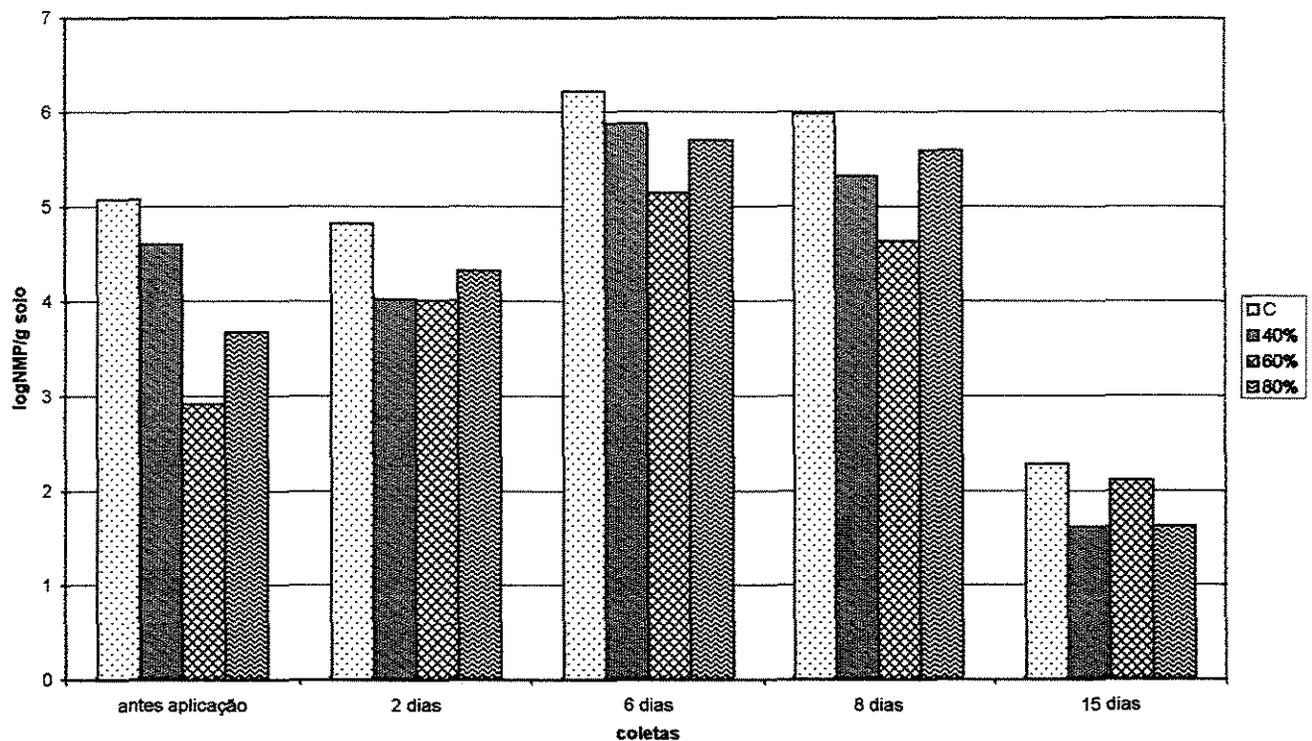
Figura 5.42 Valores de *E. coli* presentes no solo após 3ª aplicação

O lodo apresentava concentração elevada de *E. coli* e o solo também continha estes microrganismos, porém com pouca variação na concentração entre os grupos. Após 8 dias de aplicação, para os grupos 40 e 60% houve redução de *E. coli* para valores >1 NMP/100mg de solo e no controle e 80% houve aumento na concentração, sendo que no controle o aumento foi de 2 unidades logarítmicas e no grupo 80% uma unidade.

As análises realizadas 25 dias após aplicação apresentou redução da concentração de *E. coli* para níveis >1 NMP/100g de solo, indicando sua eliminação. Após 45 dias houve um aumento do número destes microrganismos no grupo controle, o que possivelmente indica algum tipo de contaminação no local do experimento.

4ª Aplicação de lodo

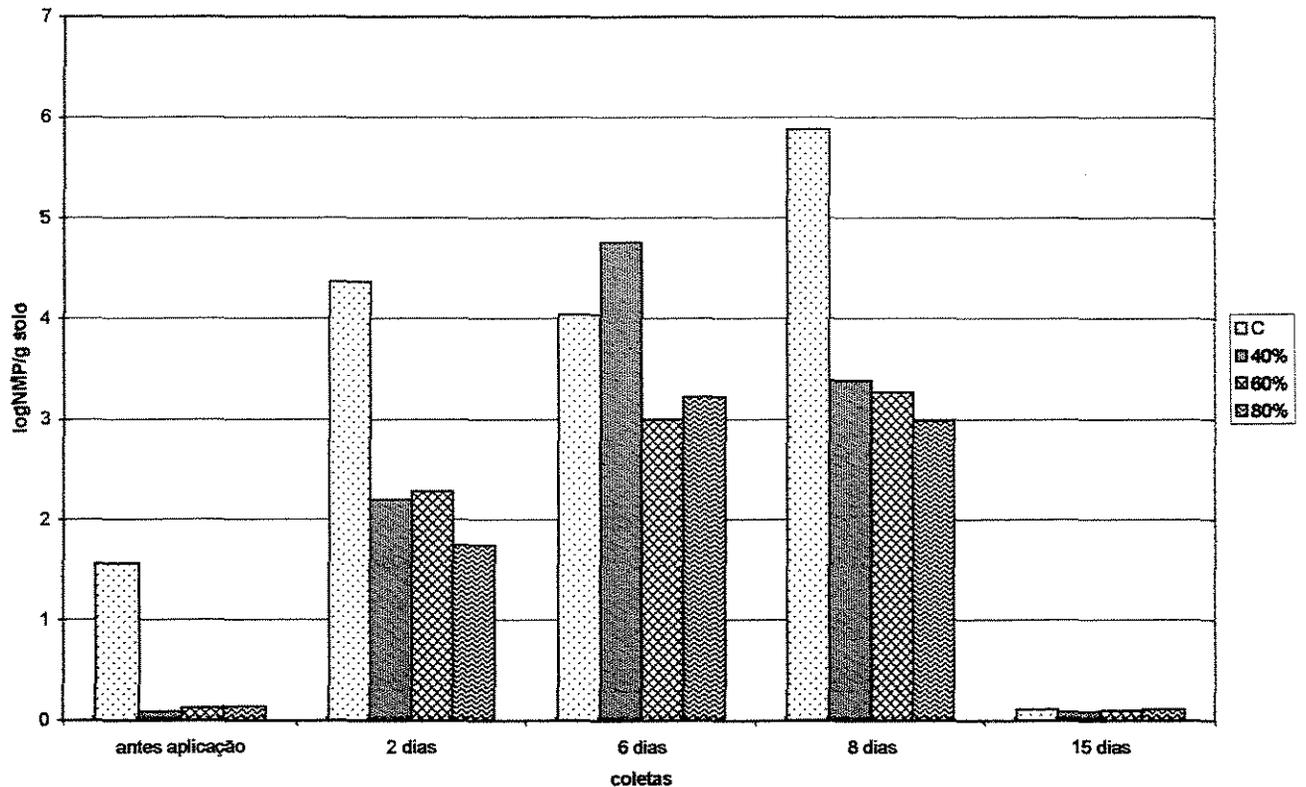
Nesta aplicação foi feito um monitoramento do decaimento dos coliformes totais e *E. coli* com intervalos de tempo menores entre as análises. Os resultados para esta aplicação estão apresentados nas Figuras 5.43 e 5.44.



Lodo – $1,48 \times 10^6$ NMP/100ml

Figura 5.43 Valores de coliformes totais presentes no solo

As populações de coliformes totais sofreram um decaimento ao longo de período de análise, no entanto vale ressaltar que o grupo controle foi o que apresentou maior número de coliformes totais durante todo o período, comparado com todos os grupos.



Lodo – $1,2 \times 10^4$ NMP/100mL

Figura 5.44 Valores de *E. coli* presentes no solo para a 4ª aplicação de lodo

Antes da aplicação do lodo, nos grupos 40, 60 e 80% os níveis de *E. coli* já estavam bastante reduzidos, menos para o grupo controle que teve um aumento nesta população. Nas análises realizadas 2 dias após aplicação, houve aumento da concentração de *E. coli* em todos os grupos, devido a concentração destes microrganismos presentes no lodo, sendo que no grupo controle este aumento foi maior.

Após 6 dias de análise houve aumento da *E. coli* em todos os grupos, sendo que no grupo 40% este aumento foi de 2 unidades logarítmicas em relação a coleta anterior. O grupo controle sofre uma pequena diminuição na concentração. No período de

análise 8 dias após aplicação, no grupo controle houve aumento dos microrganismos, e nos outros grupos houve queda, sendo mais acentuada no 40%.

Nesta aplicação foi possível observar que no período de 15 dias após aplicação do lodo no solo, a *E. coli* já sofre um decaimento bastante acentuado em todos os graus de sombreamento, o que indica que estes microrganismos não conseguem suportar as condições ambientais por longos períodos.

Para os coliformes totais os resultados apresentaram uma tendência oposta em relação ao esperado, com mais microrganismos no grupo controle que no sombreamento de 80%. Para *E.coli* o grupo com sombreamento 60% apresentou maior índice de microrganismos.

Estes resultados sugerem que quanto maior o índice de sombreamento, maior a sobrevivência dos microrganismos coliformes totais e *E. coli*. Porém foi possível observar que o grupo controle, em que se esperava encontrar um menor número de microrganismos, pois estes estavam diretamente exposto à radiação solar, apresentaram um alto índice destes. A explicação para este fato é a contribuição das fezes de pássaros que foram observados no local e que também contribuem com estes microrganismos. A contaminação por agentes externos, no caso, outros animais também foi observada por CAMPOS (2002).

Outro ponto que deve ser considerado é a capacidade que os coliformes totais e *E. coli* tem de reparar o DNA utilizando a luz solar e provocando um aumento das populações. Também é preciso considerar que sempre há uma população remanescente da aplicação anterior de lodo e que contribui para o aumento dos índices destes microrganismos no solo.

A partir da 3ª aplicação de lodo é possível notar uma tendência de eliminação da *E. coli* a partir de 15 dias após aplicação do lodo em todos os grupos estudados.. A combinação da luz solar, no comprimento ultra-violeta, a temperatura e umidade tem influência direta na sobrevivência destes microrganismos no solo.

Nem sempre foi observado um decaimento dos microrganismos de acordo com a diminuição do nível de sombreamento. Em alguns casos, o grupo de sombreamento 60% apresentou redução maior que o grupo 40%, quando era de se esperar efeito oposto.

Em relação aos helmintos e protozoários, estes foram detectados em baixas concentrações em todos os grupos de sombreamento e controle. Os protozoários são mais suscetíveis à exposição a radiação ultravioleta do que os ovos de helmintos, que possuem uma cutícula espessa que favorece sua proteção.

Este método de desinfecção por luz solar tem sido bastante estudado, principalmente em amostras de água. No entanto, sua eficácia também pode ser comprovada em efluentes de esgoto doméstico, lodos e em lagoas de estabilização. Esta forma de desinfecção aproveita um potencial natural de altas temperaturas durante longos períodos é um método de baixo custo, podendo ser utilizado com sucesso.

5.7 Testes de comparação de metodologias para determinação de cistos e ovos

Nesta etapa da pesquisa foram comparados 4 métodos diferentes para verificar qual recuperava maior número de ovos e cistos, sem destruí-los ou mesmo alterá-los. Foram feitas 5 repetições para cada método e os resultados estão apresentados a seguir nas Tabelas 5.13 e 5.14.

Tabela 5.13 – Resultados obtidos para os 4 métodos empregados para análise de efluente líquido(média de 5 repetições)

Método	Número de ovos e cistos/100ml de amostra
Método de Hoffman	125
Método de Faust (33%)	133
Método de Wills (modificado)	140
Método de Yanko	99

Tabela 5.14– Resultados obtidos para os 4 métodos empregados para análise de solo (média de 5 repetições)

Método	Número de ovos e cistos/100g de amostra
Método de Hoffman	29
Método de Faust (33%)	32
Método de Wills (modificado)	35
Método de Yanko	22

Os resultados obtidos indicam os Métodos de Faust e o de Wills modificado como os mais eficientes na recuperação dos ovos e cistos. O método de Yanko é que apresenta maior dificuldade na identificação dos cistos de protozoários.

Com relação a facilidade de leitura da lâmina, os métodos de Faust e Wills são os que apresentam maior vantagem, pois não há sedimento, o que facilita a leitura da lâmina. No método de Hoffman há muito sedimento que acaba dificultando a leitura da e até mesmo, em alguns casos atrapalhando a correta identificação dos ovos e cistos.

Na pesquisa o método utilizado para as amostras de solo e lodo foi o método de Yanko, que apesar de poder causar algumas distorções é o recomendado pela EPA e SANEPAR. Para a análise do líquido percolado o método utilizado foi o de Faust 33%.

A padronização de uma metodologia eficiente para a recuperação de ovos e cistos é necessária para facilitar a comparação de resultados e obtenção de maiores índices de recuperação dos patógenos, pois este continua sendo um grande problema das metodologias empregadas em análises deste tipo.

5.8 Dificuldades encontradas na pesquisa

A principal dificuldade encontrada durante a pesquisa foi em relação ao funcionamento da ETE, que em alguns períodos apresentou problemas de operação. Na fase final do projeto a ETE teve um problema sério e deixou de funcionar normalmente,

não permitindo mais que a coleta de lodo pudesse ser feita, devido a quebra da bomba de retorno do lodo. Este fato fez com que o projeto tivesse um atraso em algumas aplicações de lodo, no caso o período entre a 19ª e 20ª aplicação de lodo não foi de 42 dias, conforme o especificado em toda pesquisa, mas de 5 meses.

Este problema ocorreu na fase final do projeto, que desta maneira não foi seriamente prejudicado pois já havia uma grande quantidade de resultados e o projeto já estava sendo encerrado. Se tivesse ocorrido problemas de coleta de lodo no início da pesquisa, esta com certeza ficaria prejudicada e todo o projeto teria que ser modificado em virtude de tal acontecimento, ou se fosse dada uma continuidade imediata nesta pesquisa, seria necessário mudar a ETE em que se trabalhava.

A falta de manutenção nas ETE's, quebra de equipamentos como bombas e a demora em realizar consertos nos equipamentos danificados, faz com que o ambiente seja prejudicado, pois o esgoto que chega nesta estação acaba não sendo adequadamente tratado e acaba despejado no corpo receptor aumentando índices de poluição, além de causar problemas com as populações vizinhas devidos aos mau odores gerados.

Outro ponto a ser considerado é que em estações menores e mais antigas, nem sempre há um controle de todos os parâmetros de qualidade do efluente final que está sendo descartado, que recebe adição de cal e já é lançado sem uma análise microbiológica adequada para verificar se há risco de contaminação pela presença de patógenos.

Uma outra questão é que muitas vezes os dados fornecidos pelas estações em relação a vazão de esgoto tratado nem sempre são confiáveis, como por exemplo os dados que nos foram fornecido, que era de uma vazão muito menor em relação a população equivalente cujo esgoto era tratado. É preciso verificar o mais corretamente estes dados para não gerar distorções em relação aos resultados obtidos.

Como já foi mencionado anteriormente, o lodo apresentou uma grande variação em relação à presença dos patógenos, sendo que em alguns meses foi detectada uma grande quantidade (320 patógenos/L) e em outros houve baixa detecção. A resposta para

esta questão pode estar na sazonalidade da parasitose, mas também na própria ETE, que por algum motivo apresentava problemas passageiros em seu funcionamento, que não chegaram a interromper a pesquisa e prejudicá-la.

No caso de pesquisas como esta, em que é necessário haver uma periodicidade na coleta do lodo é preciso trabalhar com uma estação em que isto possa estar garantido para não comprometer os resultados. Além disto é preciso verificar se existem alternativas de substituição do lodo, ou efluente, no caso de problemas que ocorram no final do projeto com a ETE, ocorram no início ou meio da pesquisa.

No planejamento da pesquisa sempre é necessário estar prevista esta alternativa, seja de tipo de efluente, ETE ou até mesmo número e periodicidade de coletas a serem realizadas, para adequar a parte experimental à realidade da operação e funcionamento das estações, que nem sempre ocorrem de acordo com o previstos e necessidades do projeto e pesquisador.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos durante a aplicação de lodo no solo, pode-se concluir:

- O lodo utilizado no projeto apresentou elevados índices de patógenos, devendo ser classificado como Classe B, na qual o uso é mais restritivo, por conter maior número de patógenos. Este lodo não poderia ser usado em pastagens, culturas agrícola e locais com acesso público, por um tempo suficiente para eliminar estes organismos;
- Nas três doses de aplicação de lodo utilizadas, houve detecção de patógenos no lodo, sendo possível estabelecer que quanto maior a dose, maior o número de organismos detectados;
- Os patógenos concentram-se na camada superior do solo – 0-20cm, não sendo detectados nas mais profundas camadas. Pode-se concluir que não haveria riscos de contaminação de lençol freático, justamente por conta desta distribuição superficial;
- O fato de permanecerem na camada superior pode contribuir para a destruição dos ovos e cistos, pelo efeito da exposição direta à radiação solar;
- A análise do líquido percolado não detectou patógenos, com exceção de duas coletas, em que estes foram detectados na profundidade de 25cm. Este fato pode ter ocorrido pela ação mecânica, de por exemplo a água de chuva;
- O lodo deve ser higienizado antes de sua utilização para garantir a segurança do homem e ambiente;
- Pelos resultados obtidos a dose 2,5TSS/ha é a que apresenta menos risco

de contaminação porém há necessidade de um tempo de espera de 10 meses para que os patógenos possam ser eliminados e o solo utilizado sem riscos;

- A calagem é um processo eficaz na redução dos patógenos e pode ser utilizada antes da aplicação do lodo no solo;
- Nos experimentos realizados com diferentes dosagens de cal ficou constatado que quanto maior a dosagem de cal utilizada, menor o tempo de contato para eliminar os patógenos, para dosagem 50% os patógenos foram eliminados num período de 15 dias;
- Foi possível concluir que o tempo de exposição a radiação UV é importante no processo de desinfecção, pois notou-se que houve uma diminuição das populações no período de 15-30 dias após aplicação do lodo no solo;
- Em alguns casos, houve um aumento das populações com o passar do tempo, e neste caso pode estar ocorrendo mecanismos de reparação do DNA das bactérias afetadas pela luz UV, o que faz com que as populações aumentem;
- Para os helmintos e protozoários, quanto maior o grau de sombreamento maior a sua ocorrência, o que indica que estes também são protegidos pela sombra;
- Para a *E coli*, o tempo de 15 dias parece ser suficiente para sua eliminação a níveis bastante reduzidos;
- Os métodos de análise que apresentaram melhores resultados na recuperação de ovos e cistos, bem como facilidade de leitura foram Método de Faust (33%) e Método de Wills modificado; e,
- Como conclusão final do trabalho e baseado nos resultados das outras pesquisas que compunham o projeto, a dose de aplicação recomendada é a de 2,5TSS/ha a cada 40 dias, para garantir que não haverá riscos de contaminação pela presença de patógenos e percolação de nitrato no perfil do solo e líquido infiltrado no solo.

7. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados encontrados seguem as seguintes sugestões:

- Elaborar séries de protótipos para aplicação de lodo e séries em que não sejam feitas reaplicações para que possam ser determinados se o resultados das análises referem-se a determinada aplicação, ou se está havendo um acúmulo destes organismos no solo, ao longo das aplicações de lodo;
- Tratar lodo provenientes de diferentes tecnologias para comparação dos resultados;
- Fazer aplicação de lodo desidratado a fim de obter melhor comparação com resultados encontrados na literatura;
- Em testes de interferência de sombreamento, procurar evitar contato dos animais com experimento aberto, para não comprometer os resultados; e,
- Realizar estudo de fotorreativação para determinar o reparo de DNA nos microrganismos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Norma nº 01: 603.06 – 007. **Determinação da biodegradação em solos-Método respirômetro**. Janeiro 1993.

AHMAD,R.A., LEE,E., TAN,I.T.L., MOHAMAD-KAMEL,A.G. Occurrence of *Giardia* Cysts and *Cryptosporidium* Oocysts in Raw and Treated Water fom Two Water Treatment Plants in SELANGOR, Malaysia. **Water Research**, v.31, n.12, p.3121-3136. 1997.

AMAHMID,O. ASMAMA,S., BOUHOUM,K. The effect of waste water reuse in irrigation on the contamination level of crops by *Giardia* cysts and *Ascaris* eggs. **International Journal of Food Microbiology**, n. 49, p.19-26, 1999.

ANDREOLI, C. V., BONNET, B. R. P., LARA A. I., WOLTER, F. R. Proposição de plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Estado do Paraná, **19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES**, p. 233-244. 1997.

ANDREOLI, C. V. & BONNET, B. R. P. **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**, SANEPAR e PROSAB, Curitiba – 1998. 80 p..

ANDREOLI, C.V.; BONNET,B.R.P.; LARA,A.I.; WOLTER,F.R. Proposição de plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo de esgoto no estado do Paraná. **Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 1999.

AYRES, R., MARA, D. Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques. WHO, Geneva, 1996.

AWWA - APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 19^a Ed. Washington, 1995. 1325 p..

BAXBY, D.; BLUNDELL, N.; HART, C.A.. The development and performance of a Simple, Sensitive Method for the detection of *Cryptosporidium* oocysts in faeces. **Journal Hyg. Camb.** v.92, p.313-323. 1984.

BERNARDES, R.S.; CAIXETA, D.M.; MORAES, L.R.C. Desinfecção de água por exposição à luz solar. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.4, n.1, Jan/Mar e n.2, Abr/Jun. 1999.

BERTOLUCCI, G.C., GILLI, G., CARRARO, E., GIACOSA, D., PUPPO, M. Influence of Raw Water Storage on *Giardia*, *Cryptosporidium* and Nematodes. **Water Science and Technology**, v.37, n.2, p.261-267. 1998.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. EMBRAPA Meio Ambiente, Cap. 11: Lixiviação de N inorgânico e Toxicidade de Metais Pesados, p.203-207. Jaguariúna, SP, 2000.

BLUMENTHAL, U.J., MARA, D.D., AYRES, R.M., CIFUENTES, E., PEASEY, A., STOTT, R., LEE, D.L., RUIZ-PALACIOS, G. Evaluation of the WHO Nematode Egg Guidelines for Restricted and Unrestricted Irrigation. **Water Science and Technology**, v.33, n.10-11, p.277-286, 1996.

BUKHARI, Z., SMITH, H.V. Effect of Three Concentration Techniques on Viability of *Cryptosporidium parvum* Oocysts Recovered from Bovine Feces. **Journal of Clinical Microbiology**, v.33, n.10, p.2592-2595. Oct. 1995.

BURCH, J.D.; THOMAS, K.E. Water Disinfection for Developing Countries and Potential for Solar Thermal Pasteurization. **Solar Energy**, v.64, n.1-3, p.87-97. 1999.

CAMPOS, J.R. **Alternativas para Tratamento de Esgotos – Pré-Tratamento de Águas para Abastecimento**. Publicação nº 9. Americana: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, 1994.

CAMPOS, J.R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processos Anaeróbios e disposição controlada no solo**. Projeto PROSAB, 464p. Rio de Janeiro, 1999

CAMPOS, A.F. . **Aplicação de lodo líquido de esgoto sanitário no solo: determinação de coliformes totais e fecais**. 107 p. Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002..

CAPIZZI, S., CHEVALLIER, A. , SCHWARTZBROD, J. Destruction of *Ascaris ova* by accelerated electron. **Radiation Physics and Chemistry**, n.56,p.591-596. 1999.

CASEMORE, D.P. The Epidemiology of Human Cryptosporidiosis and the Water Route of Infection. **Water Science and Technology**, v.24, n.2, p.157-164. 1993.

CETESB, **Helmintos e protozoários patogênicos – contagem de ovos e cistos em amostras ambientais - Método de Ensaio**. L5.550.19p. São Paulo, 1989.

CETESB, **Aplicação do lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação (Manual Técnico)**. Norma P 4 230, 32 p. São Paulo, 1999

CHERUBINI, C.; FERREIRA, A.C.; TELES, C.R.; ANDREOLI, C.V. Avaliação de parâmetros para desinfecção e secagem de lodo de esgoto através da temperatura. **Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento**. Vitória ES. 2000.

CONROY, M.R., MEEGAN, M.E., JOYCE, T., MCGUIGAN, K.G., BARNES, J. Solar Disinfection of Drinking Water and Diarrhoea in Maasai Children: a Controlled Field Trial. **The Lancet**, v.348, p.1695 – 1697. 1996.

CORAUCCI FILHO, B. **Relatório técnico do período 1999 - 2000**. CNPq-PQ.

DAVIES-COLLEY,R.J.;DONNISON,A.M.;SPEED,D.J.;ROSS,C.M.;NAGELS,J.W.
Inactivation of faecal indicator microorganisms in Waste Stabilization Ponds: Interactions
of Environmental Factors with Sunlight, **Water Research**,v.33,n.5,p.1220-1230. 1999.

FALK,C.C., KARANIS,P., SCHOENEN,D., SEITZ,H.M.. Bench Scale Experiments for the
Evaluation of a Membrane Method for the Recovery Efficiency of *Giardia* and
Cryptosporidium from Water. **Water Research**,v.32, n.3, p.565-568. 1998.

FAYER, R., MORGAN,U., UPTON,S.J. Epidemiology of Cryptosporidium: transmission,
detection and identification. **International Journal for Parasitology**, n. 30, p.1305-1322.
2000.

FEACHEM,R.G., BRADLEY,D.H., GARELICK,H., MARA,D.D. **Sanitation and Disease
Health Aspects of Excreta and Wastewater Management**. 1ª ed.. New York: John Wiley
and Sons, 1983. 501p.

FERNANDES, F., ANDRAUS, S., ANDREOLI, C. V., BONNET, B. R. P., BORGES, J. C.,
CANTO, L. A, MEDEIROS, M. L. B. Eficiência dos Processos de desinfecção do lodo da
ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. **Revista Técnica da SANEPAR - SANARE**, v.
5, n. 5, p. 46-58, 1996.

FERNANDES, F. **Estabilização e Higienização de Biossólidos** IN: BETTIOL, W;
CAMARGO, O. A. : Impacto Ambiental do uso Agrícola do lodo de esgoto. Cap.6, p. 143-
151, Jaguariúna, SP. EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

FOESS, G. W., SIEGER, R. B. Pathogen/vector attraction reduction requirements of the
sludge rules. **Water Engineering & Management**, p. 25-26. June,1993.

FRANCO-HERNADEZ,º, MCKELLIGAN-GONZALLEZ,A.N., LOPEZ-OLGUIN,A.M.,
ESPINOSA-CERON,F., ESCAMILLA-SILVA,E., DENDOOVEN,L. Dynamics of carbon,

nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. **Bioresource Technology**, n. 87, p.93-102. 2003.

GALE,P. Using event trees to quantify pathogen levels on root crops from land application of treated sewage sludge. *Journal of Applied Microbiology*, n.94, p.35-47. 2003.

GASPARD,P.G., SCHWARTZBROD,J. Helminth Eggs in Wastewater: Quantification Technique. **Water Science and Technology**,v.31, n.5-6, p.443-446, 1995.

GASSMANN,L., SCHWARTZBROD,J. Wastewater and *Giardia* Cysts. **Water Science and Technology**, v.24, n.24,p.183-186. 1991.

GAVAGNHAN,P.D., SYKORA,J.L., JAKUBOWSKI,W., SORBER,C.A., SNINSKY,A.M., LICHTER,M.D., KELETI,G. Inactivation of *Giardia* by Anaerobic Digestion of Sludge. **Water Science and Technology**, v.27, n.3-4, p.111-114. 1993

GIBBS,R.A., HU,C.J., HO,G.E., PHILLIPS,P.A., UNKOVICH,I. Pathogen Die-Off in Stored Wastewater Sludge. **Water Science and Technology**, v.31, n.5-6, p.91-95. 1995.

GILMOUR,R.A., SMITH,H.V., SMITH,P.G., MORRIS, G.P., GIRDWOOD,W.A. The Occurrence and Viability of *Giardia* spp Cysts in UK Waters. **Water Science and Technology**, v.24, n.2, p.179-182. 1991

GONDIM,J.C.C. Valos de oxidação aplicados a esgotos domésticos. São Paulo, CETESB, 1976.137p.

HAYS, B. D. Potential for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludge. **Water Research**, vol. 11, p.583-595. 1977.

HELMER,R., HESPANHOL,I., SALIBA,L.J. Public Health Criteria for the Aquatic Environment: Recent WHO Guidelines and Their Application. **Water Science and Technology**, v.24, n.2, p.35-42. 1991.

HEMPHILL, B. Rules and Options for Sludge Disposal. **Water, Engineering & Management**, Feb. p.24-26. 1992.

HO, B.S.W., TAM, T.Y., PRIMROSE, H., YAM, W.C. Detection and Enumeration of *Giardia* Cysts in River Waters of Hong Kong by Flocculation-Percoll/Sucrose Gradient Immunofluorescence Method. **Water Science and Technology**, v.31, n.5-6, p.431-434. 1995.

HOLMAN, B., FROST, F., PLAN, B., FUKUTAKI, K., JAKUBOWSKI, W. Recovery of *Giardia* Cysts from Water- Centrifugation vs Filtration. **Water Research**, v.17, n.11, p.1705-1707. 1983.

HU, C.J., GIBBS, R.A., MORT, N.R., HOFSTEDE, H.T., HO, G.E., UNKOVICH, I. *Giardia* and its Implications for Sludge Disposal. **Water Science and Technology**, v.34, n.7-8, p.179-186. 1996.

JOHNSON, P.W., DIXON, R., ROSS, A.D. An In-Vitro Test for Assessing the Viability of *Ascaris suum* Eggs Exposed to Various Sewage Treatment Processes. **International Journal of Parasitology**, v.28, p.627-633. 1998.

KARANIS, P., SCHOENEN, D., SEITZ, H.M. Distribution and Removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in Water Supplies in Germany. **Water Science and Technology**, v.37, n.2, p.9-18. 1998.

KFIR, R., HILNER, C., du PREEZ, M., BATEMAN, B. Studies Evaluating the Applicability of Utilising the Same Concentration Techniques for the Detection of Protozoan Parasites and Viruses in Water. **Water Science and Technology**, v.31, n.5-6, p.417-423. 1995.

LIU, D. The Effect of Sewage Land Disposal on the Microbiological Quality of Groundwater. **Water Research**, v.16, p.957-961. 1982.

LUDOVICE, M.T.F. Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático. Campinas, 1997. 78p. Tese (mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

MACHADO, M.F.S. **A Situação Brasileira dos Biossólidos**. Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

MATHEWS, P. J. Sewage sludge disposal in the UK: A new challenge for the next twenty years. **Water and environmental management**, v. 6 October, p. 551 – 559. 1992.

METCALF, L. & EDDY, H. P. **Wastewater Engineering; Treatment Disposal and Reuse**, 3ª ed. Tchobanoglous, G., Singapore, Mc Graw Hill, 1991. 1334 p..

MIKI, M.K; ANDRIGUETI, E.J; ALEM SOBRINHO, P. **Tratamento da fase sólida em Estações de Tratamento de esgoto**. cap.3 IN: TSUTIYA, M.T. et alí, Biossólidos na Agricultura, 1ª ed. São Paulo: SABESP, 2001.

MODIFI, A.A., MEYER, E.A., WALLIS, P.M., CHOU, C.I., MEYER, B.P., RAMALINGAM, S., COFFEY, B.M. The effect of UV light on the inactivation of *Giardia lamblia* and *Giardia muris* cysts as determined by animal infectivity assay (P-2952-01). **Water Research**, n. 36, p.2098-2108. 2002.

NASCIMENTO, P.M. **Avaliação da Contaminação da Água subterrânea por Nitrato e Fósforo após Aplicações de Lodo Líquido de Esgoto Doméstico no Solo**. Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

NUVOLARI, A. **Aplicação de Lodo de Esgotos Municipais no Solo: Ensaio de Respirimetria para Avaliar a Estabilidade do Solo**. Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1996.

ODA,T., SAKAGAMI,M., ITO,H., YANO,H., RAI,S.K., KAWABATA,M., UGA,S. Size lelective continuous flow filtration method for detection of Cryptosporidium and Giardia. **Water Research**, n.18, p.4477-4481. 2000.

OATES, P.M., SHANAHAN, P., POLZ, M.F. Solar Disinfection (SODIS): Simulation of Solar Radiation for Global Assessment and Aplication for Point – of – Use Water Treatment in Haiti. **Water Research**, v.37, n. , p.47 – 54, 2003.

PASSAMANI,F.R.F.; MOTTA, J.S.; FIGUEIREDO,K.F.; GONÇALVES,R.F. Pasteurização do lodo de um reator UASB na remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos. **Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento. Vitória ES. 2000.**

PILLAI,S.D., WIDMER,K.W., DOWD,S.E., RICKE,S.C. Occurrence of Airborn Bacteria and Pathogen Indicators During Land Application of Sewage Sludge. **Applied and Environmental Microbiology**,v. 62, n.1, p.196-199. 1996.

PROSAB; Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. Rio de Janeiro; ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. 4^a ed. Campinas; Fundação CARGILL, 1985. 466 p..

SAITH,T.S., EL-GHETANY,H.H. A pilot solar water disinfection system: performance analysis and testing. **Solar Energy**, v.72, n.3, p.261-269. 2002.

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba - PR, 2000. 96 p..

SANIN,F.D., VESIIND,P.A., MARTEL,C.J. Pathogen Reduction Capabilities of Freeze/Thaw sludge Conditioning. **Water Research**,v.28, n.11, p.2393-2398. 1994.

SANTOS, H. F. & TSUTIYA, M. T. Aproveitamento e Disposição Final de Lodo de Estações de Tratamento do Estado de São Paulo. **Revista Engenharia Ambiental**, Vol. 2 N° 2, p. 70-81. Abr/Jun, 1997.

SEMENAS,L., BRUGNI,N., VIOZZI,G., KREITER,A. Monitoreo de parásitos en efluentes domiciliarios. **Recista de saúde Pública**, v.33, n.4, p.379-384. 1999.

SMITH,H.V., McDIARMID,A., SMITH,A.L., HINSON,A.R., GILMOUR,R.A.,An Analysis of Staining Methods for the Detection of *Cryptosporidium* spp in Water-related samples. **Parasitology**, 99, p.323-327. 1989.

SPENCER,F.M.; MONROE,L. **The Color Atlas of Intestinal Parasites**. 3 ed. 1968.

STOLL, U.; PRAMESWARAN, K. **Treatmente and Disposal of Domestic Sewage Sludge and Nightsoil Sludge for Bangkok**. *Water Science and Technology*, v.34, n.11, p. 209-217, Bangkok – Tailândia, 1996.

TELES,C.R.; FERREIRA,A.C.; CHERUBINI,C.; BERNET,P.M.; FAVARIN,F.; CASTRO,L.A.R; ANDREOLI,C.V. Operacionalização das alternativas de desinfecção e secagem do lodo digerido anaerobicamente. **Anais do I Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento**. Vitória ES. 2000.

TEUNIS.P.F.M., MEDEMA,G.J., KRUIDENIER,L., HAVELAARA,H. Assessment of the Risk of Infection by *Cryptosporidium* or *Giardia* in Drinking Water from a Surface Water Source. **Water Research**, v.31, n.6, p.1333-1346. 1997.

THIRIAT,L., BIGOT,V., SCHWARTZBROD,J. Evaluation of a Procedure for Detection of Viable *Giardia* Cysts in Wastewater Sludge. **Water Science and Technology**, v.35, n.11-12, p.377-380. 1997.

TSUTIYA,M.T; **Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto**. IN: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. : Impacto Ambiental do uso Agrícola do lodo de esgoto. Cap.6, p. 143-151, Jaguariúna, SP. EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

TSUTIYA,M.T.; COMPARINI,J.B.; ALEM SOBRINHO,P.; HESPANHOL,I.; CARVALHO,P.C.T.; MELFI,A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O .; **Biossólidos na Agricultura**. 1ª ed. SABESP, 468 p. São Paulo, 2001

USEPA - Environmental Protection Agency - **Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge**. Environmental Regulations and Technology- EPA/625/R-92/013. Dec. 1992.

USEPA - Environmental Protection Agency - **Preliminary Risk Assessment for Pathogens in Landfilled Municipal Sewage Sludge**. EPA/600/R-94/110. Sep. 1993.

USEPA., Environmental Protection Agency - **Biosolids Generation, Use and Disposal in the United States**. EPA 530-R-99-009, Washington, D.C., Setembro, 1999.

USEPA., Environmental Protection Agency – **Biosolids Management and Enforcement**. Office of Inspector General – Audit Report. March 2000.

WEGELIN, M, CANONICA,S., MECHSNER,K., TLEISCHMANN,T. PASSARO,F., METZLER,^a, Solar Water Disinfection: scope of the process and analysis of radiation. **J. Water Supply Res. Technol – Aqua**, 43. 154-169. 1994.

WHITBY, G.E., PALMATEER, G. The effects of UV transmission, suspended solids and photoreactivation on microorganism in wastewater treated with UV light. **Water Science Technology**. v.27, n.3-4, p. 379-385, 1993.

WÜZER,M., WIEDENMAMM,M., BOTZENHART,K., Microbiological Quality of Residues from Drinking Water Preparation. **Water Science and Technology**, v.31, n.5-6, p.75-79. 1995.

ZIMMER,J.L., SLAWSON,R.M., HUCK,P.M. Inactivation and potencial repair of *Cryptosporidium parvum* following low-and medium-pressure ultraviolet irradiation. **Water Research**. V.37, p.3517-3523. 2003.

