

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

**APLICAÇÃO DE LODO LÍQUIDO DE ESGOTO SANITÁRIO
NO SOLO: DETERMINAÇÃO DE COLIFORMES
TOTAIS E FECAIS**

Andréia Ferraz de Campos

**Campinas, SP
2002**

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

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

**APLICAÇÃO DE LODO LÍQUIDO DE ESGOTO SANITÁRIO
NO SOLO: DETERMINAÇÃO DE COLIFORMES
TOTAIS E FECAIS**

Andréia Ferraz de Campos

Orientador: Bruno Coraucci Filho

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação.

Prof. Dr. _____

Matrícula: _____

Bruno 11/12/02

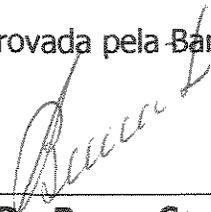
**Campinas, SP
2002**

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

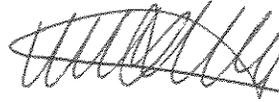
**APLICAÇÃO DE LODO LÍQUIDO DE ESGOTO SANITÁRIO
NO SOLO: DETERMINAÇÃO DE COLIFORMES
TOTAIS E FECAIS**

Andréia Ferraz de Campos

Dissertação de Mestrado 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. Marco Antônio Almeida de Souza
Universidade de Brasília - UNB

Campinas, 28 de junho de 2002

*Ao
meu marido Ricardo
e aos meus pais José Roberto e Vera.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho pela orientação e sugestões durante a realização do trabalho.

À Bio-Brasil Limpeza Biológica Ltda por todo apoio e incentivo durante a realização deste trabalho.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP pela colaboração.

Aos funcionários, alunos e amigos dos Laboratórios de Saneamento e Microbiologia da Faculdade de Engenharia Civil e do Centro Superior de Tecnologia CESET - UNICAMP, que auxiliaram na parte experimental do trabalho.

À aluna Cristiane Campos pelo auxílio e dedicação durante a fase experimental do trabalho.

Às amigas de projeto Patrícia e Marta pelo auxílio e companheirismo em tudo.

À toda minha família e amigos pelo apoio, incentivo e carinho nesta fase.

Em especial ao meu marido, Ricardo, por toda força, compreensão e carinho.

À Deus que sempre me direciona em tudo que faço.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
RESUMO	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 TRATAMENTO DE ESGOTO E GERAÇÃO DE LODO	5
3.2 DIFERENTES FORMAS DE DISPOSIÇÃO DE LODO	8
3.3 TRATAMENTO DO LODO	9
3.4 DISPOSIÇÃO DO LODO NO SOLO	10
3.4.1 Microbiologia do Solo	14
3.5 PATOGENICIDADE DO LODO	15
3.5.1 Grupo Coliformes	19
3.6 LEGISLAÇÃO	26

3.6.1	Legislação para Biossólidos.....	26
3.6.2	Legislação para Águas de Irrigação e Subterrânea	28
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	MONTAGEM DOS REATORES	31
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	38
4.3	LODO DE ESGOTO.....	39
4.3.1	Determinação do volume de lodo a ser aplicado em cada taxa hidráulica	41
4.4	RESPIROMETRIA	43
4.5	ANÁLISES DE MONITORAMENTO E PONTOS DE COLETA	45
4.5.1	Determinação de Coliformes Totais e Fecais	45
4.5.2	Pontos de Coleta de Amostras	48
4.5.3	Análises de Escherichia coli	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1	ETAPA 1 - MONITORAMENTO DE COLIFORMES TOTAIS E FECAIS NO LODO, SOLO E LÍQUIDO PERCOLADO, UTILIZANDO O MÉTODO DE TUBOS MÚLTIPLOS	53
5.1.1	Coliformes Totais e Fecais no Lodo.....	54
5.1.2	Coliformes Totais e Fecais No Líquido Percolado	56
5.1.3	Coliformes Totais e Fecais no Solo	61
5.2	ETAPA 2 - MONITORAMENTO DE COLIFORMES TOTAIS E FECAIS NO LODO, SOLO E LÍQUIDO PERCOLADO, UTILIZANDO O MÉTODO CROMOFLUOROGÊNICO.....	79
6	CONCLUSÕES	84
7	SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	87
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
	ABSTRACT	95
	ANEXO A	96
	ANEXO B	102

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Situação esquemática do grupo coliforme com relação às demais bactérias.....	19
FIGURA 4.1 – Vista geral dos reatores e local do experimento	30
FIGURA 4.2 – Vista interna de um reator com os coletores sem o preenchimento de solo	31
FIGURA 4.3 – Vista externa da disposição de cada reator no local do experimento.....	32
FIGURA 4.4 – Croqui da disposição dos reatores no área do experimento	33
FIGURA 4.5 – Identificação dos reatores no local do experimento, em detalhe a taxa de aplicação (em toneladas/hectare, lodo base seca), solo corrigido (C) ou não corrigido (NC) e logo abaixo encontra-se o número da cuba de acordo com sua disposição "in loco"	34
FIGURA 4.6 – Esquema da disposição dos coletores, posicionados no interior dos reatores	35
FIGURA 4.7 – Registros de saída dos coletores na parte inferior do reator que está invertido	35
FIGURA 4.8 – Esquema da montagem dos coletores.....	36
FIGURA 4.9 – Enchimento dos reatores com solo	37
FIGURA 4.10 – Mapa de localização da ETE do Bairro Riacho Grande	39
FIGURA 4.11 – Vista geral do valo de oxidação da ETE de São Bernardo do Campo - SP.....	40
FIGURA 4.12 – Vista do leito de secagem de lodo	41
FIGURA 4.13 – Demonstração da aplicação do lodo líquido nos reatores.....	42
FIGURA 4.14 – Esquema de um respirômetro padrão (BARTHA), em detalhe	44
FIGURA 4.15 – Organograma dos procedimentos necessários para a análise de coliformes totais e fecais pela técnica de tubos múltiplos.	47

- FIGURA 5.1 – Valores mensais acumulados da precipitações, em mm, ocorridas durante o experimento 61
- FIGURA 5.2 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 0 tss/ha NC (solo não corrigido), ao longo do tempo de realização do experimento (valores médios entre as 3 repetições) 62
- FIGURA 5.3 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 0 tss/ha C (solo corrigido), ao longo do tempo de realização do experimento (valores médios entre as 3 repetições) 63
- FIGURA 5.4 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 2,5 tss/ha NC (solo não corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições) 64
- FIGURA 5.5 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 5,0 tss/ha NC (solo não corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições) 65
- FIGURA 5.6 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 7,5 tss/ha NC (solo não corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições) 66
- FIGURA 5.7 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 5,0 tss/ha C (solo corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições) 67
- FIGURA 5.8 – Coliformes Totais em NMP no solo superficial (15 cm) nas taxas 2,5, 5,0, 7,5 tss/ha NC (solo não corrigido) e 5,0 tss/ha C (solo corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições)..... 68
- FIGURA 5.9 – Coliformes Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) nas taxas 2,5, 5,0 e 7,5 tss/ha NC (solo não corrigido) e 5,0 tss/ha C (solo corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições)..... 69
- FIGURA 5.10 – Sobrevivência de coliformes fecais na camada superficial do solo (15 cm) após a 3ª aplicação de lodo (12/06/00) 74
- FIGURA 5.11 – Sobrevivência dos coliformes fecais no solo superficial (15 cm), em diferentes taxas de aplicação, após a 4ª aplicação de lodo (31/07/00)..... 75
- FIGURA 5.12 – Concentrações de coliformes fecais no solo após, aproximadamente, 30 dias das aplicações de lodo, nas taxas 2,5; 5,0 e 7,5 tss/ha solo não corrigido e 5,0 tss/ha solo corrigido, nos meses de abril de 2000 e 2001. 76
- FIGURA 5.13 - Concentrações de coliformes fecais no solo após, aproximadamente, 30 dias das aplicações de lodo, nas taxas 2,5; 5,0 e 7,5 tss/ha solo não corrigido e 5,0 tss/ha solo corrigido, nos meses de maio e julho de 2000 e 2001. 77

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Quantidade de lodo gerado nos diferentes sistemas de tratamento de esgotos, comumente utilizados no Brasil	6
TABELA 3.2 – Quantidade de lodo gerado nos principais sistemas de tratamento de esgotos	6
TABELA 3.3 – Previsão da produção diária de lodo para o ano de 2005, na RMSP	7
TABELA 3.4 – Distâncias mínimas entre o local de aplicação do lodo de esgoto e as características específicas	13
TABELA 3.5 – Concentração de patógenos em lodos produzidos nas ETEs Barueri e Franca	17
TABELA 3.6 - Tempo de sobrevivência de patogênicos no solo	18
TABELA 3.7 – Composição aproximada da microbiota de fezes humanas (estudo com 30 adultos).....	21
TABELA 3.8 – Classificação qualitativa e quantitativa da microbiota das fezes humana	22
TABELA 3.9 - Densidade de bactérias em lodo municipal (média geométrica por grama de peso seco)	23
TABELA 3.10 - Esquematização dos principais agentes patogênicos em lodos de esgotos e características determinantes para seleção de indicadores.	25
TABELA 5.1 – Caracterização do Lodo em cada aplicação durante o experimento.....	54
TABELA 5.2 - Parâmetros analisados no lodo bruto antes das aplicações no solo (valores médios)	55
TABELA 5.3 – Coliformes Totais (CT) e Fecais (CF) NMP/100mL, no percolado taxa 0 tss/ha NC...	56
TABELA 5.4 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 2,5 tss/ha NC ...	57
TABELA 5.5 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 5,0 tss/ha NC ...	57

TABELA 5.6 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 7,5 tss/ha NC ...	58
TABELA 5.7 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 0 tss/ha C	58
TABELA 5.8 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 5,0 tss/ha C	59
TABELA 5.9 – Coliformes Totais (CT) e Fecais (CF) no líquido percolado taxa 5,0 tss/ha C (solo corrigido) nos reatores 5 e 15.....	60
TABELA 5.10 – Coliformes Totais (CT) e <i>E. coli</i> , NMP/100mL no líquido percolado taxa 2,5 tss/ha NC (solo não corrigido), resultados obtidos pelo método Cromofluorogênico (Colilert P/A).....	80
TABELA 5.11 – Coliformes Totais (CT) e <i>E. coli</i> , NMP/100mL, no líquido percolado taxa 0 tss/ha C (solo corrigido), resultados obtidos pelo Método Cromofluorogênico (Colilert P/A)	80
TABELA 5.12 – Coliformes Totais (CT) e <i>E. coli</i> , NMP/100mL, no líquido percolado taxa 5,0 tss/ha NC (solo não corrigido), resultados obtidos pelo Método Cromofluorogênico (Colilert P/A).....	80
TABELA 5.13 – Coliformes Totais (CT) e <i>E. coli</i> , NMP/100mL, no líquido percolado taxa 7,5 tss/ha NC (solo não corrigido), resultados obtidos pelo Método Cromofluorogênico (Colilert P/A).....	81
TABELA 5.14 – Coliformes Totais (CT) e <i>E.coli</i> , NMP/100mL, no líquido percolado taxa 5,0 tss/ha C (solo corrigido), resultados obtidos pelo Método Cromofluorogênico (Colilert P/A)	81
TABELA 5.15 – Caracterização do Lodo pelo método cromofluorogênico em duas aplicações.....	82

LISTA DE SÍMBOLOS

CF – coliformes fecais

cm – centímetros

CT – coliformes totais

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.dia – metros cúbicos por habitante dia

mL – mililitro

NMP/100mL – número mais provável por cem mililitros

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

NMP/g – número mais provável por grama

NMP/g ST – número mais provável por grama de sólidos totais

°C – graus Celsius

ovos viáveis/4g – ovos viáveis por quatro gramas

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

t/d – toneladas por dia

t/ha – toneladas por hectare

tss/ha – toneladas de sólidos secos por hectare

UASB – sigla inglesa de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo

UFC/g – unidade formadora de colônia por grama

USEPA – United States Environmental Protection Agency

CETESB – Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental de São Paulo

RESUMO

CAMPOS, Andréia Ferraz. Aplicação de lodo líquido de esgoto sanitário no solo: determinação de coliformes totais e fecais. 2002. 107 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

A utilização do lodo de esgoto na agricultura, como fertilizante, é uma prática conhecida mundialmente devido ao seu potencial de nutrientes, bem como às melhorias proporcionadas na estrutura dos solos transformando este resíduo em um recurso reutilizável. Porém, existem algumas restrições quanto ao seu uso agrícola, entre as quais, a presença de patógenos que além de ser um fator limitante, pode definir a melhor taxa de aplicação do lodo. Este trabalho teve como objetivo avaliar as concentrações de coliformes totais e, principalmente, coliformes fecais (indicadores de patogenicidade) no lodo, solo e líquido percolado nas profundidades 25, 50, 75 e 100 cm, por um período de dois anos, em um sistema controlado de disposição de lodo líquido no solo acondicionado em reatores de fibra de vidro com capacidade para 1200 litros. O lodo de esgoto foi aplicado em intervalos de, aproximadamente, 40 dias, nas taxas 0; 2,5; 5,0 e 7,5 tss/ha (toneladas de sólidos secos por hectare) em solo natural, 0 e 5,0 tss/ha em solo que sofreu correção de pH por adição de cal. Ao longo do período foi verificado que, mesmo na maior taxa aplicada, os coliformes fecais não estavam presentes no líquido percolado no solo, em até 1 metro de profundidade. Pelos resultados obtidos concluiu-se que a melhor taxa de aplicação foi 5,0 tss/ha em solo natural, devido às concentrações de coliformes fecais na camada superficial do solo (15 cm) ficarem próximas a 10^6 NMP/g (Número Mais Provável por grama de sólidos secos), concentração limite para biossólidos Classe B. Observou-se ainda que o tempo de sobrevivência dos coliformes fecais no solo superficial nas taxas utilizadas foi maior que 40 dias após as aplicações de lodo. Portanto, sugere-se que o manejo do solo e as reaplicações de lodo na taxa 5,0 tss/ha sejam realizados a cada 60 dias, totalizando 30 t/ha.ano.

PALAVRAS CHAVE: lodo de esgoto, coliformes totais, coliformes fecais, resíduo reutilizável.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a intensidade da industrialização vêm resultando num aumento gradativo da poluição ambiental, no qual a necessidade de estações de tratamento de esgotos sanitário e industrial é inevitável. Todos os sistemas de tratamento de esgotos geram algum subproduto sólido, como material gradeado e areia, removidos no tratamento preliminar. No entanto, o principal subproduto do tratamento de esgotos é o lodo, retirado geralmente das unidades de decantação em grandes quantidades.

A composição do lodo sanitário municipal é de, aproximadamente, 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos, sendo que, do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras, etc.) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais) citado por FERNANDES (2000). Cerca de 75% dos sólidos são constituídos de matéria orgânica degradável, com grande quantidade de microrganismos, provenientes de fezes humanas e com probabilidade de ocorrência de patógenos. Ainda com a adição de efluentes industriais, poderá conter metais tóxicos (METCALF e EDDY, 1991).

A disposição final do lodo de esgoto, que tem sido estudada mundialmente, pode acarretar riscos relativos ao ambiente devido às características do resíduo e às tecnologias utilizadas, como a incineração, a disposição em aterros, a reciclagem agrícola, a compostagem e na fabricação de tijolos, entre outras. A disposição que vem se destacando como melhor alternativa é a reciclagem agrícola que, além de ser uma alternativa economicamente viável, traz benefícios ao solo sob os

aspectos microbiológicos, físicos e químicos, tornando-se um fertilizante orgânico, que proporciona principalmente parte do fornecimento de nutrientes (nitrogênio, fósforo e matéria orgânica) para solo e plantas, além de recuperar solos degradados.

Considerando-se o potencial de nutrientes contido no lodo de esgoto, bem como as melhorias que este resíduo proporciona na estrutura dos solos, pode-se caracterizá-lo como um resíduo reutilizável e não como um rejeito descartável. Porém, existem algumas restrições quanto ao seu uso agrícola, principalmente em relação à presença de patógenos, produção de compostos de nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato) e concentrações de metais pesados, entre outros.

A determinação da concentração de coliformes totais e fecais indica se há, ou não, risco de contaminação no solo e principalmente no lençol freático, porém estas bactérias não são os únicos microrganismos que indicam a patogenicidade do lodo. Esta análise deve sempre fazer parte de um conjunto de análises microbiológicas, tais como, a presença de helmintos, protozoários e também bactérias patogênicas como *Salmonella sp*, *Streptococcus sp*, *Clostridium sp* entre outras.

Este experimento teve como objetivo analisar as concentrações de coliformes totais e fecais no lodo, solo e líquido percolado, ao longo de freqüentes aplicações de lodo de esgoto no solo em diferentes taxas de aplicação, visando observar aspectos sanitários durante a reciclagem agrícola do lodo. Neste caso, os coliformes fecais são indicadores da patogenicidade tanto do solo que recebeu o lodo quanto do líquido que percola no solo após períodos de chuvas.

Prevendo as alterações no solo e na qualidade da água dos lençóis subterrâneos, no mesmo experimento, estão sendo analisados outros parâmetros sanitários como: protozoários e helmintos (tema de uma aluna de doutorado); nitrogênio e fósforo (tema de outra aluna de mestrado).

Conhecendo-se a microbiologia do lodo de esgoto, principalmente quanto à presença de patógenos, pode-se pensar na utilização segura deste resíduo. Desta forma, quando o lodo é aplicado no solo, torna-se necessário saber, em cada taxa de aplicação, quais os níveis de contaminação que estes microrganismos poderão provocar no solo e, quando percolado (através das chuvas e irrigação), no lençol de águas subterrâneas. Portanto, apesar do valor agrônômico do lodo ser inquestionável, sua utilização na agricultura deve ser feita de maneira cuidadosa, para não causar danos ao ambiente, à cultura e, principalmente, a quem o aplica.

Com estas pesquisas, pretende-se verificar qual a taxa de aplicação é a mais adequada para a reciclagem agrícola, visando, além das vantagens agrícolas, assegurar o equilíbrio e a qualidade do ambiente, sem aumentar os níveis de poluição e a disseminação de doenças.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a taxa de aplicação e outros parâmetros operacionais de modo a atender aos padrões de qualidade microbiológica no solo, água subterrânea e produtos agrícolas.

Utilizando-se protótipos (reservatórios cilíndricos de fibra de vidro) denominados reatores pilotos, contendo o mesmo tipo de solo, dispor controladamente o lodo líquido digerido, proveniente de uma estação de tratamento de esgoto sanitário, em diferentes taxas de aplicação e monitorar, neste sistema, as concentrações de coliformes totais e fecais, lembrando que os coliformes fecais são comumente utilizados como indicadores de patogenicidade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar, por meio de monitoramento, a contagem de coliformes totais e fecais pelo método de tubos múltiplos no lodo, no solo e no líquido percolado em diferentes profundidades no interior dos reatores, durante aplicações de lodo líquido de esgoto no solo;
- A partir dos resultados obtidos, definir qual a taxa mais adequada para a disposição do lodo;
- Comparar o método de tubos múltiplos com o teste cromofluorogênico, "Colilert", tanto para amostras do líquido percolado, quanto para amostras de lodo e solo;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TRATAMENTO DE ESGOTO E GERAÇÃO DE LODO

Geralmente, quando se pensa no controle de poluição das águas, preocupa-se inicialmente com o tratamento dos esgotos, deixando em segundo plano a solução do problema da geração de lodo nesses sistemas. A maior preocupação com esse lodo restringe-se à sua estabilização e desidratação para se atingir um teor de sólidos no lodo na faixa de 15 a 40%, visando quase exclusivamente sua retirada da área da estação de tratamento de esgotos (ETE) por caminhões, porém sem uma definição clara de seu destino final (ALEM SOBRINHO, 2000).

Para se estudar o destino dos lodos gerados em ETEs é necessário conhecer as quantidades e características dos lodos produzidos em função do sistema de tratamento de esgoto utilizado. Na Tabela 3.1, ALÉM SOBRINHO (2000) compara a geração diária de lodo em diferentes sistemas de tratamento de esgotos no Brasil.

Na Tabela 3.2, VON SPERLING (1996) compara a geração anual de lodo em diferentes sistemas de tratamento.

TABELA 3.1 – Quantidade de lodo gerado nos diferentes sistemas de tratamento de esgotos, comumente utilizados no Brasil

TIPO DE TRATAMENTO	CARACTERÍSTICA DO LODO	PRODUÇÃO DE LODO (g SST/habitante dia)
Reator UASB (sem tratamento complementar)	Estabilizado	15 a 20
Lodos ativados convencional – Alta taxa (com adensador e digestor anaeróbio de lodo)	Estabilizado	35 a 40
Lodos ativados convencional – Taxa convencional (com adensador e digestor anaeróbio de lodo)	Estabilizado	30 a 35
Filtro biológico – Alta taxa (com adensador e digestor anaeróbio de lodo)	Digerido	35 a 40
Lodos ativados por aeração prolongada (sem decantador primário)	Estabilizado (difícil desidratação)	40 a 45
Lodos ativados de alta taxa com O ₂ puro (sem decantador primário e sem digestor de lodo)	Não digerido	65 a 70
Lagoas aeradas seguidas de lagoas de decantação	Digerido (remoção a cada 4 a 5 anos)	15 a 25
Reator UASB seguido de lodos ativados	Digerido	> 25 a 30

Fonte: adaptado de ALEM SOBRINHO, 2000.

TABELA 3.2 – Quantidade de lodo gerado nos principais sistemas de tratamento de esgotos

TIPO DE TRATAMENTO	Quantidade de lodo a ser tratado (m ³ /habitante ano)
Lodos ativados convencional	1,1 – 1,5
Lodos ativados (aeração prolongada)	0,7 – 1,2
Lodos ativados (fluxo intermitente)	0,7 – 1,5
Filtro biológico (baixa carga)	0,4 – 0,6
Filtro biológico (alta carga)	1,1 – 1,5
Reator anaeróbio de manta de lodo	0,7 – 0,1
Fossa séptica – filtro anaeróbio	0,7 – 0,1

Fonte: adaptado de VON SPERLING, 1996.

No Estado de São Paulo destaca-se a geração de lodo de sua capital, na Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, que possui como sistema de tratamento o processo biológico de lodo ativado, produzindo cerca de 193 toneladas/dia base seca em 2000 e, com estimativa para o ano 2015, de 310 toneladas/dia (SANTOS e TSUTIYA, 1997).

Na Tabela 3.3 há uma estimativa da produção de lodo nas principais estações de tratamento de esgotos da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, prevista para o ano de 2005.

TABELA 3.3 – Previsão da produção diária de lodo para o ano de 2005, na RMSP

LOCAL DA ETE	TIPO DE TRATAMENTO	PRODUÇÃO DE LODO BASE SECA (t/d)
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 e TSUTIYA, 1997.

Também a cidade de Limeira, interior do Estado de São Paulo, com a implantação do sistema de tratamento por filtro biológico na ETE – Tatu, tem uma estimativa de gerar, aproximadamente, 90 toneladas/dia de lodo base seca, segundo SHIROTA (1996), durante reunião técnica realizada pela empresa Águas de Limeira.

De um modo geral, a situação é bastante crítica, com uma grande quantidade de lodo de esgoto que já começa a ser produzida nos grandes centros urbanos, sem locais adequados para a disposição final.

3.2 DIFERENTES FORMAS DE DISPOSIÇÃO DE LODO

Nos Estados Unidos da América do Norte e na União Européia, o lodo de esgoto, vem sendo estudado há bastante tempo, já contando com Normas e Regulamentos para sua aplicação no solo. A legislação da Agência de Controle Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – U.S. EPA) é denominada 40 CFR 503 (Code of Federal Regulation Part 503, 1992), já é conhecida e utilizada mundialmente. No Brasil, há cerca de dez anos, começou-se estudar o lodo de esgoto, com ênfase, não apenas na correta disposição (aterros sanitários, incineradores), mas também buscando outra alternativa, a reciclagem agrícola.

Enquanto as nações industrializadas buscam alternativas para equacionar seus 400 milhões de toneladas anuais de resíduos (tais como reciclagem, incineração, minimização na geração, formas adequadas de disposição e outras) as comunidades dos países em desenvolvimento como o Brasil convivem com depósitos desordenados de resíduos, os lixões, em aproximadamente 90% de suas cidades. As previsões de aumentos populacionais associadas à crescente concentração urbana mundial determinaram a necessidade imediata de definições tecnológicas e ações políticas para solucionar um trágico problema: há uma limitação técnica e econômica dos espaços apropriados para a destinação final dos resíduos. Convivendo e antevendo estes problemas, a União Européia formulou uma Diretiva, adotada pelos países membros, proibindo a disposição final dos resíduos recicláveis em aterros sanitários a partir de 2002, já nos Estados Unidos da América do Norte a proibição se dará a partir de 2004 (ANDREOLI e BONNET, 1998).

A SABESP, bem como outras empresas estatais, já possuem planos diretores para lodos de esgotos, os quais têm estudado, além da reciclagem agrícola, outras alternativas viáveis para a disposição final dos lodos, tais como: a extração de óleo combustível do lodo, fabricação de solo

sintético pelo processo patenteado N-Viro, produção de agregado leve para concreto e fabricação de tijolos, dentre outros (SANTOS e TSUTIYA, 1997).

Na Europa e na América do Norte, existem registros de respostas favoráveis das espécies florestais adubadas com lodo de esgoto. A vantagem de sua aplicação nas plantações florestais consiste no fato de que os principais produtos destas culturas perenes não se destinam à alimentação humana ou animal, possibilitando uma maior segurança quanto à dispersão de eventuais contaminantes, desde que cuidados prévios sejam tomados em relação a localização dos talhões, além da forma de aplicação e dosagem de lodo, em torno de 40 t/ha, que, em princípio, poderia ser efetuada com intervalos de 5 a 7 anos (STEFANI *et al.*, 1999).

A reciclagem agrícola é a disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas, após tratamento adequado do produto e sua mistura a outros materiais como cal, materiais carbonáceos ou fertilizantes minerais, sendo, entre as alternativas de disposição final, a que provavelmente geraria menores impactos ambientais negativos (ANDREOLI *et al.*, 1997).

3.3 TRATAMENTO DO LODO

Basicamente existem três tipos de lodo orgânico: bruto, ativado e digerido, cada um com características e propriedades distintas. O lodo bruto é produzido nos decantadores primários das ETEs, podendo conter os resíduos retirados do gradeamento e caixa de areia, tem coloração acinzentada, forte odor e facilmente fermentável. O lodo biológico ativado é produzido nos reatores biológicos, com aparência floculenta, coloração marrom e odor pouco ofensivo quando fresco. O lodo digerido é aquele que sofreu processo de estabilização biológica. Quando esta estabilização ocorre em biodigestores anaeróbios sua cor é preta, no entanto quando digerido aerobiamente sua cor é marrom escura (LUDUVICE, 1996).

A esterilização do lodo de esgoto envolve processos físicos, químicos e biológicos. Os principais mecanismos de transformações utilizados durante a estabilização são: redução biológica do teor de sólidos voláteis; oxidação química da matéria orgânica; alteração química do lodo tornando um meio inadequado à atividade biológica e desinfecção do lodo por meio da elevação da temperatura (TSUTIYA e KARABOLAD, 1999).

PONUGOTI *et al.*, (1997) compararam a redução de patógenos em diferentes sistemas de tratamento de lodos de esgotos no Estado de Nebraska, U.S.A., onde foram estudados os seguintes sistemas: digestão anaeróbia estágio simples, digestão anaeróbia estágio duplo, digestão aeróbia, digestão anaeróbia seguida de aeróbia e compostagem. Os resultados obtidos mostraram que o tratamento mais eficiente na redução de patógenos foi o da compostagem, onde as concentrações de patógenos não ultrapassaram os níveis permissíveis para lodos Classe A, conforme estabelecido pela U.S. EPA (40 CFR, Part 503, descrito no item 3.6). Os autores verificaram também que houve maior redução de patógenos na digestão anaeróbia do que na aeróbia, porém os dois tipos de tratamento somente conseguiram atender as exigências para lodos Classe B (40 CFR, Part 503 – U.S. EPA, vide item 3.6).

Segundo FERNANDES e ANDREOLI (1997), o tratamento químico do lodo com a cal e a compostagem apresentam, ambos, boa eficiência e podem ser implantados com tecnologias simples.

3.4 DISPOSIÇÃO DO LODO NO SOLO

Nos países mais desenvolvidos, a disposição de lodo no solo é bem antiga, sendo uma das técnicas mais adotadas. Somente à partir da década de 70 é que começaram a se preocupar com o controle, devido sua utilização indiscriminada. Nesta década, começaram os acordos para o controle de disposição de resíduos no mar (VICENT e CRITCHLEY, 1984). Nos Estados Unidos da América do

Norte, desde junho de 1992, não ocorreram mais disposições oceânicas de lodos de ETEs, proibido pelo Ocean Dumping Ban Act de 1988, que fixava dezembro de 1991 como data limite para cessar a prática (SANTOS, 1996).

A reciclagem do lodo de esgoto é uma tecnologia proposta viável para a agricultura, em razão fundamental de sua composição (minerais, matéria orgânica) e sua forma que proporcionará melhorias no solo degradado e naqueles que sofrem erosão. Os estudos sobre a utilização do lodo de esgoto na agricultura ainda são recentes no Brasil, existem alguns trabalhos e experimentos que demonstram a sua viabilidade, bem como que relatam as alterações ocorridas tanto no solo como no ambiente (NASCIMENTO e BOTEGA, 1996).

O lodo de esgoto apresenta, em sua constituição, matéria orgânica em diferentes estágios de degradação. À princípio, seu lançamento no solo tende a melhorar as características do mesmo, interferindo favoravelmente nas capacidades de aeração e drenagem. A matéria orgânica, pela ação das bactérias, é transformada em húmus, importante na estrutura do solo. Os nutrientes do lodo contribuem para a fertilidade do solo, aumentando a disponibilidade, dos mesmos, para as plantas (JORGE, 1975 e HARTENSTEIN, 1981).

A utilização de lodo na agricultura e pecuária foi bem desenvolvida na Europa e América do Norte, sendo considerada uma alternativa de baixo custo e ambientalmente segura. Entretanto sua utilização é limitada por alguns fatores, entre eles pode-se destacar: calendário agrícola; política governamental com relação ao setor agrícola; custos de transporte; características físicas, químicas e biológicas do lodo. Atualmente existe uma forte tendência para utilização apenas do lodo digerido, diminuindo assim possíveis efeitos nocivos à saúde pública. Em termos de taxa de aplicação, valores da ordem de 50 a 70 toneladas/hectare.ano (umidade 85%) tem sido normalmente utilizados (LUDUVICE, 1996).

Em pesquisa realizada no Estado de São Paulo, NUVOLARI (1996), utilizando os ensaios de respirometria para acompanhar a degradação do lodo, quando aplicado no solo, com as seguintes taxas de aplicação: 5, 10 e 15 tss/ha (toneladas de sólidos secos por hectare), concluiu que a primeira taxa apresentou-se mais satisfatória levando cerca de 20 dias para ocorrer a degradação do lodo. Com este resultado, o autor chegou a taxa hidráulica média anual de 90 toneladas de lodo de esgoto base seca por hectare de solo arável, caracterizado como argilo-arenoso, retirado na Divisão de Parques e Jardins da cidade de São Bernardo do Campo, SP. O lodo de esgoto utilizado nesta pesquisa foi coletado nesta mesma cidade, na estação de tratamento de esgotos do Bairro Riacho Grande.

As taxas médias anuais de aplicações propostas no Estado do Paraná situam-se entre 3 e 9 t/ha de lodo seco, levando em conta a capacidade de assimilação da cultura em elementos fertilizantes, principalmente nitrogênio e fósforo, e a capacidade de absorção do solo, evitando assim a lixiviação de nitratos. Em qualquer situação, a soma das taxas aplicadas no mesmo local devem ser iguais ou inferiores a 50 toneladas de matéria seca de lodo por hectare, ao longo de 10 anos (ANDREOLI *et al.*, 1997).

Para a reciclagem do lodo, todos os fatores devem ser considerados, tanto os aspectos sanitários (propagação de vetores, doenças, riscos de contaminação com pessoal envolvido, etc.), como os aspectos de equilíbrio natural após sua aplicação no solo (nutrientes, matéria orgânica propícia à biodegradação do solo, etc.), necessitando-se de estudos para adequar a quantidade a ser aplicada, a periodicidade das reaplicações e os tipos de culturas mais favoráveis.

Segundo Manual for Land Application of Treated Municipal Wastewater and Sludge (1984), citado por NASCIMENTO e BOTEGA (1996), a aplicação de lodo de esgoto no solo não é debatida em razão especialmente da grande variação de textura do lodo, muito líquido ou muito seco. Em geral, com base nos estudos desenvolvidos, é mais recomendado sua aplicação na superfície do

solo com uma leve incorporação, no máximo dez centímetros de profundidade, tanto para lodo de esgoto na forma líquida como na forma mais sólida. Quanto aos locais selecionados, há recomendações feitas pelo órgão ambiental de Alberta, Canadá, conforme a Tabela 3.4 abaixo.

TABELA 3.4 – Distâncias mínimas entre o local de aplicação do lodo de esgoto e as características específicas

CARACTERÍSTICAS	DISTÂNCIA MÍNIMA (m)	PREFERIDA (m)
Rios, canais, curso de drenagem intermitente, lagos	30	50
Nascentes de água	20	50
Zona residencial	500	800
Moradias	60	100
Estrada	10	20
Perímetros de prédios públicos	10	30
Prédios públicos	60	100
Cemitérios, parques e jardins	200	500

Fonte: NASCIMENTO e BOTEGA, 1996.

Segundo o Departamento de Proteção Ambiental do Estado da Pennsylvania, U.S.A. (2001), são aplicados neste Estado, em média 1900 toneladas/ano de biossólidos (lodo proveniente dos sistemas de tratamento biológico de esgotos, processado de modo a permitir seu manuseio de forma segura na utilização agrícola) base seca, estabilizado com cal, sendo este volume distribuído entre vários municípios. O programa adotado no Estado da Pennsylvania teve início há 16 anos, quando contava apenas com 5 fazendas para disposição de lodo, totalizando uma área de, aproximadamente, 159 hectares. Atualmente o programa conta com 25 fazendas, o que aumentou a área de disposição de biossólidos para, aproximadamente, 746 hectares, mostrando que a prática da reciclagem agrícola do lodo é uma tendência crescente, ao longo dos anos.

O lodo de esgoto será um produto valioso para países áridos como Egito, onde a disponibilidade de esterco animal vem diminuindo, os custos dos fertilizantes estão aumentando

rapidamente, conseqüentemente os fazendeiros pagarão por qualquer adubo orgânico, incluindo lodo de esgoto (HALL, 1997).

Quanto ao potencial agrônômico, a EMATER, no Estado do Paraná, em testes controlados em pequenas propriedades rurais da região metropolitana de Curitiba, demonstrou que as áreas onde foi incorporado lodo de esgoto acusaram aumentos na produção de milho entre 30 e 77% (SANEPAR, 1997). Do ponto de vista financeiro, BISCAIA e MIRANDA (1996) relatam que o retorno por R\$ (real) gasto com o lodo pode chegar a ser quatro vezes maior do que o dinheiro gasto com adubo químico.

3.4.1 Microbiologia do Solo

É na camada superior do solo que se processam intensas atividades biológicas que tornam esta camada superficial rica em matéria orgânica. Abaixo desta camada encontra-se o subsolo, cada vez menos rico em nutrientes e em atividade biológica na medida em que sua profundidade aumenta (SANTOS, 1979 e SIVIERO, 1995).

A degradação do material orgânico, está relacionada à sua complexidade e às características físicas, químicas e biológicas do solo, bem como à quantidade e à freqüência de disposição do resíduo no solo (SIVIERO *et al.*, 2000)

As águas subterrâneas são oriundas da precipitação atmosférica absorvida pelo solo e das águas de rios e lagos que infiltram no solo através das margens. Normalmente, a água subterrânea é muito pobre em nutrientes devido ao efeito de filtração das camadas do solo e conseqüentemente terá baixa densidade bacteriana. Quando lodo de esgoto é aplicado no solo, está-se adicionando ao solo uma grande quantidade de bactérias e nutrientes no solo, que podem

alcançar o lençol de água subterrânea. A qualidade desta água vai depender do grau de filtração das camadas do solo. Os solos arenosos podem filtrar mais de 90% das bactérias em cerca de 4 metros, enquanto que no solo calcário, a filtração é praticamente nula (CETESB, 2000).

Os patógenos humanos, adaptados à vida como parasitas, encontram no solo um ambiente estranho e hostil. Mesmo patógenos entéricos resistentes, tais como algumas espécies de *Salmonella*, quando introduzidos no solo, sobrevivem poucas semanas (CETESB, 2000).

3.5 PATOGENICIDADE DO LODO

Na reciclagem agrícola do lodo é muito importante o conhecimento do perfil biológico do produto. Os lodos são concentradores naturais de nutrientes e organismos oriundos dos esgotos durante o tratamento, e que permanecem adsorvidos às partículas em suspensão e biomassa. Estes organismos podem agir como condicionadores de solos, semelhantes àqueles envolvidos nos processos de liberação de nutrientes ao complexo solo/planta. Dentro desta população também podem-se encontrar os microrganismos patogênicos.

Estes patógenos podem causar doenças aos homens e animais, quando atingem água e solo, e também no próprio manejo do lodo. Para evitar o risco de contaminação e disseminação de doenças, é necessário realizar uma caracterização dos microrganismos presentes no lodo e verificar seu comportamento no solo, para identificar e propor medidas que garantam uma utilização segura deste resíduo.

O tipo e número de patógenos presentes no lodo variam em função de vários fatores, como por exemplo, a origem do esgoto, a população atendida, o tipo de tratamento do esgoto, bem como do lodo, entre outros fatores. Normalmente o lodo pode conter vírus, bactérias, fungos, cistos

de protozoários, ovos e larvas de helmintos, que ficam adsorvidos a partículas sólidas e tendem a co-precipitar durante a fase de decantação do sistema de tratamento, concentrando-se no lodo (HAYS, 1977).

Outra preocupação, principalmente na América Latina, são determinados grupos de organismos provenientes de epidemias sazonais ou com frequência regional, por exemplo a cisticercose de forma endêmica e os vibriões coléricos. Sabe-se também que um único ovo de helminto pode se instalar em um hospedeiro e provocar infecção. Países como o Brasil, ou até mesmo determinadas regiões dentro do próprio país, sofrem com estas diferenciações regionais (diferenças nos quadros sanitário, ambiental e sócio-econômico) que inviabilizam a transferência de um modelo de monitoramento sanitário de outro local (BONNET *et al.*, 1998).

A realização de uma análise de risco de contaminação seria bastante complexa pois envolveria considerar outros aspectos, além dos citados neste trabalho, tais como: alteração que pode ocorrer com os microrganismos no ambiente (decaimento, multiplicação, latência entre outros), rotas de transmissão, presença de hospedeiros intermediários, formas de infecção, doses infectantes, exposição e susceptibilidade dos hospedeiros (FERNANDES *et al.*, 1996). No entanto, na prática esta análise complexa se torna inviável, levando-se a escolher apenas alguns fatores a serem analisados, por exemplo, a sobrevivência dos principais microrganismos de interesse sanitário no lodo, solo e lençol de água subterrânea, doses e formas infectantes, estabelecendo assim uma taxa de aplicação de lodo mais segura aos usuários durante a reciclagem agrícola.

A presença de estreptococos fecais e coliformes fecais indica risco potencial da presença de organismos patogênicos, uma vez que são mais resistentes que as bactérias patogênicas, permitindo portanto, avaliar o potencial de risco de infecção a que o homem e outros animais estão expostos (ANDRAUS *et al.*, 1997).

A Tabela 3.5 apresenta a concentração de patógenos em lodos produzidos nas estações de tratamento de esgotos de Barueri e de Franca, no Estado de São Paulo. Na ETE Barueri o processo de tratamento do lodo consiste na digestão anaeróbia seguida da adição de cal, enquanto que o lodo gerado na ETE de Franca, passa somente pela digestão anaeróbia.

TABELA 3.5 – Concentração de patógenos em lodos produzidos nas ETEs Barueri e Franca

ETE	Ano	Coliformes Fecais NMP/g	Helmintos ovos viáveis/4g
Barueri	1993	Ausente	1,25
Barueri	1997	5,4	1,00
Barueri	1998	Ausente	Ausente
Franca	1998	760.000	3,6

Fonte: adaptado de TSUTIYA e KARABOLAD, 1999.

O lodo de esgoto possui microrganismos patogênicos de origem entérica e não patogênicos, como por exemplo, os coliformes fecais e estreptococos fecais (SANIN *et al.*, 1994). Estes microrganismos podem ser transmitidos ao homem por via direta, como, por exemplo, pela contaminação das mãos, ou de outros organismos que entrem em contato com o lodo contaminado, os vetores, que podem ser representados por pássaros e roedores (FOESS e SIEGER, 1993).

Além da caracterização microbiológica do lodo de esgoto, é preciso conhecer o comportamento destes no solo após a utilização do lodo. A sobrevivência e viabilidade destes patógenos no solo são comumente aumentadas em baixas temperaturas, pH neutro e barreiras físicas contra radiações ultravioleta. Sua capacidade de movimentação está ligada à movimentação da água interflocular existente no lodo e das águas que transpassem estes flocos, condicionadas pela umidade do lodo e do solo e pela capacidade de retenção do solo (GUILHERME, 1998).

De um modo geral o tempo de sobrevivência no solo para estes microrganismos está expressa na Tabela 3.6.

TABELA 3.6 - Tempo de sobrevivência de patogênicos no solo

PATOGÊNICO	TEMPO MÁXIMO	TEMPO COMUM
Bactérias	1 ano	2 meses
Vírus	1 ano	3 meses
Cistos de protozoários	10 dias	2 dias
Ovos de helmintos	7 anos	2 anos

Fonte: USEPA, 1992.

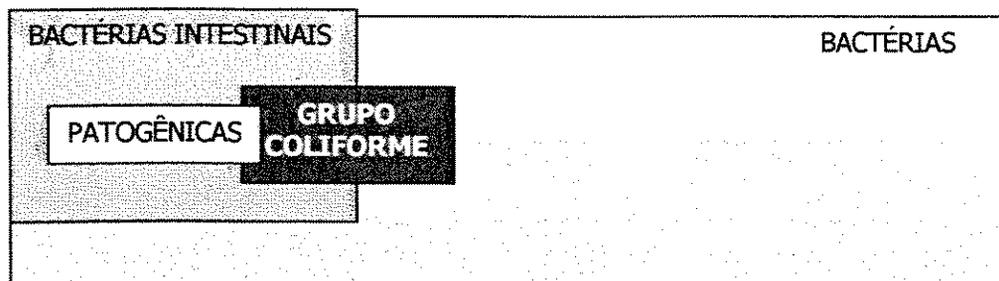
Como pode-se verificar na Tabela 3.6, as bactérias foram inseridas em um único grupo com um período de sobrevivência máximo de 1 ano. No entanto, se considerarmos as bactérias patogênicas que esporulam, resistentes à dessecação, aquecimento, antissépticos e ácidos, por exemplo, o *Bacillus anthracis*, *B. subtilis* e *Clostridium perfringens*, estas podem sobreviver por décadas no solo e quando são introduzidas em alimentos ou ferimentos, crescem e liberam toxinas. Já algumas espécies de *Salmonella* sp, patogênicos entéricos considerados resistentes, quando inseridos no solo sobrevivem poucas semanas (CETESB, 2000).

A sobrevivência dos organismos patogênicos depende da temperatura e tempo de armazenagem do lodo a ser aplicado no solo. O risco de contaminação é mínimo após um ano de armazenamento, ou seja, após esse tempo, o lodo estará completamente digerido (AHMED e SORENSEN, 1997)

3.5.1 Grupo Coliformes

A detecção dos agentes patogênicos, principalmente bactérias, protozoários e vírus, em uma amostra de água ou até mesmo de solo é extremamente difícil, em razão de suas baixas concentrações, o que demandaria um exame de grandes volumes de amostras para que fosse detectado um único ser patogênico. As bactérias do grupo coliforme são organismos chamados indicadores de contaminação fecal, apesar de não serem patogênicos, dão uma satisfatória indicação da contaminação por fezes humanas ou animais, e conseqüentemente, sua potencialidade na transmissão de doenças (VON SPERLING, 1996).

A Figura 3.1 mostra esquematicamente a posição do grupo coliforme com relação às bactérias, de maneira geral.



Fonte: citado por VON SPERLING, 1996 (adaptado de LA REVIÉRE, 1980)

FIGURA 3.1 – Situação esquemática do grupo coliforme com relação às demais bactérias.

As razões para a utilização do grupo coliforme como indicadores de contaminação fecal, segundo alguns autores, são as seguintes:

- os coliformes apresentam-se em grande quantidade nas fezes humanas, sendo que cada indivíduo elimina em média 10^{10} a 10^{11} células por dia (BRANCO e ROCHA, 1979). De 1/4 a

1/5 do peso das fezes humanas é constituído por bactérias do grupo coliforme. Com isto, a probabilidade de que sejam detectados é incomparavelmente superior à dos organismos patogênicos.

- Os coliformes apresentam-se em grande número apenas nas fezes do homem e de animais de sangue quente. Tal fato é essencial, pois se existissem também em animais de sangue frio deixariam de ser bons indicadores de poluição (CHRISTÓVÃO, 1974).
- Os coliformes apresentam resistência similar à maioria das bactérias patogênicas intestinais. Tal característica é importante, pois não seriam bons indicadores se morressem mais rapidamente que o agente patogênico. Por outro lado, se a sua taxa de mortalidade fosse menor que as bactérias patogênicas, também deixariam de ser úteis, uma vez que, sobrevivendo por mais tempo, tornariam suspeitas águas já depuradas. Exceção deve ser feita aos vírus, que apresentam idade superior à dos coliformes. (CHRISTÓVÃO, 1974).

O grupo de coliformes totais (CT) constitui-se em um grande grupo de bactérias que têm sido isoladas de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, bem como de fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente. Tal grupo foi bastante usado no passado como indicador, e continua a ser usado em algumas áreas, embora as dificuldades associadas com a ocorrência de bactérias não fecais seja um problema. Não existe uma relação entre CT e microrganismos patogênicos. Já os coliformes fecais (CF) são um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano e outros animais. O teste para CF é feito a uma temperatura ótima, na qual o crescimento de bactérias de origem não fecal é suprimido. A legislação ambiental considera implicitamente, uma relação entre coliformes totais e fecais igual a 5 ($CT/CF = 5$). No entanto, existe uma grande dispersão em torno deste valor, que depende ainda do tempo decorrido após o lançamento do esgoto na água (VON SPERLING, 1996).

Na seleção de um indicador microbiológico de contaminação fecal, sua ocorrência em grande número nas fezes humanas constitui um requisito básico (Tabela 3.7).

TABELA 3.7 – Composição aproximada da microbiota de fezes humanas (estudo com 30 adultos)

	ESPÉCIES	MÉDIA (UFC/g)	Número de amostras positivas (n=30)
Total de bactérias	-	$1,5 \times 10^{11}$	24
Total de bactérias aeróbias	-	7×10^8	30
Bactérias aeróbias Gram -	<i>E. coli</i> - CF	4×10^8	30
	<i>Citrobacter</i> - CT	1×10^6	20
	<i>Klebsiella</i> - CT	5×10^4	14
	<i>Enterobacter</i> - CT	1×10^5	3
Bactérias aeróbias Gram +	<i>Enterococos</i>	2×10^8	30
	<i>Staphylococcus</i>	8×10^6	15
	<i>Bacillus</i>	3×10^4	28
Bactérias anaeróbias Gram -	<i>Bacterióides</i>	1×10^{10}	30
	<i>Lactobacillus</i>	1×10^9	30
Bactérias anaeróbias Gram +	<i>Clostridium</i>	4×10^6	23
Leveduras	-	5×10^4	20
Fungos	-	4×10^4	16

Fonte: citado por CETESB, 2000 (LECLERC, *et al.* 1977)

Pode ser verificado na Tabela 3.7 que as bactérias anaeróbias seriam as melhores indicadoras, no entanto para trabalhar em condições anaeróbias, durante as análises microbiológicas, seriam necessários maiores cuidados.

A Tabela 3.8 apresenta, a título de ilustração, a composição quantitativa e qualitativa da microbiota das fezes humana.

TABELA 3.8 – Classificação qualitativa e quantitativa da microbiota das fezes humana

CLASSIFICAÇÃO	Grupo Gênero/Espécie	MÉDIA (UFC/g)
Primários	Bacterióides	10^{10}
	<i>Lactobacillus</i>	10^9
	<i>Escherichia coli</i>	10^8
	Enterococos	10^8
Secundários	<i>Citrobacter</i>	10^4 a 10^6
	<i>Klebsiella</i>	10^4 a 10^5
	<i>Enterobacter</i>	10^4 a 10^5
	<i>Clostridium</i>	10^5 a 10^6
	<i>Staphylococcus</i>	10^5 a 10^6
	<i>Bacillus</i>	10^4 a 10^5
	Leveduras	10^4 a 10^5
Raros	Fungos	10^4 a 10^5
	<i>Proteus / Providencia</i>	10^2 a 10^3
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10^2 a 10^3

Fonte: CETESB (2000)

Tradicionalmente os coliformes e estreptococos fecais têm sido considerados básicos ao monitoramento de lodos para reciclagem agrícola. Entre as principais doenças causadas por bactérias estão o tifo, as diarreias e outras infecções entéricas (ANDREOLI e BONNET, 1998). O grupo de bactérias coliformes compreende muitas espécies dos gêneros *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* e *Klebsiella* e inclui os Coliformes fecais nos quais a *Escherichia coli* é a espécie predominante (CETESB, 2000).

O grupo de coliformes totais são bactérias do tipo bastonetes Gram (-) não esporogênicos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 a 48 horas a 35°C. O grupo inclui cerca de 20 espécies, dentre as quais encontram-se bactérias originárias do trato gastrointestinal de humanos, bem como de outros animais de sangue quente. Sua contagem em água e alimentos é menos representativa como indicação de contaminação fecal do que a contagem de coliformes fecais ou *Escherichia coli* (SILVA e JUNQUEIRA, 1995).

São definidos como microrganismos do grupo coliformes fecais, aqueles capazes de fermentar a lactose a 44-45° C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli* e, também por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobater* e *Citrobacter*. Dentre estes microrganismos, somente a *E. coli*, é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente, em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal. Os demais podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição. Podem ser encontrados igualmente em águas de regiões tropicais ou subtropicais, sem qualquer poluição evidente por material de origem fecal. Entretanto, sua presença em águas de regiões de clima quente não deve ser ignorada pois, neste caso, a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos não pode ser excluída (CETESB, 2000).

As densidades de bactérias nos lodos municipais são altamente variáveis. A Tabela 3.9 sumariza os resultados para bactérias em lodo bruto.

TABELA 3.9 - Densidade de bactérias em lodo municipal (média geométrica por grama de peso seco)

MICROORGANISMOS	LODO PRIMÁRIO BRUTO	LODO SECUNDÁRIO BRUTO	LODO COMPOSTADO BRUTO
Coliformes totais	$1,2 \times 10^8$	$7,0 \times 10^8$	$1,1 \times 10^9$
Coliformes fecais	$2,0 \times 10^7$	$8,3 \times 10^6$	$1,9 \times 10^5$
<i>Streptococos Fecais</i>	$4,1 \times 10^5$	$1,7 \times 10^6$	$3,7 \times 10^6$
<i>Salmonella</i>	$4,1 \times 10^2$	$8,8 \times 10^2$	$2,9 \times 10^2$

Fonte: USEPA, 1992.

Diferentes dos vírus e protozoários, as bactérias necessariamente não decrescem em número no solo, pois têm condições ambientais favoráveis, tais como nutrientes, competição mínima com outros organismos, levando-as a multiplicarem-se (FEADEM *et al.*, 1983) apud EPA, 1992.

Estudos na Austrália sobre o crescimento da população de coliformes fecais e *Salmonella* sp em solos melhorados com lodo e na armazenagem do mesmo, mostraram que, após um ano, houve um aumento nas concentrações de coliformes fecais. Segundo os autores, isto aconteceu devido a ocorrência de chuvas, que tornou favorável o crescimento destas bactérias, as quais, provavelmente, haviam estado antes em quantidades não detectáveis e, em melhores condições (temperatura e chuvas), se reproduziram novamente em concentrações maiores que as do início dos ensaios (GIBBS *et al.* 1997).

Em condições ótimas de aplicação, 92 a 97% dos coliformes são retidos no primeiro centímetro do solo e são bastante raras as bactérias que ultrapassam 50cm do perfil (USEPA, 1992). No entanto, não se sabe ao certo o tempo de sobrevivência nos solos tropicais, o grau de contaminação nas culturas. Neste trabalho, pretende-se utilizar solo típico da região de Limeira, SP.

Na Tabela 3.10 pode-se verificar o tempo de sobrevivência dos principais grupos de agentes patogênicos em diversos meios.

TABELA 3.10 - Esquematização dos principais agentes patogênicos em lodos de esgotos e características determinantes para seleção de indicadores.

Organismo	Meio	Tempo de Sobrevivência (dias)	Distúrbio causado
BACTÉRIAS	Solo	60 a 365	
	Folhas de vegetais	35	
Coliformes fecais	Superfície do solo	4 a 55	
	Hortaliças	35	
	Gramma e ervas	6 a 34	
Escherichia coli	Vegetais	<21	Gastroenterites, diarreia aguda e infecções urinárias
	Pastagens	<8	
<i>Clostridium</i> spp			gangrena, tétano, botulismo e intoxicações alimentares
Estreptococos fecais	Solo	8 a 77	
<i>Salmonella</i> spp	Solo	15 a >280	gastroenterites agudas com diarreia, dores e vômitos e intoxicações
	hort., frutos, past.	3 a 49 dias	Alimentares
<i>Salmonella typhi</i>	Solo	1 a >280	febre tifóide
	Hortaliças	< 1 a 68	
<i>Salmonella paratyphi</i>			febre paratífóide
PROTOZOÁRIOS	Solo	2 a 10	
	Plantas	2 a 5	
Entamoeba	Solo	6 a 8	Amebíase
<i>Hystolítica</i> (cistos)	Hortaliças	<1 a 3	
<i>Giardia</i> spp			Giardiase
Vírus	Solo	90 a 180	
	Plantas	30 a 60	
Enterovírus	Solo	8 a 12	meningite, encefalite, doenças respiratórias,
	Hortaliças	4 a 6	conjuntivite hemorrágica aguda, febre
Adenovírus			doenças respiratórias e oculares
Rotavírus			vômitos e diarreias (principalmente crianças)
Hepatite A			hepatite infecciosa
HELMINTOS	Solo	2 a 7 anos	
	Planta	30 a 150 dias	
<i>Ascaris</i> spp (ovo)	Solo	até 7 anos	Ascariase
	Hortaliças e frutos	27 a 35 dias	
<i>Taenia saginata</i>			Teníase
<i>Taenia solium</i>			teníase ou cisticercose

Fonte: Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto, adaptado de: EPS (1984) e USEPA (1985 e 1992), Curitiba - 1998

3.6 LEGISLAÇÃO

3.6.1 Legislação para Biossólidos

No Estado de São Paulo, a CETESB aprovou, em agosto de 1999, um Manual Técnico na forma de Norma, adaptado da legislação da USEPA, de normas utilizadas nos Estados Unidos (Estado da Carolina do Norte e da Carolina do Sul) e de recomendações alemãs, contemplando os critérios para a elaboração de projetos, implantação e elaboração de sistemas de aplicação de lodos, visando atendimento de exigências ambientais (STRAUS, 2000).

A Norma P 4.230 – “Aplicação de Biossólidos em áreas agrícolas – Critérios para Projeto e Operação” (CETESB, 1999) visa maior controle sobre aplicações de lodo, ou melhor biossólidos, que já se iniciavam em algumas ETEs na época. Segundo a norma, o biossólido é definido como lodo proveniente do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos processado de modo a permitir seu manuseio de forma segura na utilização agrícola.

Em termos de patogenicidade, esta Norma divide o biossólido em duas classes: biossólido Classe A e biossólido Classe B, baseados na legislação estabelecida pela USEPA, conforme 40 CFR Part 503 (1992). Os critérios de classificação para biossólidos Classe A, são:

- para coliformes fecais, densidade inferior a 10^3 NMP/g ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais),
- para *Salmonella sp.*, densidade inferior a 3 NMP/4g ST (Número Mais Provável por 4 gramas de Sólidos Totais),
- processos para redução de patógenos aceitos: compostagem, secagem térmica, digestão aeróbia termofílica, irradiação e pasteurização.

Os critérios de classificação para biossólidos Classe B, são:

- para coliformes fecais, densidade inferior a 2×10^6 NMP/g ST (Número Mais Provável por Grama de Sólidos Totais) em pelo menos uma amostra ou a média geométrica da densidade de 7 amostras,
- processos para redução de patógenos aceitos: digestão aeróbia, secagem, digestão anaeróbia, compostagem e estabilização com cal.

A Norma também cita algumas exigências quanto à aplicação de lodo Classe B: evitar aplicação manual e cultivo até 30 dias após a aplicação; não cultivar, em até 14 meses após a aplicação, alimentos cuja parte consumida toque o lodo (melões, pepinos, hortaliças, etc.); não poderão ser cultivados alimentos cuja parte consumida fique abaixo da superfície do solo até 38 meses após a aplicação de lodo se o mesmo for incorporado no solo durante os primeiros 4 meses ou até 9 meses se não houver a incorporação antes de 4 meses após a aplicação.

Outra limitação relevante, no controle de contaminação, é a distância mínima entre a superfície do terreno e o nível do lençol freático, a qual deve ser superior a 1,20 metros na época da aplicação.

A frequência de monitoramento do biossólido depende da quantidade destinada a aplicação na agricultura. Se for menor que 1500 em toneladas/ano (base seca) deverá ser analisada uma amostra composta trimestral, para quantidades maiores que 1500 em toneladas/ano (base seca) deverá ser analisada uma amostra composta a cada 60 dias. Além das análises microbiológicas citadas anteriormente também deverão ser realizados outros parâmetros físico-químicos contidos na Norma.

3.6.2 Legislação para Águas de Irrigação e Subterrânea

Outro fator interessante que pode ser correlacionado na reciclagem agrícola do lodo é a concentração de coliformes fecais permitida pela legislação nas águas de irrigação de origem superficial ou subterrânea, uma vez que nesta pesquisa o lodo aplicado no solo encontrava-se na forma líquida, o que poderia facilitar a contaminação do lençol de águas subterrâneas, que ocasionalmente fosse utilizado na irrigação.

No Brasil, a Portaria 21 CVS (Centro de Vigilância Sanitária) de 1991, legisla sobre os limites microbiológicos permissíveis para água de irrigação de plantações de hortaliças e frutas rasteiras e também água subterrânea para uso na irrigação. Esta Portaria define que a água usada para irrigação de hortaliças e frutas rasteiras não deve conter uma concentração superior a 1000 coliformes fecais em 100 mL de amostra. São obrigatórias análises bacteriológicas com uma frequência mínima de 6 amostras/ano (1 a cada bimestre) para água de superfície e 4 amostras/ano (1 a cada trimestre) para águas subterrâneas, sendo que 80% das amostras coletadas anualmente não deverão conter concentração superior a 1000 coliformes fecais em 100 mL de amostra e os 20 % das amostras restantes não poderão conter mais de 4000 coliformes fecais em 100 mL.

Segundo a WHO (1989), a utilização de esgotos para fins de irrigação na agricultura é uma prática antiga que vem sendo utilizada por diversos países: Austrália, Alemanha, Índia, México, Tunísia. Os limites microbiológicos pré-estabelecidos para utilização de esgotos na irrigação agrícola são: menos que 1 ovo viável de nematóide/L para irrigação restrita e irrestrita; menos que 1000 CF/100 mL, para irrigação irrestrita. Entende-se por irrigação restrita aquela destinada a plantações de hortaliças e frutas rasteiras, campos para prática de esportes e parques públicos. Já a irrigação irrestrita destina-se à árvores, alimentos processados na indústria, pastagens e árvores frutíferas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental foi instalada no Centro Superior de Educação Tecnológica – CESET, Campus da UNICAMP situado na cidade de Limeira – SP, latitude Sul 23°33', longitude Oeste 47°26', altitude 635,9 m. A escolha do local para montagem do experimento levou em consideração os seguintes aspectos: segurança do local (cercado, não permitindo a entrada de pessoas estranhas) e a existência de uma Estação Hidrometeorológica no próprio campus (ao lado da área do experimento), onde foi possível coletar dados de precipitação durante a realização do trabalho, visando correlacioná-los com os resultados obtidos, além da infra-estrutura do laboratório de Saneamento existente no mesmo campus, onde foram realizadas as análises de coliformes.

Para a realização do experimento, decidiu-se utilizar protótipos, denominados reatores pilotos, preenchidos com solo, permitindo assim uma melhor avaliação do comportamento do solo que recebeu o lodo, preservando de forma adequada as condições sanitárias para a proteção e saúde das pessoas que participaram do trabalho em campo e também evitando uma possível contaminação do solo e do lençol de águas subterrâneas com a infiltração do lodo aplicado.

As aplicações de lodo no solo ocorreram em todas as estações do ano, inclusive repetindo-se algumas das estações climáticas. Desta forma, pôde-se correlacionar os resultados obtidos nas diferentes situações climáticas do período (primavera, verão, outono e inverno), verificando-se assim o efeito das chuvas e temperatura no sistema.

As coletas de amostras foram realizadas ao longo das aplicações de lodo, que ocorreram a cada quarenta dias, aproximadamente, baseando-se na atividade microbiana dos testes de respirometria (NT-L6.350 – CETESB, 1990 e ABNT 01:603.06-607, 1993).

Os reatores foram dispostos em área aberta (no interior do campus da UNICAMP, em Limeira - SP) para sofrerem todas as influências do meio físico, aproximando-se ao máximo das condições reais de um experimento em escala real, conforme Figura 4.1.



FIGURA 4.1 – Vista geral dos reatores e local do experimento

A parte experimental teve duração de quase 2 anos e no decorrer desse período houveram alterações na metodologia utilizada, por isso os resultados obtidos durante todo o período do experimento foram subdivididos em 2 etapas: ETAPA 1 - monitoramento de coliformes totais e fecais no lodo, solo e líquido percolado, utilizando o método de tubos múltiplos (março/2000 à julho/2001); ETAPA 2 - monitoramento de coliformes totais e *Escherichia coli* no lodo, solo e líquido percolado pelo método cromofluorogênico (novembro/2001 à março/2002).

4.1 MONTAGEM DOS REATORES

Para montagem do experimento, foram utilizados 18 reservatórios cilíndricos de fibra de vidro com diâmetro de 1,10m e altura 1,20m, denominados de reatores (Figuras 4.2 e 4.3), para acondicionar o solo e neste realizar as aplicações de lodo nas diferentes taxas hidráulicas. Foram selecionados estes reatores pelos seguintes motivos:

- maior representatividade do perfil do solo devido as suas dimensões;
- menor interferência do efeito da temperatura no solo próximo às paredes dos reatores de fibra de vidro se comparados com os de polietileno, utilizados em experimentos anteriores (DRAGONE SOBRINHO, 2000; GUILHERME, 1998 e NUVOLARI, 1996);
- área superficial suficiente para realização das coletas de solo sem interferir na estrutura do solo.

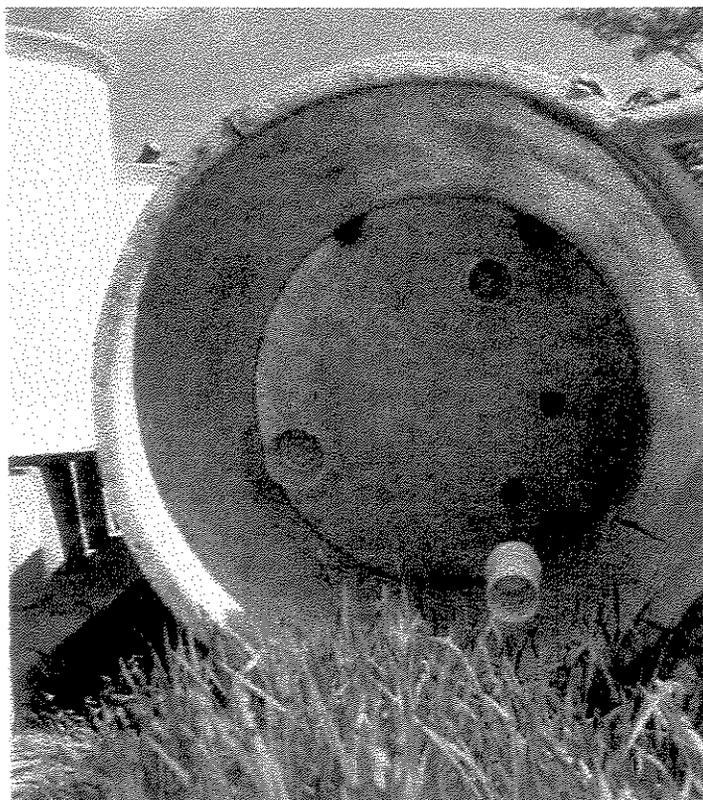


FIGURA 4.2 – Vista interna de um reator com os coletores sem o preenchimento de solo

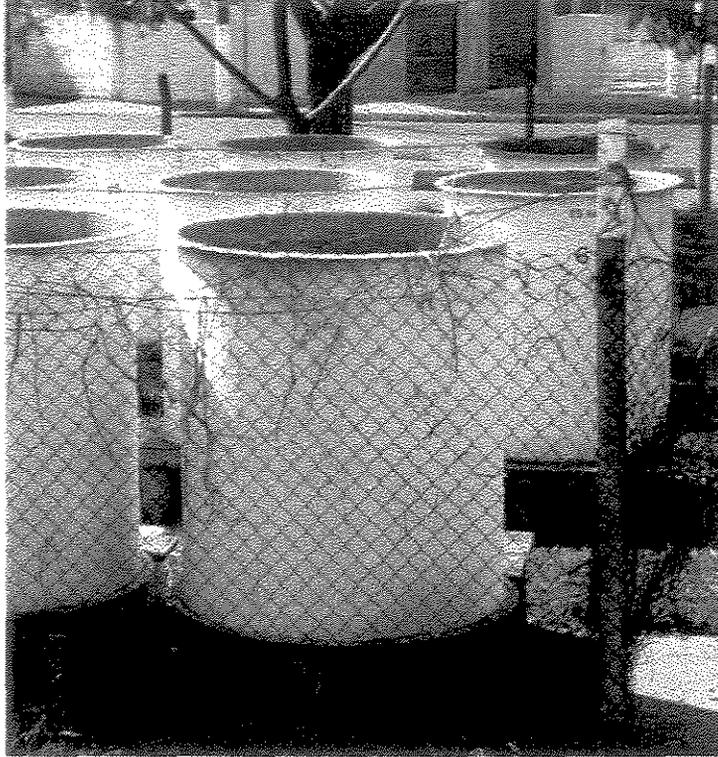


FIGURA 4.3 – Vista externa da disposição de cada reator no local do experimento

As taxas hidráulicas para aplicação de lodo, em tss/ha (toneladas de sólidos secos por hectare), utilizadas neste experimento foram:

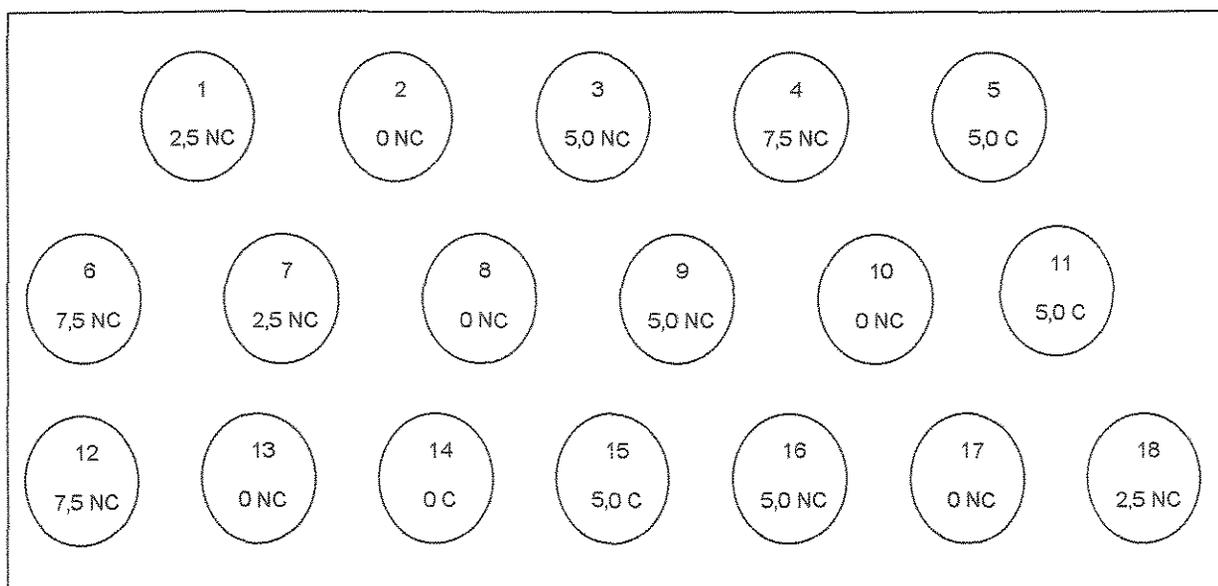
- 0 tss/ha NC (solo controle), solo natural não corrigido;
- 2,5 tss/ha NC, solo natural não corrigido;
- 5,0 tss/ha NC, solo natural não corrigido;
- 7,5 tss/ha NC, solo natural não corrigido;
- 0 tss/ha C (solo controle), com pH do solo corrigido para 7;
- 5,0 tss/ha C, solo com pH corrigido para 7.

Para cada taxa foram utilizadas três repetições, ou seja, três reatores, resultando um total de dezoito reatores para o experimento.

A correção do pH no solo de alguns reatores foi realizado para verificar se este procedimento alteraria o comportamento microbiológico, uma vez que o solo utilizado apresentava pH baixo (em torno de 4).

Estas taxas foram selecionadas com base em trabalhos anteriores realizados por CORAUCCI FILHO (2000) e NUVOLARI (1996), que utilizaram taxas de 5,0; 10 e 15,0 tss/ha e obtiveram os melhores resultados com a taxa 5,0 tss/ha. A partir destes resultados, decidiu-se utilizar taxas próximas a este valor, imediatamente abaixo e acima da melhor taxa, no caso 2,5; 5,0 e 7,5 tss/ha, para verificar qual delas apresentaria melhores resultados sob os aspectos sanitários.

Os reatores foram distribuídos aleatoriamente na área destinada ao projeto, afim de evitar uma distribuição viciada, podendo causar interferência nos resultados. A distribuição dos reatores "in loco" está demonstrado na Figura 4.4. Cada reator foi identificado com um número e sua taxa de aplicação, em tss/ha(Figuras 4.4 e 4.5).



NC – solo não corrigido
C – solo corrigido (pH \approx 7)

FIGURA 4.4 – Croqui da disposição dos reatores no área do experimento

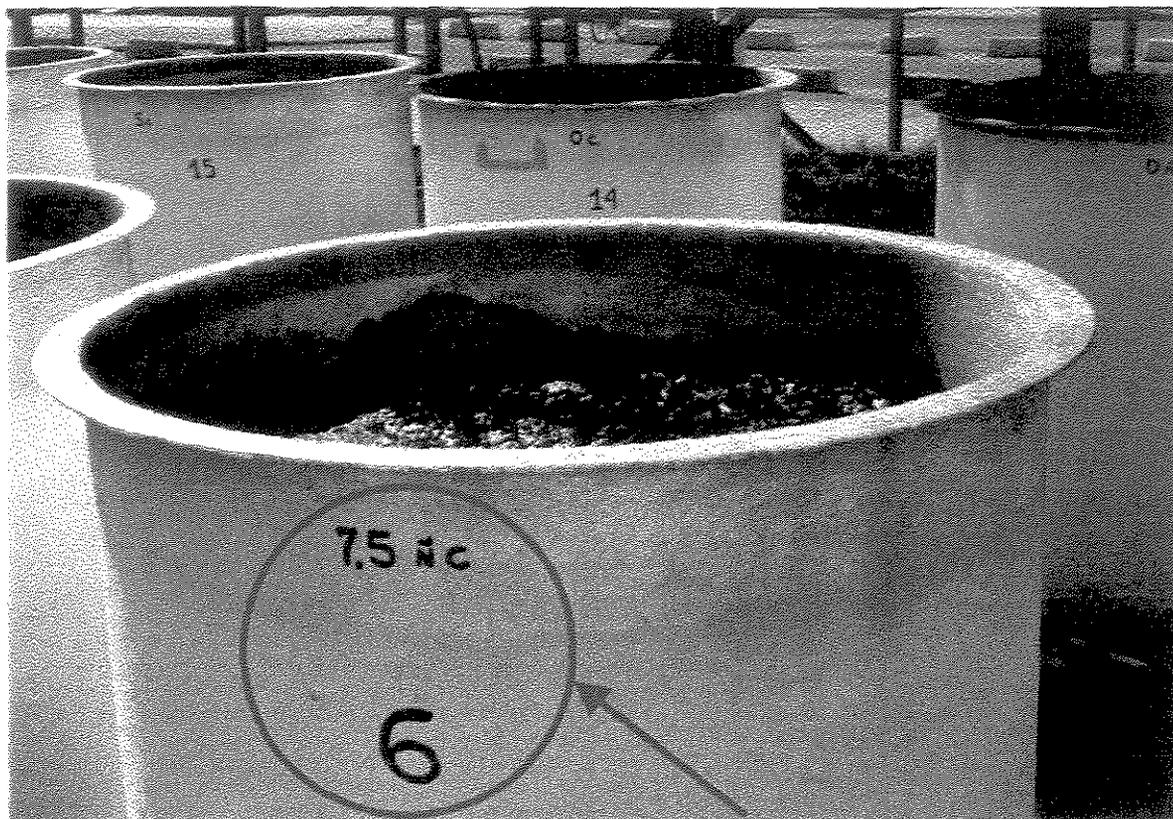


FIGURA 4.5 – Identificação dos reatores no local do experimento, em detalhe a taxa de aplicação (em toneladas/hectare, lodo base seca), solo corrigido (C) ou não corrigido (NC) e logo abaixo encontra-se o número da cuba de acordo com sua disposição "in loco"

No fundo dos reatores foram feitos orifícios para a saída dos coletores e, em cada um, foram instalados três coletores de drenagem livre, posicionados em três profundidades diferentes: 0,25; 0,50; 0,75m, havendo ainda, uma saída de descarte de fundo (1,00m), totalizando assim, 4 pontos de coleta de líquido percolado (Figuras 4.6 e 4.7). Estas profundidades foram escolhidas de forma aleatória, tomando-se o cuidado para que a distância de 25 cm entre cada uma delas fosse suficiente para a coleta de líquido percolado. Os coletores foram distribuídos no interior do reator de tal forma que nenhum ficasse sobreposto no outro.

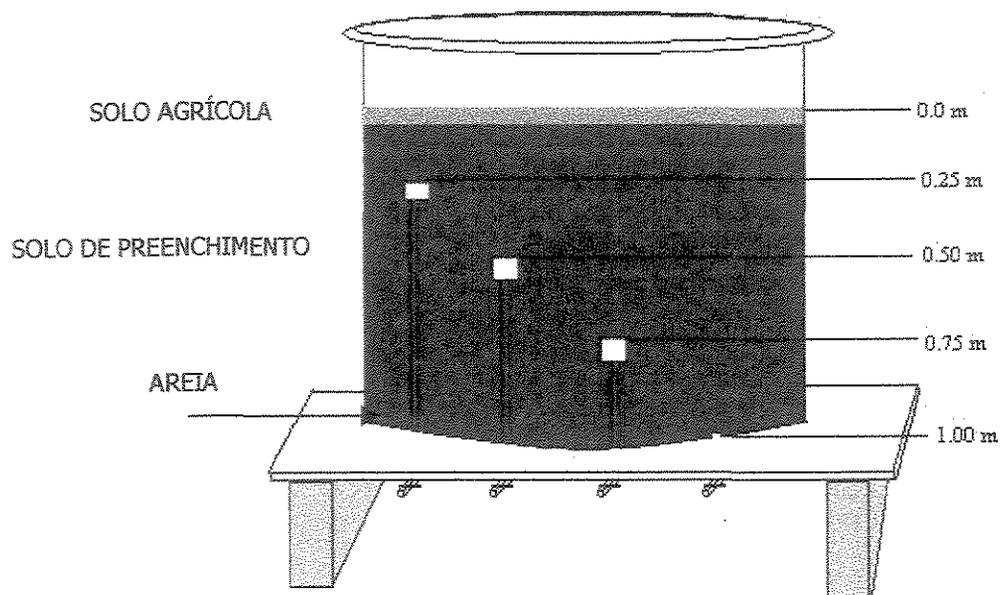


FIGURA 4.6 – Esquema da disposição dos coletores, posicionados no interior dos reatores

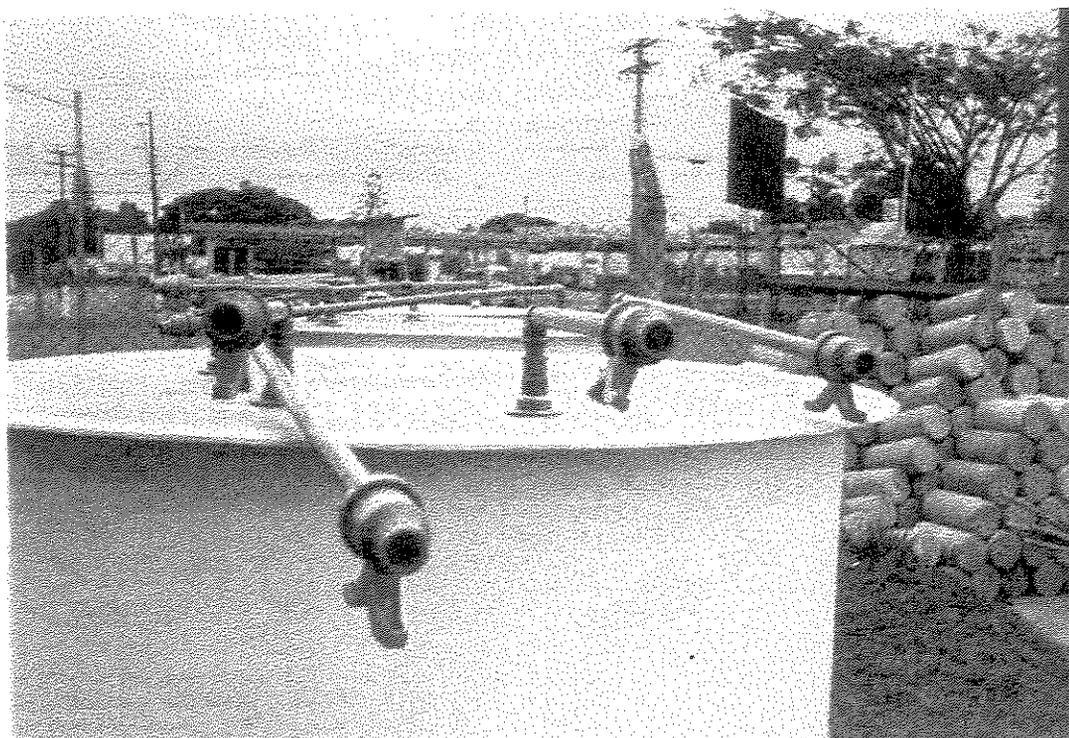


FIGURA 4.7 – Registros de saída dos coletores na parte inferior do reator que está invertido

Os coletores foram confeccionados com tubos de PVC, grelha e CAP, conforme Figura 4.8. Em pesquisas anteriores, foram testados outros tipos de coletores de líquido percolado, como os lisímetros com ponta de cerâmica porosa para a coleta do líquidos intersticial ou percolado, no entanto estes coletores não tinha sucesso uma vez que entupiam facilmente. Após algumas tentativas frustradas, como o uso de manta sintética tipo bedin, foi testado este tipo de coletor sem a manta, apenas com uma tela protetora a fim de evitar o acúmulo de areia, obtendo-se desta forma os melhores resultados. Um outro detalhe importante foi o comprimento do tubo instalado na parte superior do coletor, o qual tinha aproximadamente 15 cm de altura, que também era preenchido com solo, fazendo com que o caminho da água não fosse desviado. Próximo à tela de proteção foi colocada uma fina camada de areia grossa para evitar entupimentos.

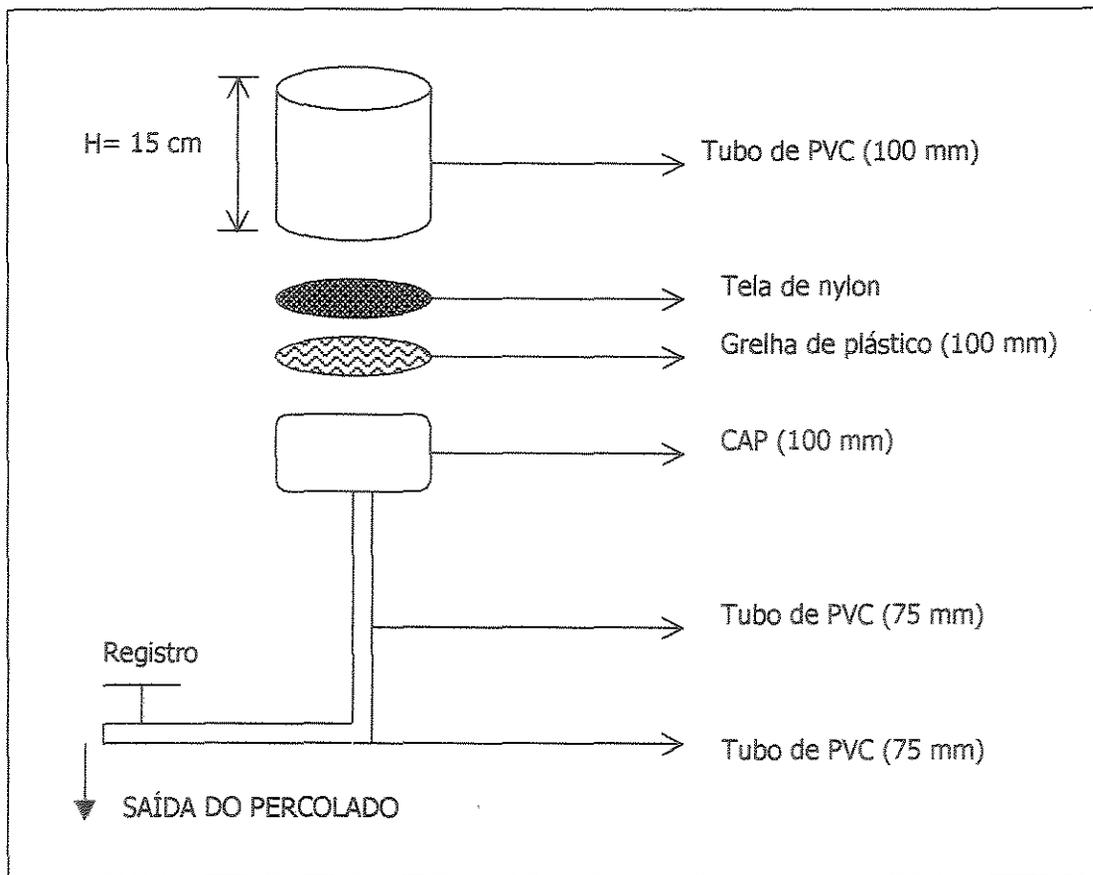


FIGURA 4.8 – Esquema da montagem dos coletores

Após a instalação dos coletores de drenagem livre nos reatores, os mesmos foram colocados em cima de pequenas colunas de concreto (corpos de prova cilíndricos utilizados na construção civil), a uma altura de 0,40m do solo. Esta altura foi definida para permitir a coleta de amostras do líquido percolado no ponto de descarte de fundo.

Só então os reatores foram preenchidos com o solo. Inicialmente, foi colocada uma fina camada de areia grossa no fundo dos reatores (5cm) e, em seguida, o solo foi acondicionado dentro dos reatores, tomando-se os devidos cuidados com os coletores internos. Os reatores foram preenchidos com solo até a altura de 0,85m, sendo adicionada uma camada superficial de solo agrícola de espessura 0,15m, para aproximar ao máximo das condições reais de campo (Figura 4.9). Dessa forma, os reatores preenchidos com 1,00 m de solo, ainda ficaram com uma borda interna livre de 0,25 m para a disposição segura do lodo, uma vez que este era aplicado na forma líquida.



FIGURA 4.9 – Enchimento dos reatores com solo

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Antes da montagem dos reatores, foi realizada a caracterização dos dois tipos de solos usados no preenchimento dos reatores, o solo de preenchimento foi classificado como tipicamente argiloso e o solo agrícola, utilizado na camada superficial, como franco-argiloso. As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório Agrotécnico de Piracicaba S/C Ltda – PIRASOLO e no Instituto Agronômico de Campinas – IAC (Anexo A). As análises de granulometria e capacidade de campo foram realizadas no Laboratório de Hidrologia da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP (Anexo A).

Análise granulométrica – Determinou-se a curva granulométrica, utilizando-se o Método M6-61 (DER-SP – 1974) "Análise granulométrica de solos por peneiração e sedimentação (Processo do densímetro). A partir da curva granulométrica determinou-se a textura do solo em questão, utilizando-se o "Triângulo para determinação das classes texturais" (MEDINA, 1975).

Capacidade de campo - Para a determinação da capacidade de campo, adotou-se o procedimento de laboratório, que utiliza o aparelho chamado "Membrana de Richards", descrito por REICHARDT (1985). Deste obtém-se os pontos da curva de retenção de água no solo. Esta curva apresenta o teor de umidade residual para cada ponto de pressão aplicada no aparelho. A partir destes valores e conhecendo a textura do solo, pode-se definir a tensão e a umidade correspondentes à sua capacidade de campo.

4.3 LODO DE ESGOTO

O lodo de esgoto utilizado neste experimento foi coletado em São Bernardo do Campo- SP, na estação de tratamento de esgotos (ETE) do Bairro Riacho Grande, situada às margens da represa Billings, como mostra a Figura 4.10. Foi escolhido este lodo pois além de ser estritamente de origem doméstica, já havia sido utilizado em trabalhos anteriores (DRAGONE SOBRINHO, 2000; GUILHERME, 1998 e NUVOLARI, 1996) desenvolvidos no Departamento de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP.

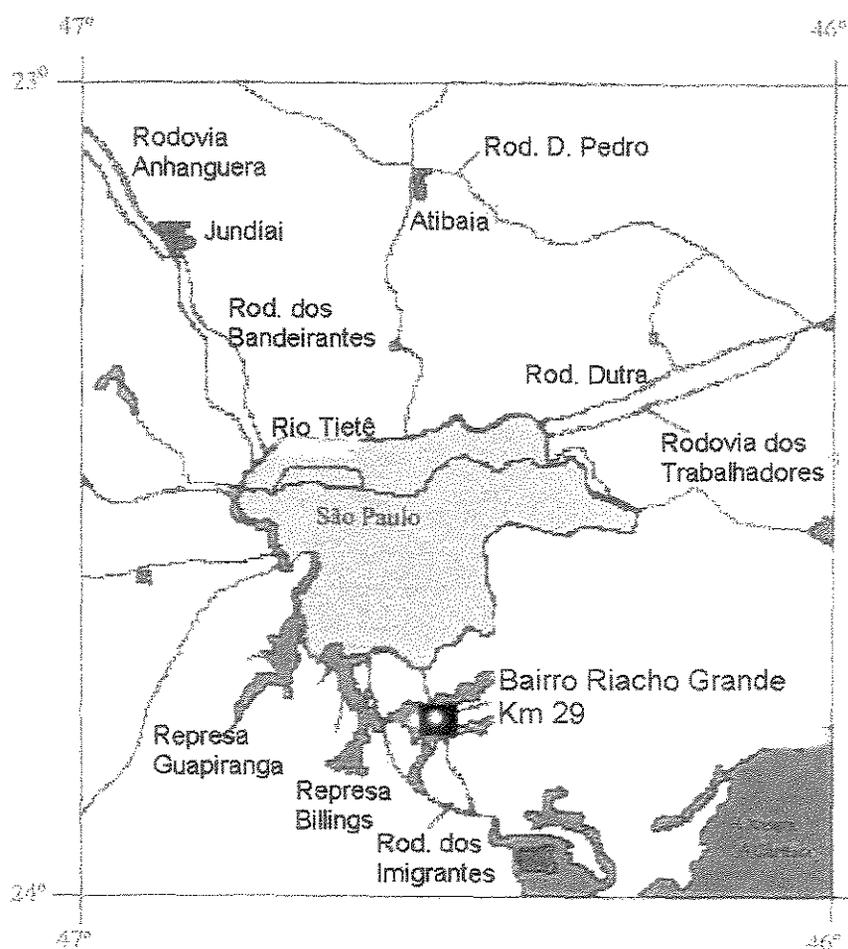


FIGURA 4.10 – Mapa de localização da ETE do Bairro Riacho Grande

O sistema de tratamento é composto por um valo de oxidação com aeração prolongada (Figura 4.11). O esgoto tratado é basicamente de origem doméstica, atendendo uma população equivalente a 10.000 habitantes.

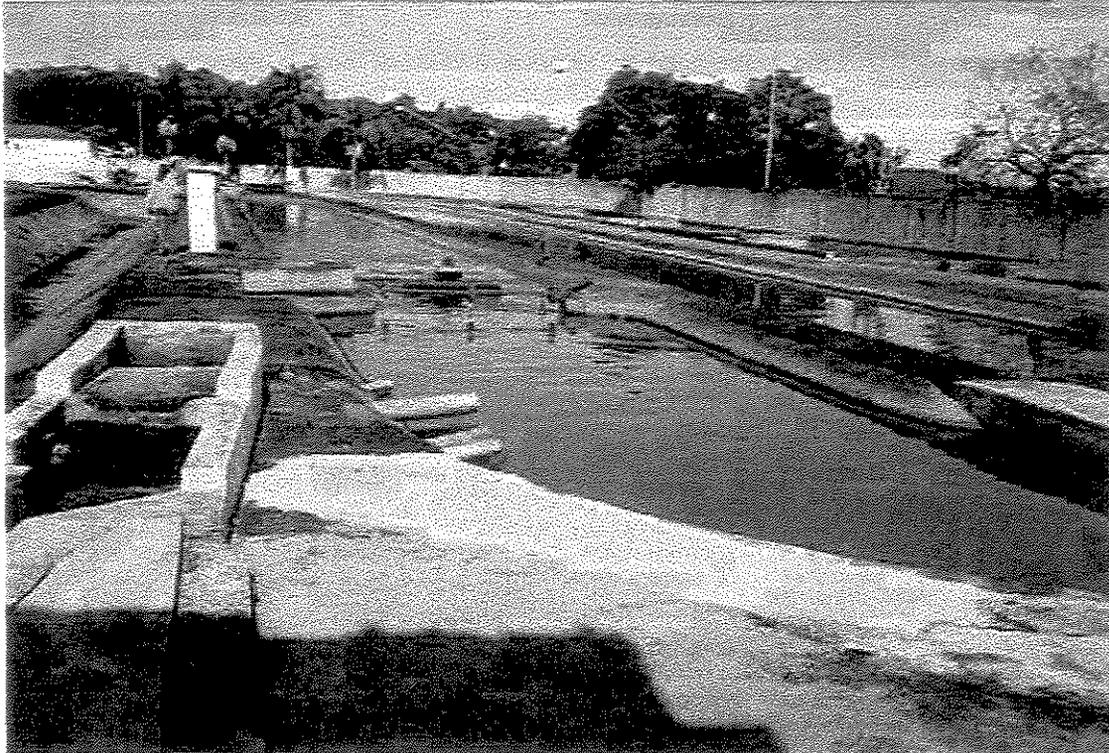


FIGURA 4.11 – Vista geral do valo de oxidação da ETE de São Bernardo do Campo - SP

A vazão afluyente é de 5 L/s. A ETE é composta por 1 unidade de gradeamento, 2 caixas de areia, 2 valos de oxidação, 2 decantadores e 1 poço para armazenamento de lodo. O esgoto entra no valo de oxidação, o qual possui um aerador do tipo escova rotativa com placas de madeira fornecendo oxigênio necessário para a degradação da matéria orgânica pelas bactérias aeróbias. Do valo de oxidação, o esgoto segue para os decantadores, onde ocorre a separação dos sólidos sedimentáveis. O efluente tratado sai da ETE e o lodo decantado retorna ao valo de oxidação para reativá-lo, mantendo desta forma a biomassa de microrganismos. O tempo de detenção do lodo no valo de oxidação é de, aproximadamente, 30 dias, quando é retirado e destinado para o leito de secagem (Figura 4.12), antes de sua disposição final em aterro sanitário.

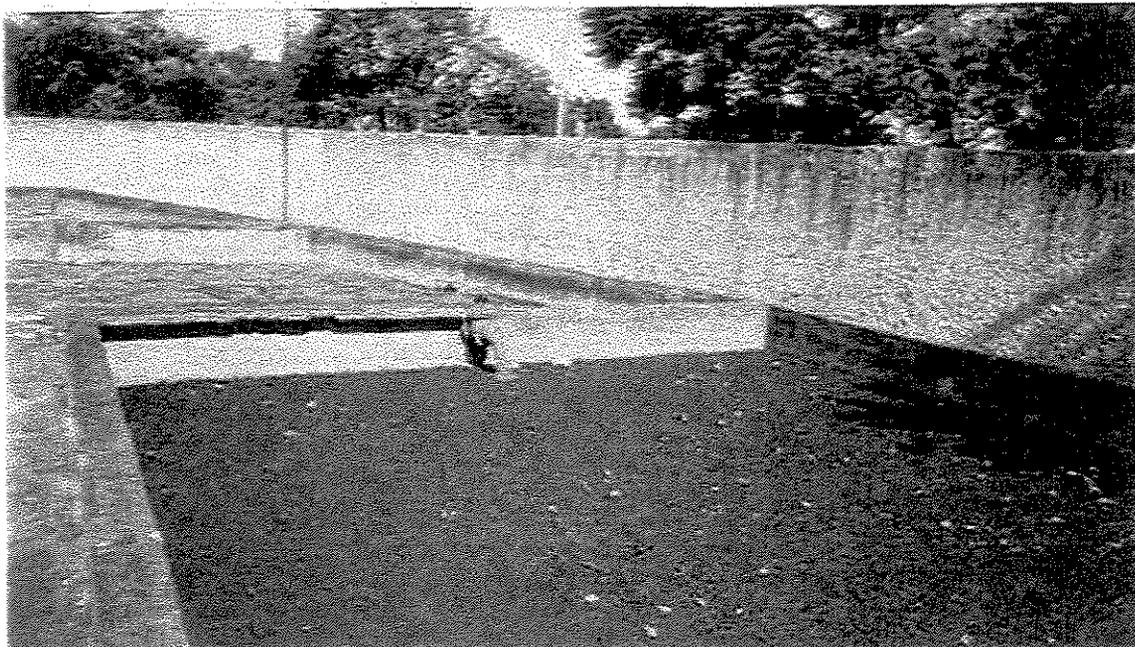


FIGURA 4.12 – Vista do leito de secagem de lodo

O lodo era coletado diretamente na saída do decantador sempre uma semana antes da aplicação, acondicionado em bombonas de polietileno de 20 litros e transportados até o Laboratório de Saneamento do CESET em Limeira. Este tempo era necessário para que as análises preliminares (série de sólidos) fossem realizadas antes da aplicação do lodo nos reatores, inclusive uma pequena parte deste lodo era desidratado para aplicação nos respirômetros que deveria ocorrer no mesmo dia da aplicação nos reatores.

4.3.1 Determinação do volume de lodo a ser aplicado em cada taxa hidráulica

As aplicações de lodo nos reatores foram realizadas a partir de taxas pré-determinadas. O lodo utilizado no experimento apresentava-se na forma líquida (Figura 4.13), sendo portanto necessário calcular o volume de lodo líquido aplicado em cada taxa.

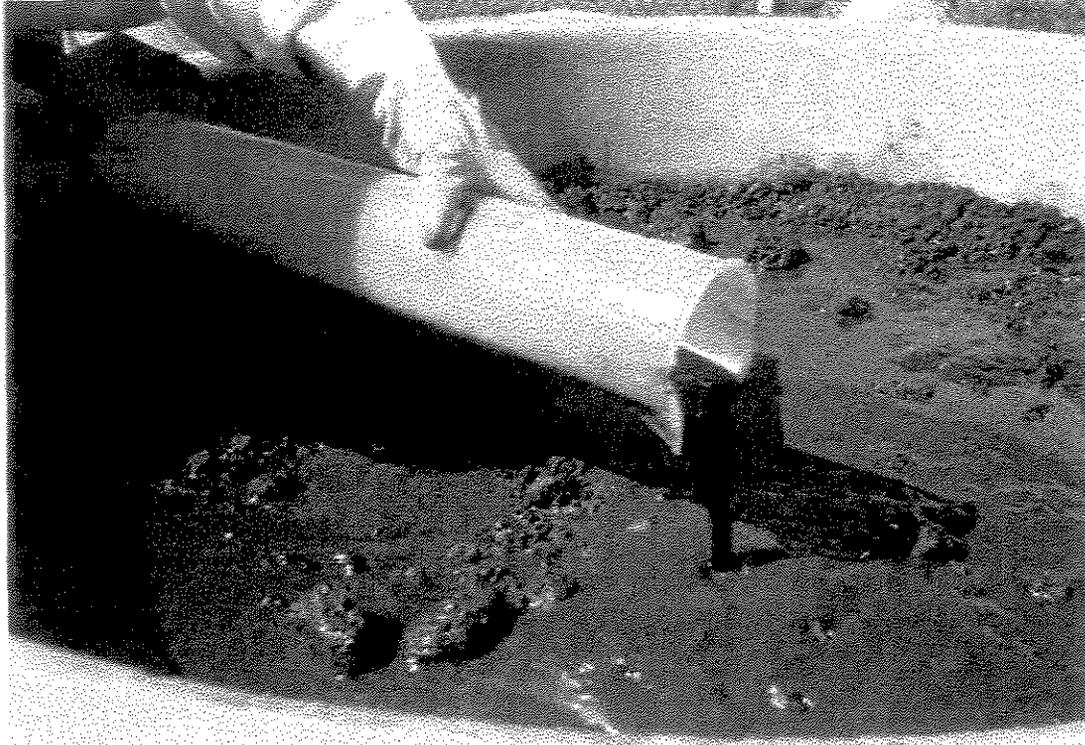


FIGURA 4.13 – Demonstração da aplicação do lodo líquido nos reatores

A determinação do volume de lodo a ser aplicado no solo dependia da área superficial do reator, da taxa a ser aplicada e da quantidade de sólidos totais presentes no lodo. Como o teor de sólidos totais no lodo era uma variante e mudava a cada coleta, era necessário calcular o volume de lodo líquido a cada reaplicação nas diferentes taxas propostas.

Após a determinação do teor de sólidos totais no lodo, de acordo com o Standard Methods (AWWA, 1995), era calculado o volume de lodo a ser aplicado em cada taxa. Este cálculo era realizado de acordo com a seguinte equação:

$$V_L = T_c / C_{SL} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

onde: V_L – volume de lodo a ser aplicado (L)

T_c – quantidade de lodo seco a ser aplicado em cada taxa (g)

C_{SL} – concentração de sólidos no lodo (g/L)

4.4 RESPIROMETRIA

A respirometria funcionava como baliza para a frequência das reaplicações de lodo no solo, pois, neste caso, o projeto visava uma disposição controlada do lodo no solo. O objetivo da respirometria era avaliar a atividade microbiológica de um solo, através da medida do CO₂ gerado no processo de degradação da matéria orgânica. Segundo SIVIERO *et al.* (2001), este ensaio permite estimar o tempo para a estabilização de um resíduo orgânico, quando este é lançado no solo.

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 4.14) era medida a quantidade de CO₂ gerado, tanto do solo controle quanto da mistura solo/lodo, nas diferentes taxas. O CO₂ gerado é decorrente da degradação aeróbia da matéria orgânica do solo, sendo este reagido com a solução de KOH colocada no interior do respirômetro. O procedimento de avaliação da respirometria é a titulação do KOH, com HCl, após um determinado tempo de incubação, permitindo o cálculo da quantidade de CO₂ gerado no processo.

Com estes resultados, sabe-se o tempo em que ocorreu a degradação máxima do resíduo e quando a mesma estabilizou ou cessou, indicando assim em quanto tempo a matéria orgânica havia sido degradada e o lodo poderia ser novamente aplicado.

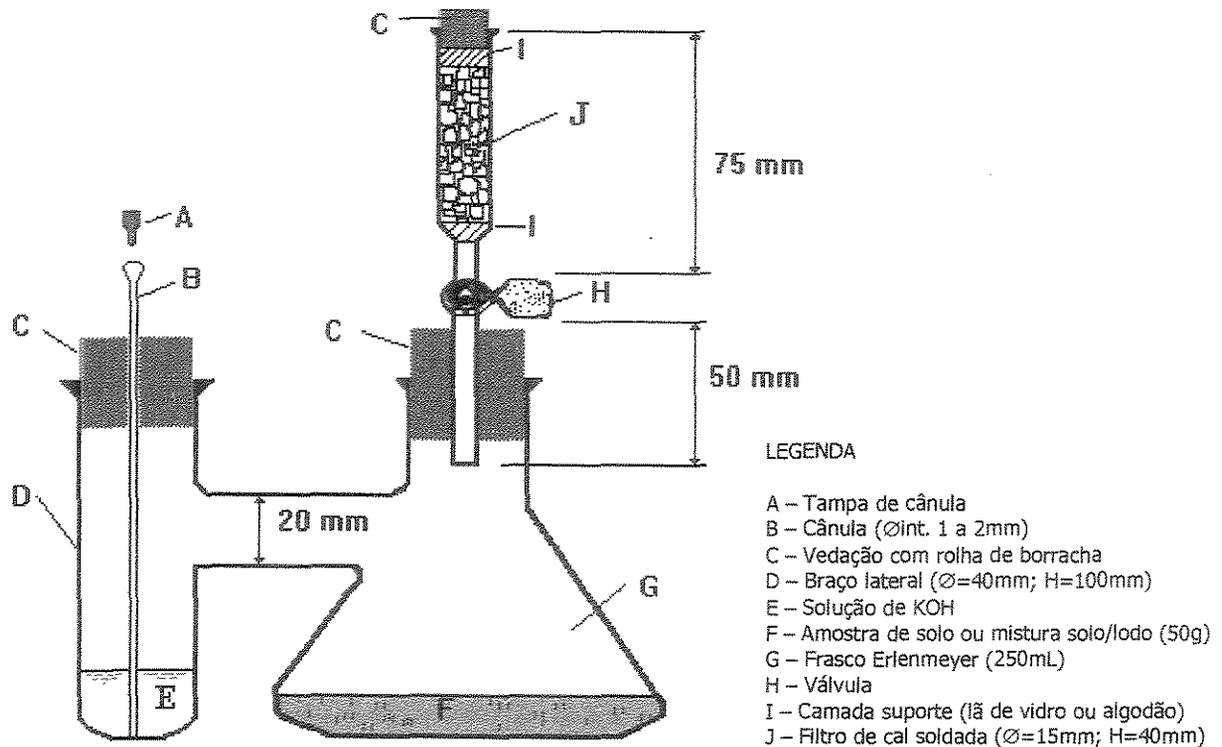


FIGURA 4.14 – Esquema de um respirômetro padrão (BARTHA), em detalhe

As reapiques de lodo nos respirômetros ocorriam em conjunto com as reapiques nos reatores. Assim, quando a geração de CO_2 diminuía, concluía-se que a matéria orgânica existente na aplicação anterior havia sido degradada, ou seja, já era possível fazer a reapique do lodo. Com base nos experimentos realizados anteriormente (NUVOLARI, 1996) e acompanhando os resultados da respirometria (desenvolvidos por outra pessoa no mesmo tema de projeto), as reapiques de lodo ocorreram a cada 40 dias, aproximadamente.

Apesar de, em trabalhos anteriores (NUVOLARI *et al.*, 1997), o uso de respirômetros alternativos (de menor custo) ter sido bastante satisfatório, foi decidido pela utilização do respirômetro padrão, ilustrado anteriormente, pois no próprio laboratório da UNICAMP já havia a quantidade necessária para a realização do experimento.

4.5 ANÁLISES DE MONITORAMENTO E PONTOS DE COLETA

4.5.1 Determinação de Coliformes Totais e Fecais (Tubos Múltiplos)

A contagem de coliformes totais e fecais no lodo, solo e líquido percolado foi realizada pelo método de tubos múltiplos, que se refere à determinação de organismos com base em sua termotolerância. Este método é recomendado pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater para análise de amostras de água, solos e lodos (AWWA, 1995). O método de tubos múltiplos para coliformes tem sido utilizado em outras pesquisas visando reciclagem agrícola do lodo de esgoto, como por exemplo na metodologia citada por FERNANDES *et al.* (1996), o qual utiliza a Norma da CETESB L-5.202 para realizar suas análises.

A escolha pela técnica de tubos múltiplos na determinação dos coliformes na primeira etapa também levou em consideração outros fatores: diferentes tipos de amostras (lodo, solo e líquido percolado), infra-estrutura do laboratório, recursos humanos e financeiros disponíveis durante o projeto no período.

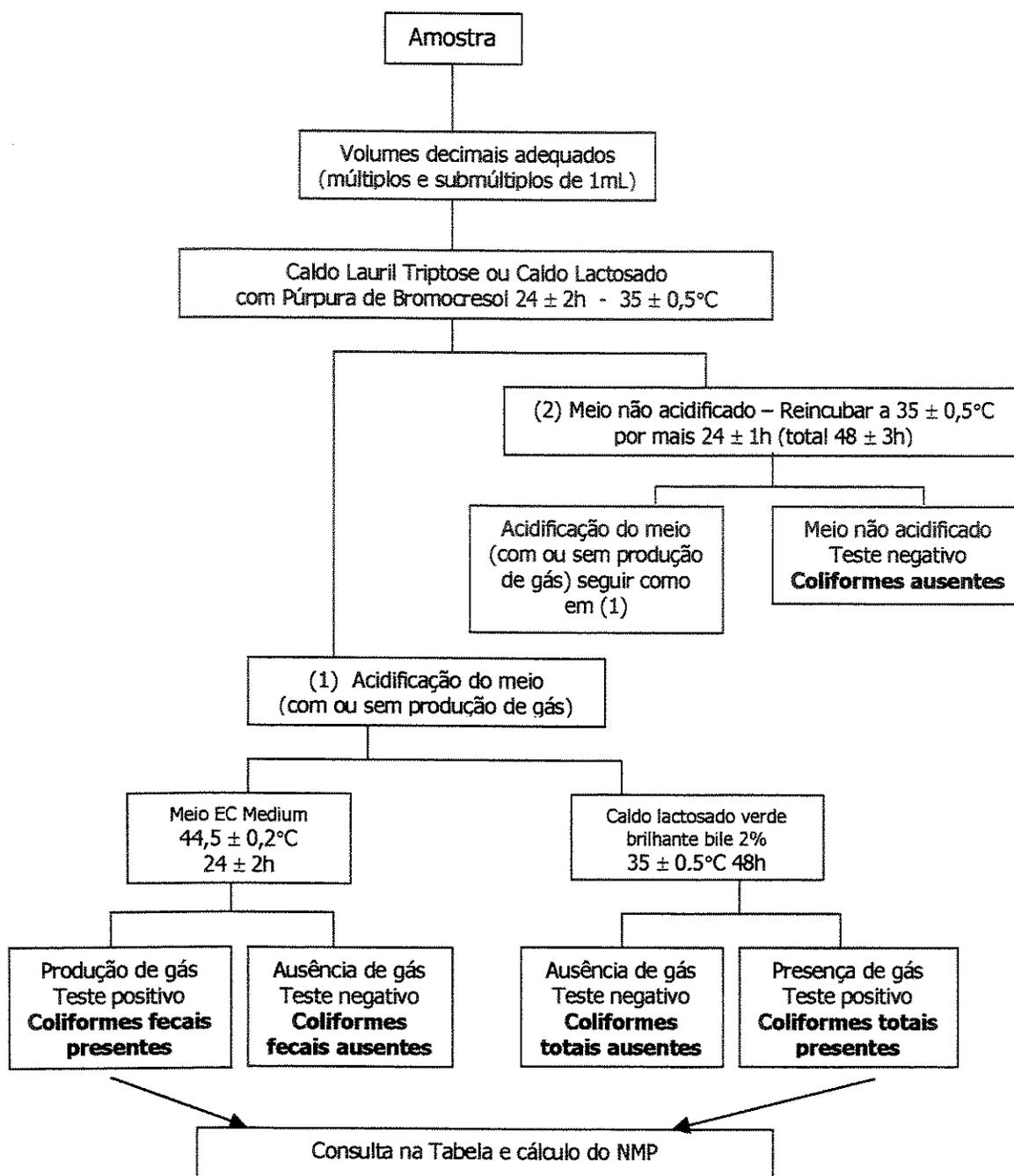
Este método baseia-se no princípio de que as bactérias presentes em uma amostra podem ser separadas umas das outras por agitação, resultando uma suspensão de células bacterianas individuais, uniformemente distribuídas na amostra original. Consiste na inoculação de volumes decrescentes da amostra, em meio de cultura, adequado ao crescimento dos microrganismos pesquisados, sendo cada volume inoculado em uma série de tubos. Através de diluições sucessivas da amostra, são obtidos inóculos, cuja semeadura fornece resultados negativos em pelo menos um tubo da série em que os mesmos foram inoculados e a combinação de resultados positivos e negativos permite a obtenção de uma estimativa da densidade original das bactérias pesquisadas, através da aplicação de cálculos de probabilidade (NMP – Número Mais Provável).

Para as análises de lodo, solo e eventualmente do líquido percolado foram utilizados fator 10 de diluição, sendo inoculados múltiplos e submúltiplos de 1mL da amostra, utilizando-se séries de 5 tubos para cada diluição.

Os frascos contendo água de diluição eram preparados antecipadamente, utilizando-se para cada litro de água destilada, 8,5 g de cloreto de sódio (solução de cloreto de sódio a 0,85%) e, após homogeneização, eram distribuídos 90 mL da mistura em cada frasco, próprio para água de diluição, sendo esterilizados em autoclave, durante 15 minutos à uma pressão de 1 atm/121° C, em seguida armazenados a $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (geladeira).

Os meios de cultura Caldo Lactosado, meio EC Medium e o Caldo Lactosado Verde Bile Brilhante também eram preparados antecipadamente e, após esterilização em autoclave, armazenados a $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (geladeira). Tanto os meios de cultura, quanto as águas de diluição eram utilizadas até quinze dias após sua preparação.

A análise de coliformes se processa em duas etapas (ensaio presuntivo e confirmativo), sendo realizada de acordo com as especificações da Norma Técnica – CETESB – L5.202 (1993), conforme esquematizado na Figura 4.15. No experimento foi utilizado as duas etapas.



Fonte: CETESB, 2000.

FIGURA 4.15 – Organograma dos procedimentos necessários para a análise de coliformes totais e fecais pela técnica de tubos múltiplos.

4.5.2 Pontos de Coleta de Amostras

As análises de coliformes totais e fecais foram realizadas nas seguintes amostras:

- lodo de esgoto em cada aplicação;
- solo contido nos reatores ao longo das aplicações;
- líquido percolado nos coletores de cada reator, bem como nas saídas de fundo.

O lodo bruto era caracterizado no dia da aplicação, ou seja, a cada reaplicação (aproximadamente, a cada 40 dias). Para a determinação de coliformes no lodo, eram separados, aproximadamente, 500mL de amostra de lodo. Utilizando-se um pipeta estéril eram transferidos 10 mL da amostra para o primeiro frasco com água de diluição (10^{-1}). Após homogeneizar esta primeira diluição durante 1 minuto, com uma nova pipeta eram transferidos 10 mL desta para a próxima diluição (10^{-2}) e assim sucessivamente até a diluição 10^{-9} . Do frasco contendo a maior diluição (10^{-9}), com uma pipeta estéril eram semeados 1 mL da diluição em uma série de 5 tubos de caldo lactosado com púrpura de bromocresol, repetindo este procedimento até a menor diluição (10^{-1}). Em seguida as séries de tubos de cada diluição eram incubados em estufa a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 24 a 48 horas, seguindo as etapas descritas na Figura 4.15.

O monitoramento do solo era realizada entre os intervalos de cada reaplicação de lodo nas diferentes taxas, porém para realização destas análises era necessário grande quantidade de material laboratorial, por causa das várias diluições para cada amostra de solo. Neste caso, devido à quantidade de amostras, capacidade do laboratório e também mão de obra disponível, foram realizadas as análises de CT e CF de, em média, 6 a 9 amostras de solo por semana. Para cada amostra eram coletados, aproximadamente, 100 g de solo do reator pré determinado. O solo era coletado de forma composta na profundidade de 0 a 15 cm, com espátula devidamente higienizada, sendo acondicionado em sacos autoclaváveis. Desta amostra, pesava-se 10 g e inoculava-se em um

frasco com 90 mL de água de diluição (10^{-1}), sendo levemente agitado durante 1 minuto, em seguida, deixava-se descansar por pelo menos 1 hora. Após este tempo, com uma pipeta esterilizada transferia-se 10 mL da diluição 10^{-1} para a diluição 10^{-2} . Depois de agitar levemente, durante 1 minuto, com uma nova pipeta transferia-se 10 mL da diluição 10^{-2} para a 10^{-3} , repetindo este procedimento até a diluição 10^{-4} . Após preparadas as diluições, do frasco contendo a maior diluição (10^{-4}) com uma pipeta esterilizada eram semeados 1 mL da amostra em uma série de 5 tubos de caldo lactosado com púrpura de bromocresol, repetindo este procedimento até a menor diluição (10^{-1}). Em seguida as séries de 5 tubos de cada diluição eram incubados em estufa a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 24 a 48 horas, seguindo as etapas descritas na Figura 4.15.

Paralelamente à determinação de coliformes no solo, o mesmo era submetido à análise de teor de umidade, a qual era realizada da seguinte maneira: uma cápsula vazia era pesada (tara), em seguida pesava-se uma certa quantidade de solo nesta mesma cápsula, o qual era colocado em estufa à uma temperatura de 65°C durante 24 horas. Após este período a cápsula com solo era transferida para um dessecador até voltar à temperatura ambiente, quando a mesma era pesada novamente. O teor de umidade (%) é dado pela diferença de peso do solo antes e depois da secagem na estufa, pela seguinte equação:

$$\text{Umidade} = \frac{(P \text{ úmido} - P \text{ seco})}{P \text{ seco}} \times 100 \quad (\text{Eq. 4.2})$$

onde: P úmido – Peso do solo úmido

P seco – Peso do solo seco (peso após secagem – tara)

Após terminados os procedimentos para verificação do número de tubos positivos das diluições inoculadas, tanto para coliformes fecais como para coliformes totais, ainda fazia-se necessário calcular o NMP para cada grama de solo seco, sendo utilizada a próxima equação:

$$\text{NMP /g (solo seco)} = \text{NMP(solo úmido)} \times 100 / (100 - U) \quad (\text{Eq. 4.3})$$

onde:

NMP/g – Número Mais Provável por grama de solo seco

NMP – Número Mais Provável encontrado no solo diluído

U – Umidade do solo (%)

Após a aplicação do lodo no solo e ocorrência de chuvas, foram coletadas amostras do líquido percolado dos coletores e fundo dos reatores. Esta coleta não tinha nenhuma periodicidade determinada, pois dependia da quantidade de chuvas no local, podendo inclusive encher alguns dos coletores e outros não. O percolado era coletado em um frasco identificado para cada coletor e previamente esterilizado. Desta amostra era preparada apenas uma diluição, com uma pipeta esterilizada eram transferidos 10 mL da amostra para a diluição 10^{-1} . Após homogeneização eram semeados 1 mL da diluição 10^{-1} em uma série de 5 tubos de caldo lactosado (concentração dupla), outra série com 1 mL da amostra do percolado em 5 tubos de caldo lactosado e a última série com 10 mL de amostra em 5 tubos de caldo lactosado. Em seguida os tubos eram incubados em estufa a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 24 a 48 horas, seguindo as etapas descritas na Figura 4.15.

4.5.3 Análises de *Escherichia coli*

No final do experimento foram também realizadas algumas análises de *Escherichia coli* em amostras de líquido percolado, lodo e solo, com o objetivo de confirmar a presença ou ausência de patógenos, principalmente na água que percola no solo, indicando assim a efetiva contaminação ou não do lençol de águas subterrâneas.

Segundo BONNET *et al.* (1998), atualmente os métodos padronizados para determinação de coliformes totais e fecais – fermentação em tubos múltiplos e filtração em membrana – exigem etapas complementares e testes bioquímicos para especificação dos coliformes, que elevam o prazo de definição específica de *Escherichia coli* para 48 a 96 horas.

Nas últimas décadas, as facilidades laboratoriais de isolamento e especificação bacteriana demonstram a fragilidade de testes baseados apenas em temperatura como critério de definição e classificação em uma amostra.

O teste cromofluorogênico é recomendado pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater – 19ª edição (1995), como um dos métodos aplicáveis para análise de água para consumo humano, por ser mais preciso, além de sua rápida detecção 24-28 horas. Para a determinação da *E. coli* foi utilizado o substrato cromogênico (ONPG/MUG) denominado Colilert P/A - Quanti Tray 2000, comercializado pela IDEXX.

Nas amostras de lodo, solo e líquido percolado, foram utilizados os mesmos procedimentos de diluição, citados no capítulo 4.5.2. Após a preparação das diluições 10^{-1} e 10^{-3} do solo, 10^{-1} , 10^{-3} e 10^{-5} de lodo e amostra bruta do líquido percolado, eram adicionados certa quantidade de substrato (o qual é comercializado pré-dosado pronto para uso) em cada um dos frascos, contendo aproximadamente 100 mL de amostra. Em seguida agitava-se bem as amostras, as quais eram transferidas para cartelas de contagem, que após passarem pelas seladoras eram incubadas durante 24-28 horas a 44°C para determinação dos resultados finais.

Para coliformes totais, o ONPG (orto nitrofenil β -D galactopiranosídeo), que atua como um sistema nutriente-indicador, é usado para detectar enzima β -D galactosidase, que é produzida por todos os coliformes. Essa enzima hidrolisa a molécula de ONPG liberando uma substância cromogênica

amarela, sendo essa coloração a indicação de um resultado positivo para coliformes totais em 24-28 horas. Para a detecção simultânea de *E.coli*, é incorporado MUG (4-methylumbelliferyl β -D glucuronide) na composição do meio o substrato, o qual é hidrolisado pela *E. coli* por meio de sua enzima glucuronidase, sendo liberado o 4-methylumbelliferyl que, quando exposto à luz ultravioleta (366 nm), apresenta fluorescência de cor azul brilhante (CETESB, 2000).

O resultado final, tanto para coliformes totais como para *E. coli*, é dado pela contagem dos pontos positivos e negativos nas cartelas após incubação, os quais são correlacionados na tabela estatística fornecida pelo próprio fabricante (IDEXX), resultando no NMP.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste Capítulo serão apresentados os resultados obtidos na parte experimental. Para facilitar a compreensão, os resultados estão subdivididos em etapas, apresentadas conforme descrito no Capítulo 4.

O principal enfoque deste trabalho foi avaliar o comportamento dos coliformes totais e fecais em um sistema controlado de disposição de lodo de esgoto, visando manter as condições sanitárias para sua utilização agrícola.

5.1 ETAPA 1 - MONITORAMENTO DE COLIFORMES TOTAIS E FECAIS NO LODO, SOLO E LÍQUIDO PERCOLADO, UTILIZANDO O MÉTODO DE TUBOS MÚLTIPLOS

A parte experimental teve início em Março/2000, quando foi efetuada a caracterização físico-química e granulométrica do solo. Os laudos emitidos pelos laboratórios encontram-se no Anexo A, os quais demonstraram que o solo de preenchimento dos reatores foi classificado como argiloso (USDA) e o solo agrícola, utilizado na camada superficial, primeiros 15 cm, classificado como franco-argiloso (USDA).

A primeira etapa foi realizada durante 16 meses, de Março/2000 à Julho/2001. Neste período foram realizadas ao todo 11 aplicações de lodo em diferentes taxas (0; 2,5; 5,0 e 7,5 tss/ha solo não corrigido e 0 e 5,0 tss/ha solo corrigido) nos reatores, com intervalos de 40 dias, aproximadamente, entre as aplicações.

5.1.1 Coliformes Totais e Fecais no Lodo

Na Tabela 5.1 estão descritas as concentrações de coliformes totais e fecais e também os teores de sólidos totais contidos no lodo em cada aplicação.

TABELA 5.1 – Caracterização do Lodo em cada aplicação durante o experimento

APLICAÇÕES	PARÂMETROS ANALISADOS		
	Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Fecais (NMP/100mL)	ST (g/L)
20/03/00	$1,8 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$	45,72
02/05/00	$3,3 \times 10^6$	$3,3 \times 10^6$	35,97
12/06/00	$2,4 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	41,69
31/07/00	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	36,43
16/10/00	$1,3 \times 10^4$	$1,3 \times 10^4$	41,72
04/12/00	$5,4 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	37,58
29/01/01	$1,1 \times 10^5$	$4,9 \times 10^4$	38,21
12/03/01	$2,7 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	20,41
23/04/01	$7,0 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	46,66
04/06/01	$2,3 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$	30,76
16/07/01	$2,8 \times 10^6$	$1,3 \times 10^5$	60,12

NMP/100 mL – Número mais provável por cem mililitros de amostra
g/L – grama de sólidos totais por litro

Com base nos valores obtidos, verificou-se que as concentrações de coliformes totais no lodo variaram de $1,3 \times 10^4$ a $7,0 \times 10^6$ NMP/100mL e as de coliformes fecais variaram de $1,3 \times 10^4$ a $3,3 \times 10^6$ NMP/mL. Segundo a bibliografia consultada, os resultados obtidos para o lodo foram semelhantes aos valores comumente encontrados em lodo de esgoto, proveniente do tratamento secundário. As concentrações de coliformes fecais observadas são consideradas satisfatórias para lodos de esgotos já estabilizados. Vale ressaltar que o sistema de tratamento, onde o lodo é gerado, não recebe efluente industrial, além do lodo não receber nenhum tratamento químico (adição de cal). É importante também citar que, ocasionalmente, a ETE recebe efluentes provenientes de fossas (tanques sépticos) e caixas de gordura por caminhões "limpa-fossa", de algumas instituições municipais. Outra contribuição não-doméstica ocorre pelas águas de lavagens de piso de um posto de gasolina próximo à ETE, que possui suas tubulações de efluentes ligadas à rede pública .

A Tabela 5.2, mostra de forma geral os valores médios de todos os parâmetros analisados no lodo, durante o tempo experimental, pela equipe que compunha o projeto.

TABELA 5.2 - Parâmetros analisados no lodo bruto antes das aplicações no solo (valores médios)

PARÂMETROS	RESULTADOS
pH	6,0 - 6,5
Sólidos Totais (g/L)	41,227
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)	23

5.1.2 Coliformes Totais e Fecais No Líquido Percolado

Os valores médios obtidos entre as triplicatas no líquido percolado, em diferentes profundidades nos reatores, estão expressos em NMP/100 mL (Número Mais Provável por 100 mL), e foram divididos por taxa de aplicação, descritos nas Tabelas 5.3 a 5.8, a seguir:

TABELA 5.3 – Coliformes Totais (CT) e Fecais (CF) NMP/100mL, no percolado taxa 0 tss/ha NC

COLETAS	PROFUNDIDADES							
	25 cm		50 cm		75 cm		Fundo	
	CT	CF	CT	CF	CT	CF	CT	CF
03/04/00	2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
02/05/00	NR	NR	NR	NR	2,2	< 2,2	NR	NR
30/10/00	NR	NR	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
06/11/00	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2	2,2	< 2,2
20/11/00	NR	NR	2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR
29/11/00	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2
11/12/00	NR	NR	NR	NR	5,7	< 2,2	NR	NR
18/12/00	4,5	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
05/02/01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2,2	< 2,2
19/02/01	> 16	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
19/03/01	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2	NR	NR

NR – não realizado (devido a não ocorrência de amostra suficiente no coletor para a realização da análise)

tss/ha – toneladas de sólidos seco por hectare

NC – solo não corrigido

TABELA 5.4 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 2,5 tss/ha NC

COLETAS	PROFUNDIDADES							
	25 cm		50 cm		75 cm		Fundo	
	CT	CF	CT	CF	CT	CF	CT	CF
03/04/00	3,6	3,6	NR	NR	NR	NR	NR	NR
02/05/00	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2
30/10/00	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
06/11/00	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR
20/11/00	NR	NR	9,1	3,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR
29/11/00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3,2	< 2,2
11/12/00	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2	NR	NR
18/12/00	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
05/02/01	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
12/03/01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	3,6	< 2,2	< 2,2	NR	NR
19/03/01	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
26/03/01	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2
02/04/01	2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
21/05/01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	6,8	6,8

TABELA 5.5 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 5,0 tss/ha NC

COLETAS	PROFUNDIDADES							
	25 cm		50 cm		75 cm		Fundo	
	CT	CF	CT	CF	CT	CF	CT	CF
03/04/00	3,6	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2
02/05/00	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR
06/11/00	< 2,2	< 2,2	2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
20/11/00	NR	NR	2,2	< 2,2	6,8	< 2,2	NR	NR
29/11/00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2
11/12/00	5,1	< 2,2	NR	NR	2,2	< 2,2	NR	NR
18/12/00	2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
05/02/01	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	> 16,0	< 2,2
19/02/01	< 2,2	< 2,2	5,1	< 2,2	NR	NR	NR	NR
12/03/01	< 2,2	< 2,2	2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR
19/03/01	< 2,2	< 2,2	NR	NR	< 2,2	< 2,2	NR	NR
26/03/01	NR	NR	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2
02/04/01	3,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
21/05/01	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2

TABELA 5.6 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 7,5 tss/ha NC

COLETAS	PROFUNDIDADES							
	25 cm		50 cm		75 cm		Fundo	
	CT	CF	CT	CF	CT	CF	CT	CF
03/04/00	9,1	< 2,2	16,0	16,0	5,1	< 2,2	2,2	< 2,2
02/05/00	9,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
30/10/00	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
06/11/00	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR
20/11/00	NR	NR	6,8	6,8	< 2,2	< 2,2	NR	NR
29/11/00	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2
11/12/00	NR	NR	2,2	< 2,2	2,2	< 2,2	NR	NR
18/12/00	5,7	2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
05/02/01	16	< 2,2	NR	NR	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2
19/02/01	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
12/03/01	NR	NR	2,2	< 2,2	16	< 2,2	NR	NR
19/03/01	2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
26/03/01	NR	NR	NR	NR	10,1	4,5	NR	NR
02/04/01	2,2	2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
21/05/01	> 16	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR

TABELA 5.7 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 0 tss/ha C

COLETAS	PROFUNDIDADES							
	25 cm		50 cm		75 cm		Fundo	
	CT	CF	CT	CF	CT	CF	CT	CF
03/04/00	16	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
02/05/00	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
30/10/00	NR	NR	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
06/11/00	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
20/11/00	NR	NR	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR
29/11/00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	5,7	< 2,2
11/12/00	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2	NR	NR
18/12/00	< 2,2	< 2,2	9,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
05/02/01	< 2,2	< 2,2	NR	NR	5,1	< 2,2	NR	NR
12/03/01	NR	NR	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR
19/03/01	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
26/03/01	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2
02/04/01	< 2,2	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR

TABELA 5.8 – Coliformes Totais e Fecais, NMP/100mL, no líquido percolado taxa 5,0 tss/ha C

COLETAS	PROFUNDIDADES							
	25 cm		50 cm		75 cm		Fundo	
	CT	CF	CT	CF	CT	CF	CT	CF
03/04/00	16	5,1	16	2,2	NR	NR	NR	NR
06/11/00	NR	NR	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2
20/11/00	NR	NR	16	16	< 2,2	< 2,2	NR	NR
29/11/00	NR	NR	NR	NR	NR	NR	< 2,2	< 2,2
11/12/00	NR	NR	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR
18/12/00	> 16	> 16	NR	NR	< 2,2	< 2,2	2,2	2,2
05/02/01	NR	NR	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2	NR	NR
19/02/01	9,1	9,1	NR	NR	NR	NR	NR	NR
12/03/01	5,1	< 2,2	3,6	< 2,2	NR	NR	NR	NR
19/03/01	3,6	< 2,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR
26/03/01	> 16	9,2	NR	NR	< 2,2	< 2,2	< 2,2	< 2,2
02/04/01	10,5	9,1	NR	NR	NR	NR	NR	NR

NR – Não realizado (devido a não ocorrência de amostra suficiente no coletor para a realização da análise)
tss/ha – toneladas de sólidos seco por hectare
C – solo corrigido

A partir dos resultados obtidos para coliformes totais e fecais, foi verificado que estas bactérias não estavam presentes no líquido percolado, mesmo ocorrendo aplicações de lodo freqüentes, com altas concentrações de coliformes totais (em torno de 10^6) e, principalmente, coliformes fecais (em torno de 10^5). A quantidade de bactérias obtidas nas coletas de líquido percolado foram, na maioria das amostras, menores que o valor mínimo detectável pelo método.

Apenas alguns resultados isolados de coliformes totais ultrapassaram os limites de detecção, por exemplo, no líquido percolado de fundo da taxa 5,0 tss/ha no dia 05/02/01 e no líquido percolado na profundidade 25 cm da taxa 7,5 tss/ha no dia 21/05/01, ambos de reatores com solo não corrigido, obtiveram valores maiores que 16 NMP/100mL. Por serem coliformes totais não se justificam maiores preocupações de ordem sanitária.

Para os reatores de taxa 5,0 tss/ha (Tabela 5.8) com pH do solo corrigido, obteve-se valores acima do detectável (>16 NMP/100 mL) para coliformes totais e fecais, na profundidade 25 cm. Esta amostra foi coletada apenas de um reator e foi analisada 15 dias após a aplicação de lodo no solo. Outro fator importante a mencionar é que esta amostra foi coletada após dias de altos índices pluviométricos, inclusive, no dia anterior à coleta, o índice total medido foi de 49,6 mm de precipitação, de acordo com os laudos pluviométricos (Anexo B). Porém o mesmo não ocorreu nas amostras coletadas neste mesmo dia nas outras taxas.

Ainda com relação à taxa 5,0 tss/ha, solo corrigido, foi observado que, comparando-se os resultados obtidos individualmente entre cada reator, algumas amostras coletadas no reator 15 apresentaram valores acima do limite de detecção (> 16 NMP/100mL), diferente das mesmas amostras coletadas no reator 5, como mostra a Tabela 5.9.

TABELA 5.9 – Coliformes Totais (CT) e Fecais (CF) no líquido percolado taxa 5,0 tss/ha C (solo corrigido) nos reatores 5 e 15.

COLETA	REATOR	Prof. 25 cm	
		CT (NMP/100 mL)	CF (NMP/100 mL)
19/02/01	5	< 2,2	<2,2
19/02/01	15	>16	>16
02/04/01	5	5,1	<2,2
02/04/01	15	> 16	> 16

O reator 15, em especial, estava posicionado na última série de reatores no local do experimento, próximo à ele existe uma árvore, a qual ocasionava sombra e conseqüentemente amenizava a temperatura no interior do reator, bem como impedia a radiação solar na superfície do solo, o que pode ter contribuído para a sobrevivência dos coliformes, principalmente neste primeiro coletor de líquido percolado (25 cm). Outro fator, que pode ter influenciado na concentração dos coliformes foi a contribuição de fezes de passarinhos que freqüentemente pousavam nesta mesma árvore.

Verificou-se que mesmo nos meses com maiores índices pluviométricos (Figura 5.1), não foram perceptíveis grandes concentrações de coliformes. Os laudos de levantamentos diários da Estação Meteorológica de Limeira, no CESET – UNICAMP, durante o período do experimento encontram-se no Anexo B.

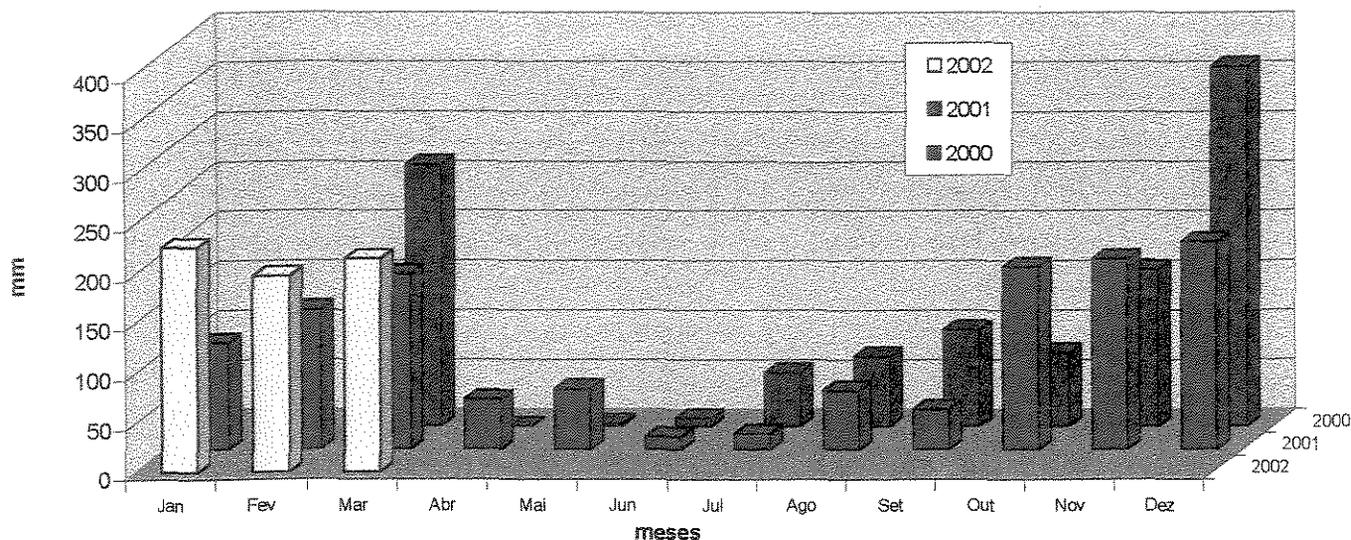


FIGURA 5.1 – Valores mensais acumulados da precipitações, em mm, ocorridas durante o experimento

Comparando-se as datas de aplicações de lodo com as das análises do líquido percolado e, inclusive, com incidência de chuvas, não foi possível fazer nenhuma correlação, pois as concentrações de coliformes totais e fecais permaneceram mínimas na maioria das amostras (< 2,2 NMP/100mL). Verificou-se também que, em geral, não houve diferença nas concentrações de coliformes entre as diferentes profundidades onde o líquido percolado era coletado.

5.1.3 Coliformes Totais e Fecais no Solo

As concentrações de coliformes totais e fecais obtidas no solo (primeiros 15 cm) foram inseridos em gráficos ilustrados nas Figuras 5.2 a 5.11.

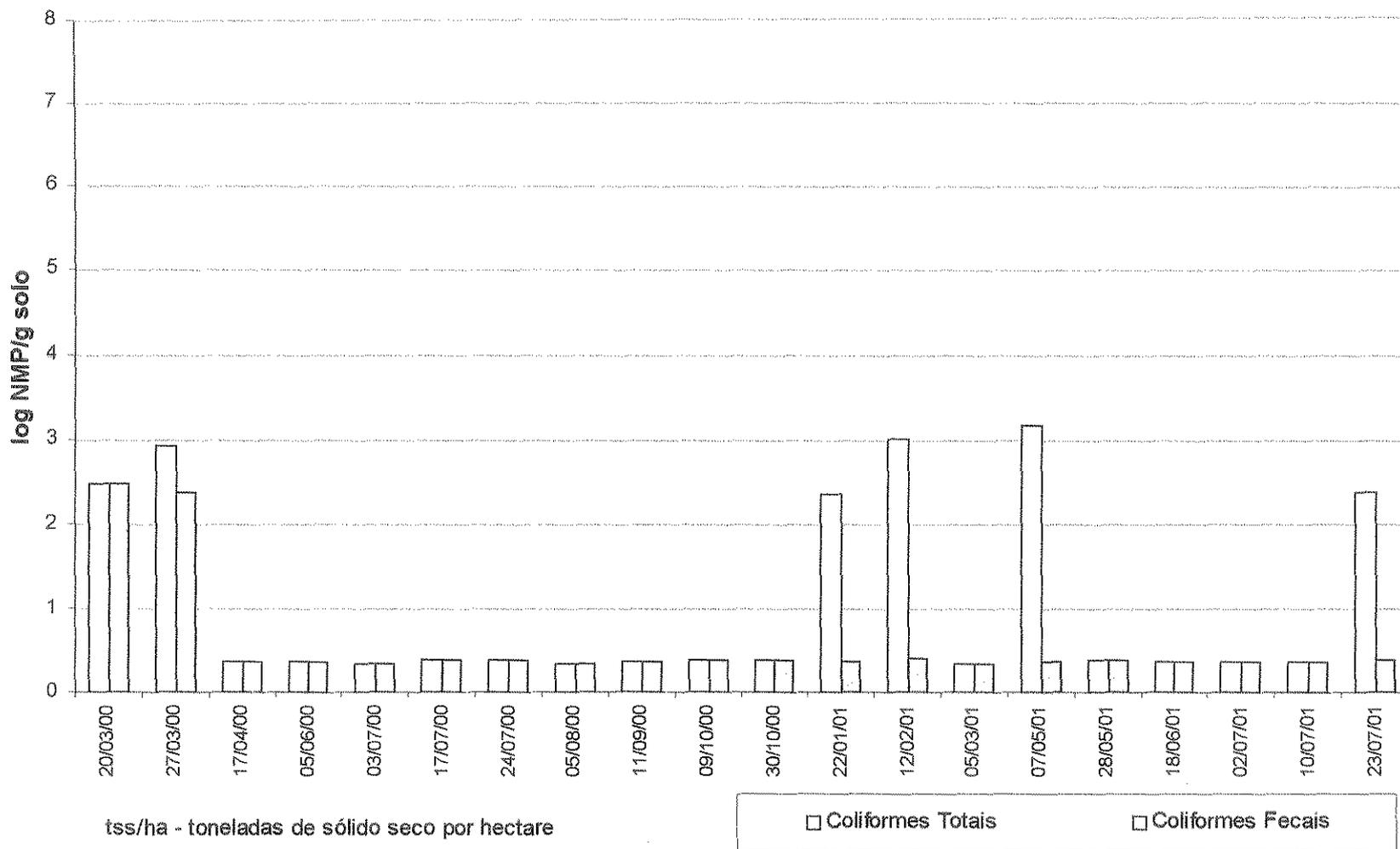


FIGURA 5.2 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 0 tss/ha NC (solo não corrigido), ao longo do tempo de realização do experimento (valores médios entre as 3 repetições)

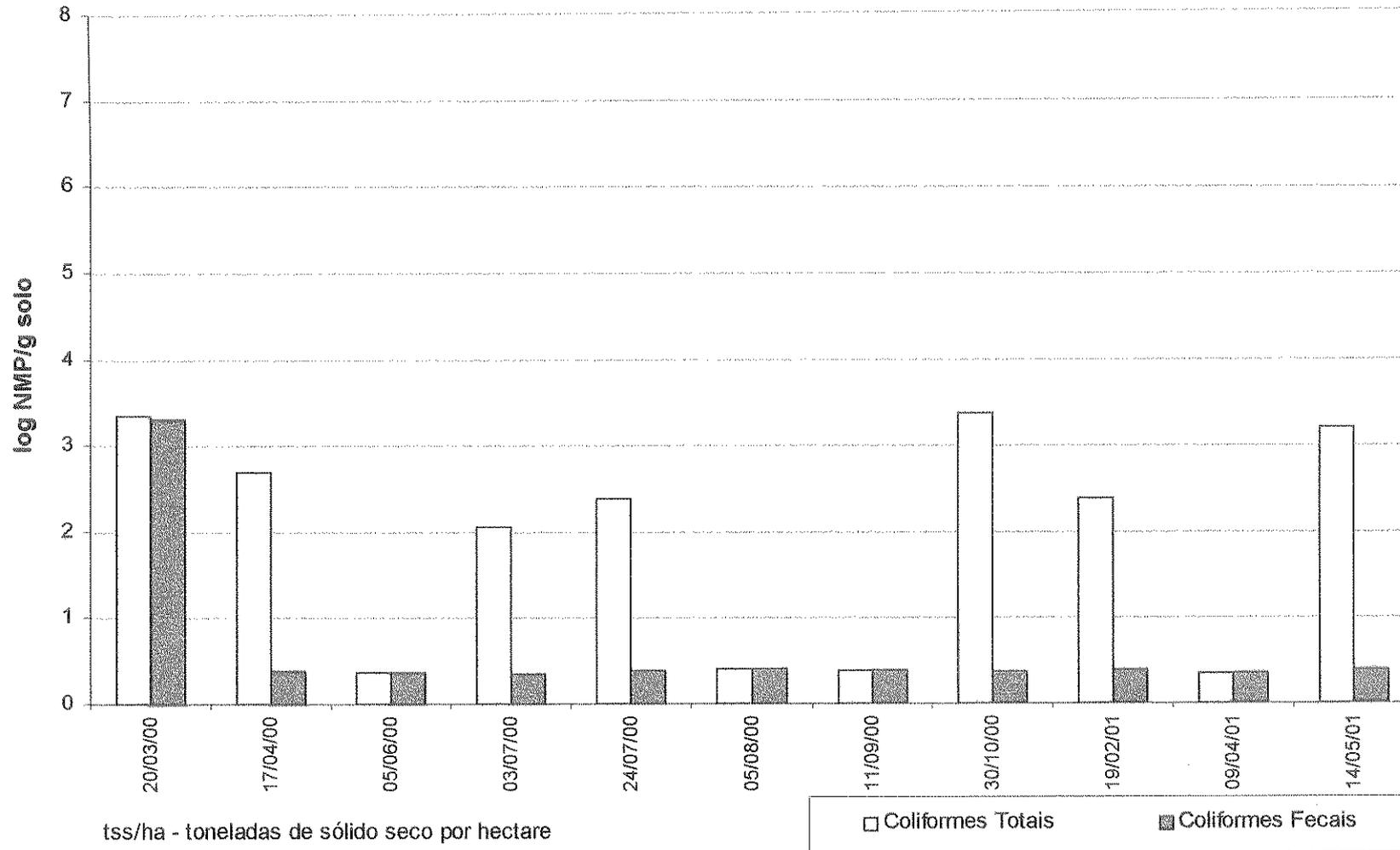


FIGURA 5.3 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 0 tss/ha C (solo corrigido), ao longo do tempo de realização do experimento (valores médios entre as 3 repetições)

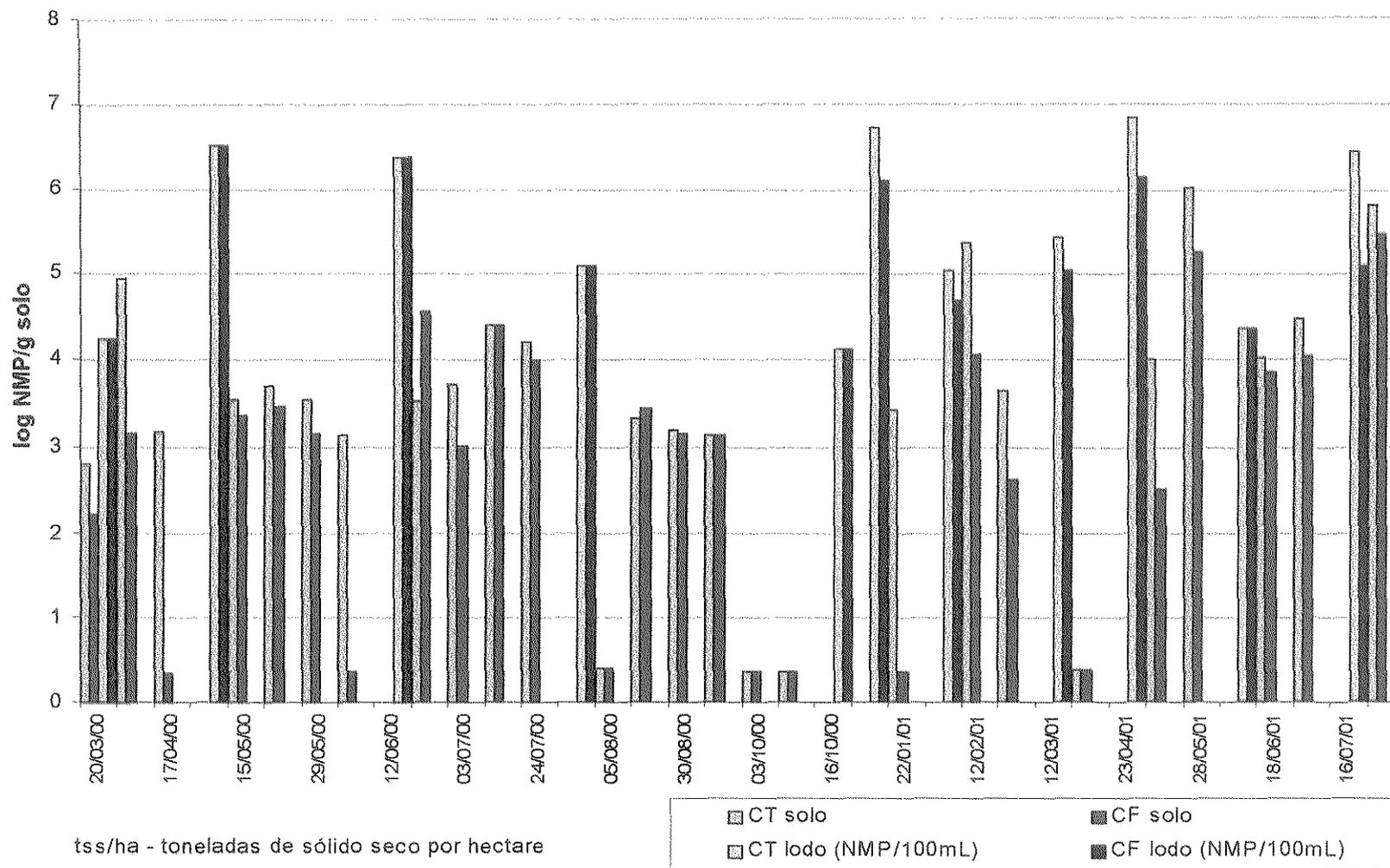


FIGURA 5.4 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 2,5 tss/ha NC (solo não corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições)

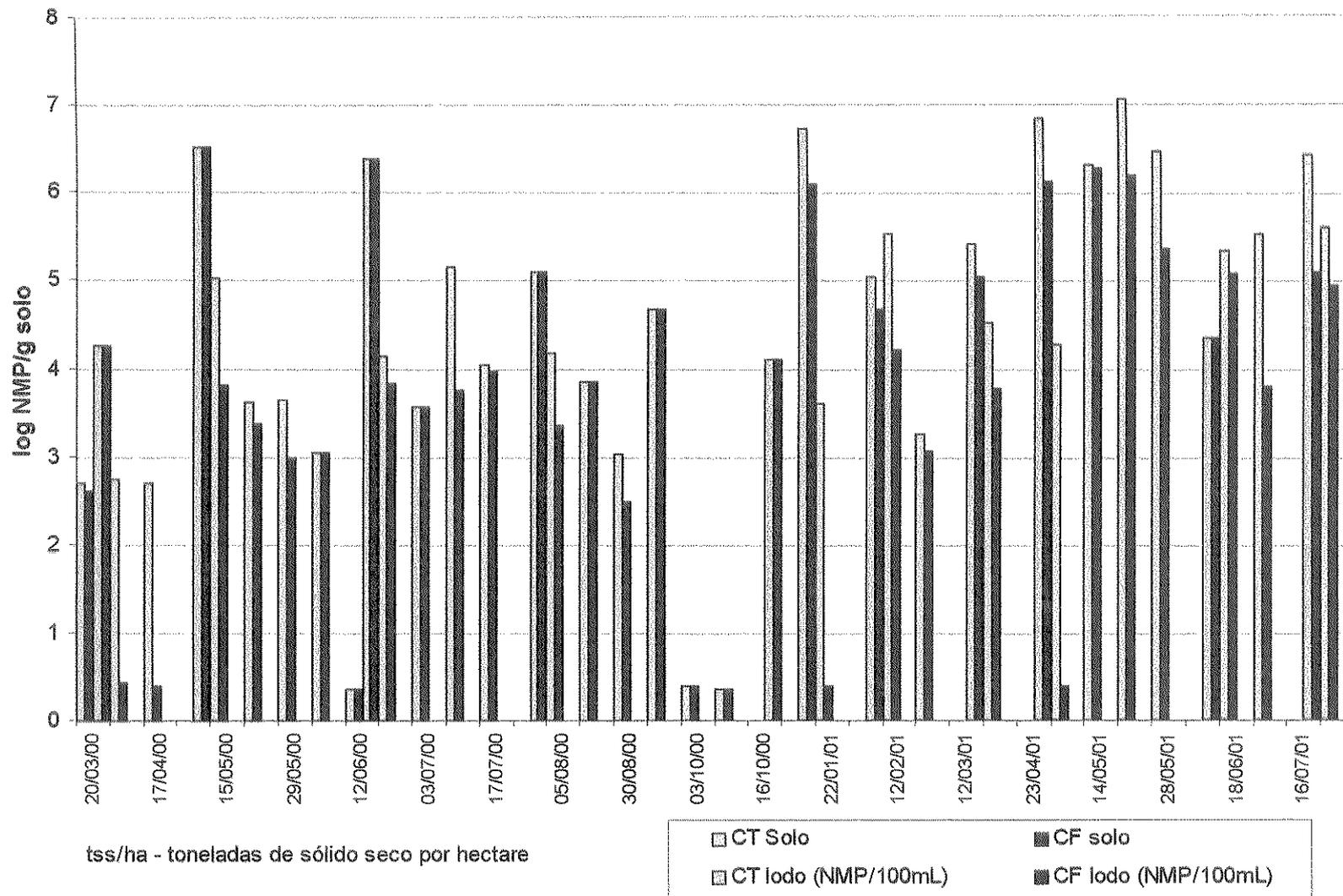


FIGURA 5.5 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 5,0 tss/ha NC (solo não corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições)

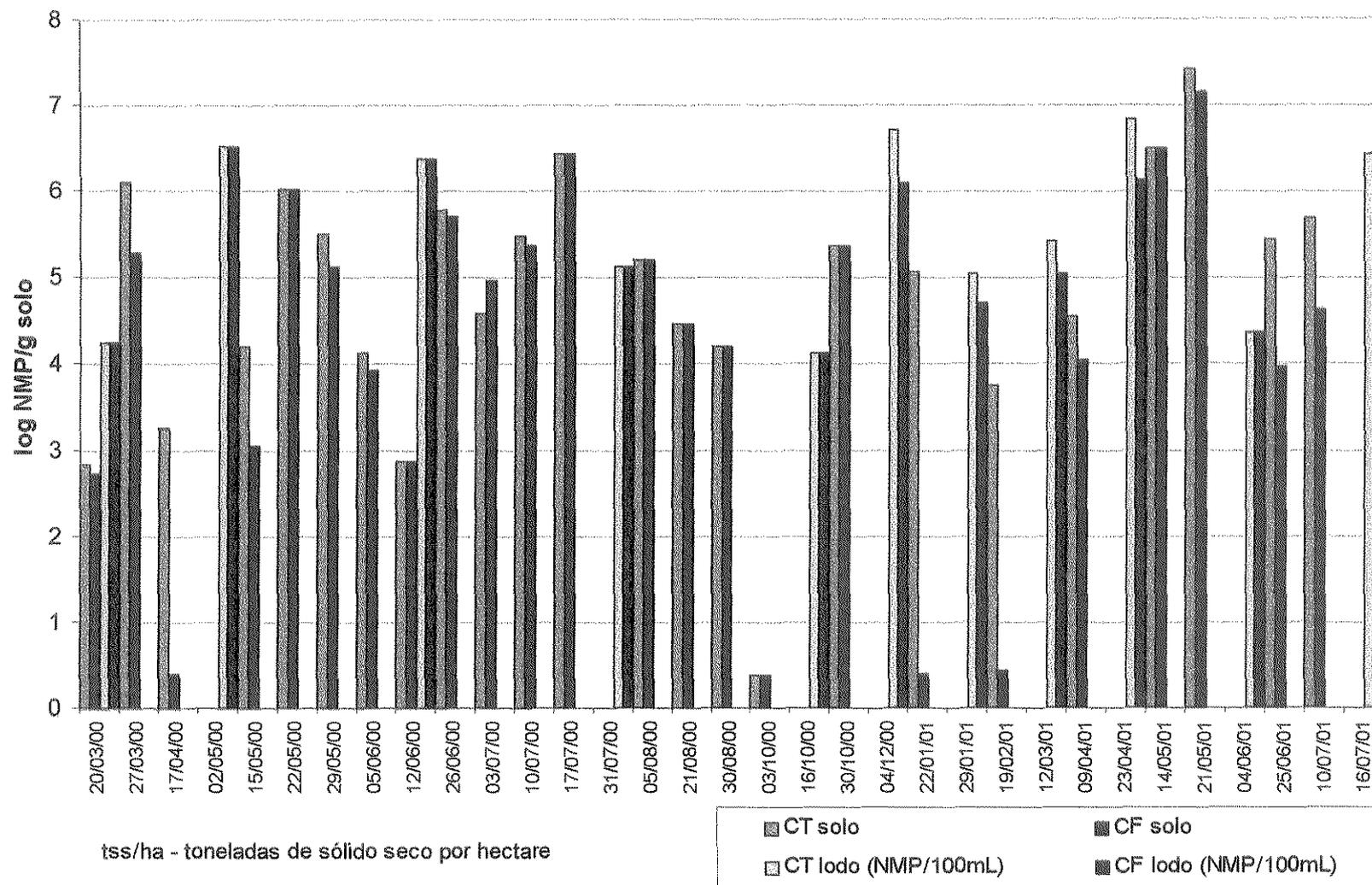


FIGURA 5.6 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 7,5 tss/ha NC (solo não corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições)

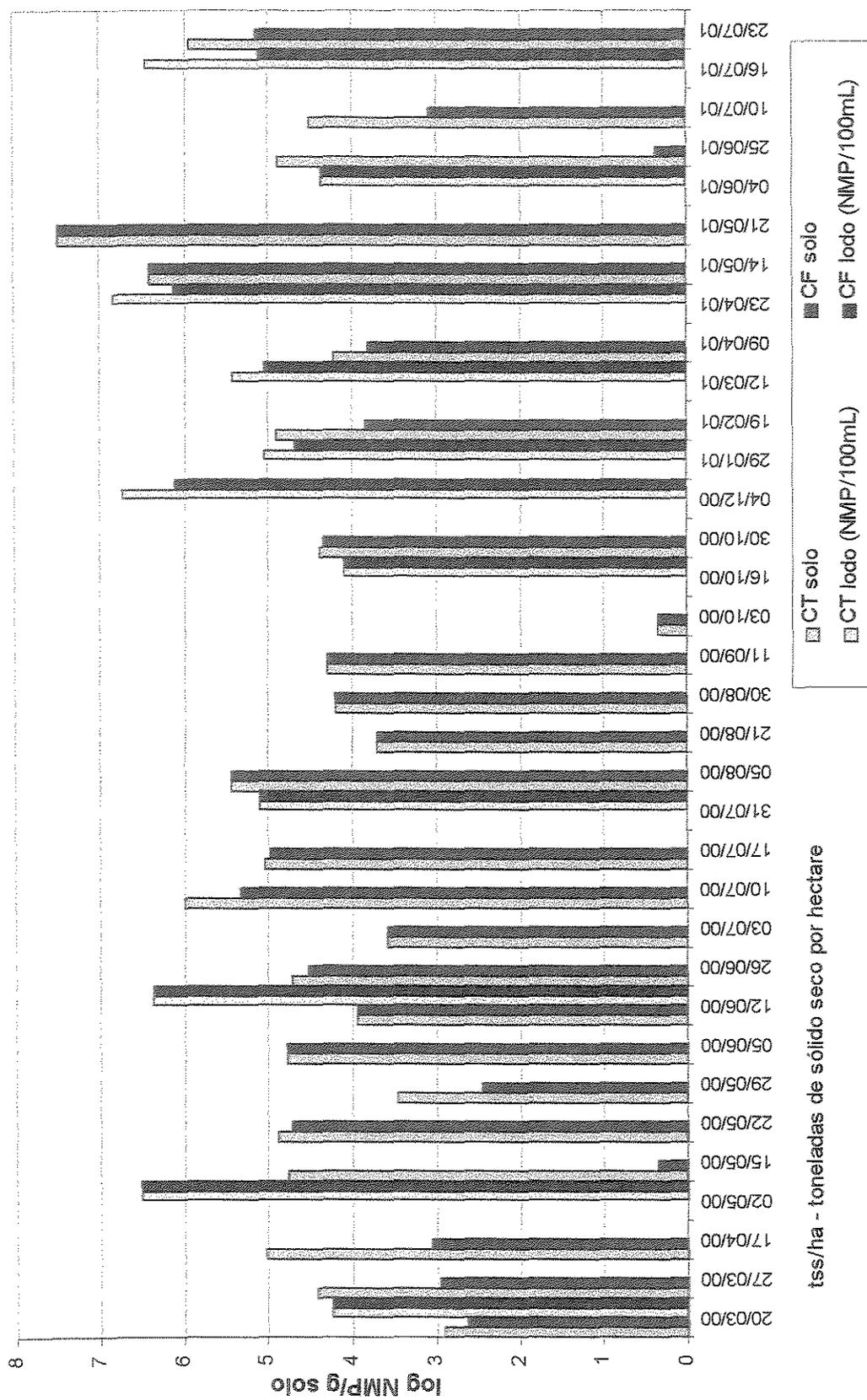


FIGURA 5.7 – Coliformes Totais e Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) taxa 5,0 tss/ha C (solo corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições)

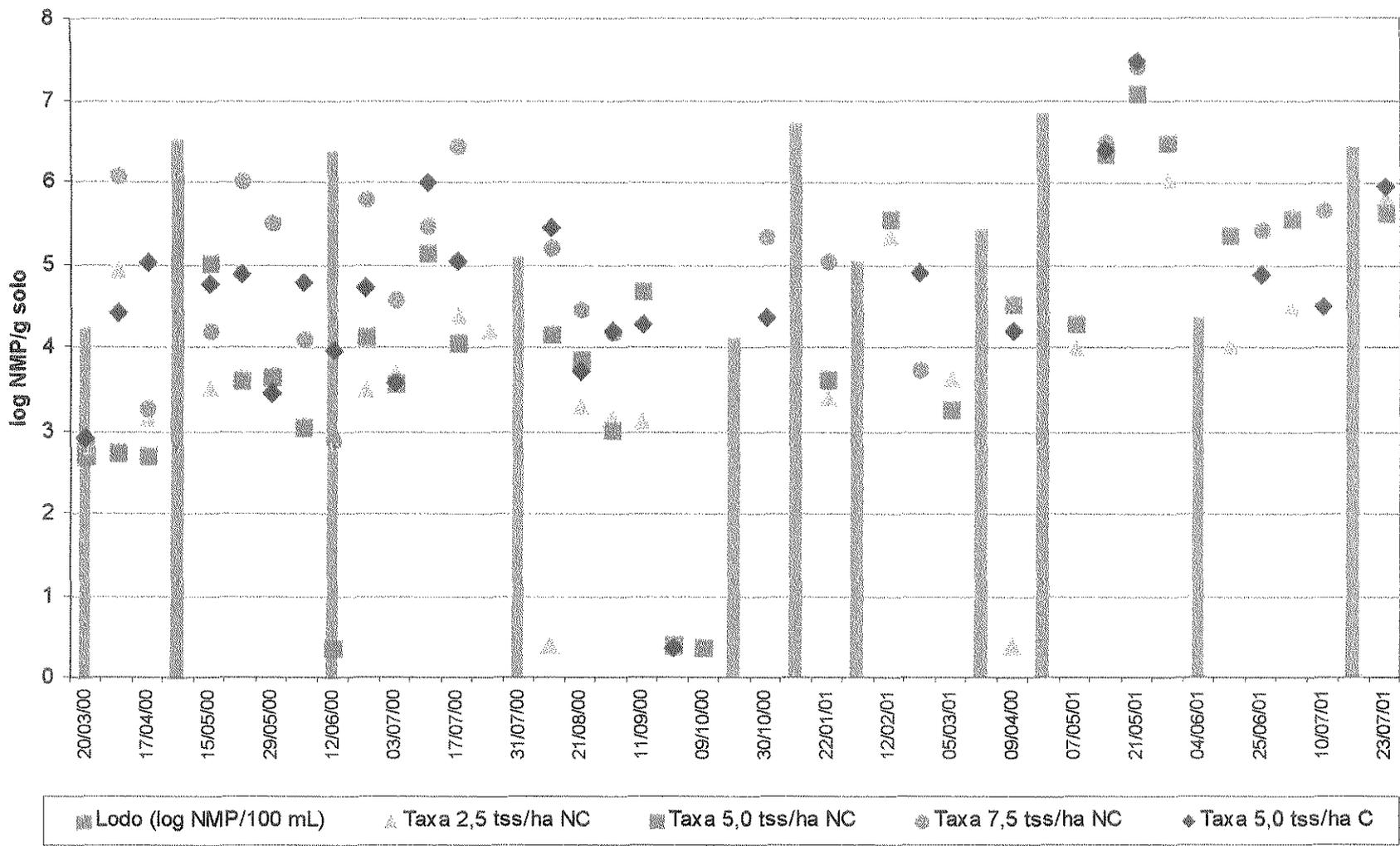


FIGURA 5.8 – Coliformes Totais em NMP no solo superficial (15 cm) nas taxas 2,5, 5,0, 7,5 tss/ha NC (solo não corrigido) e 5,0 tss/ha C (solo corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições)

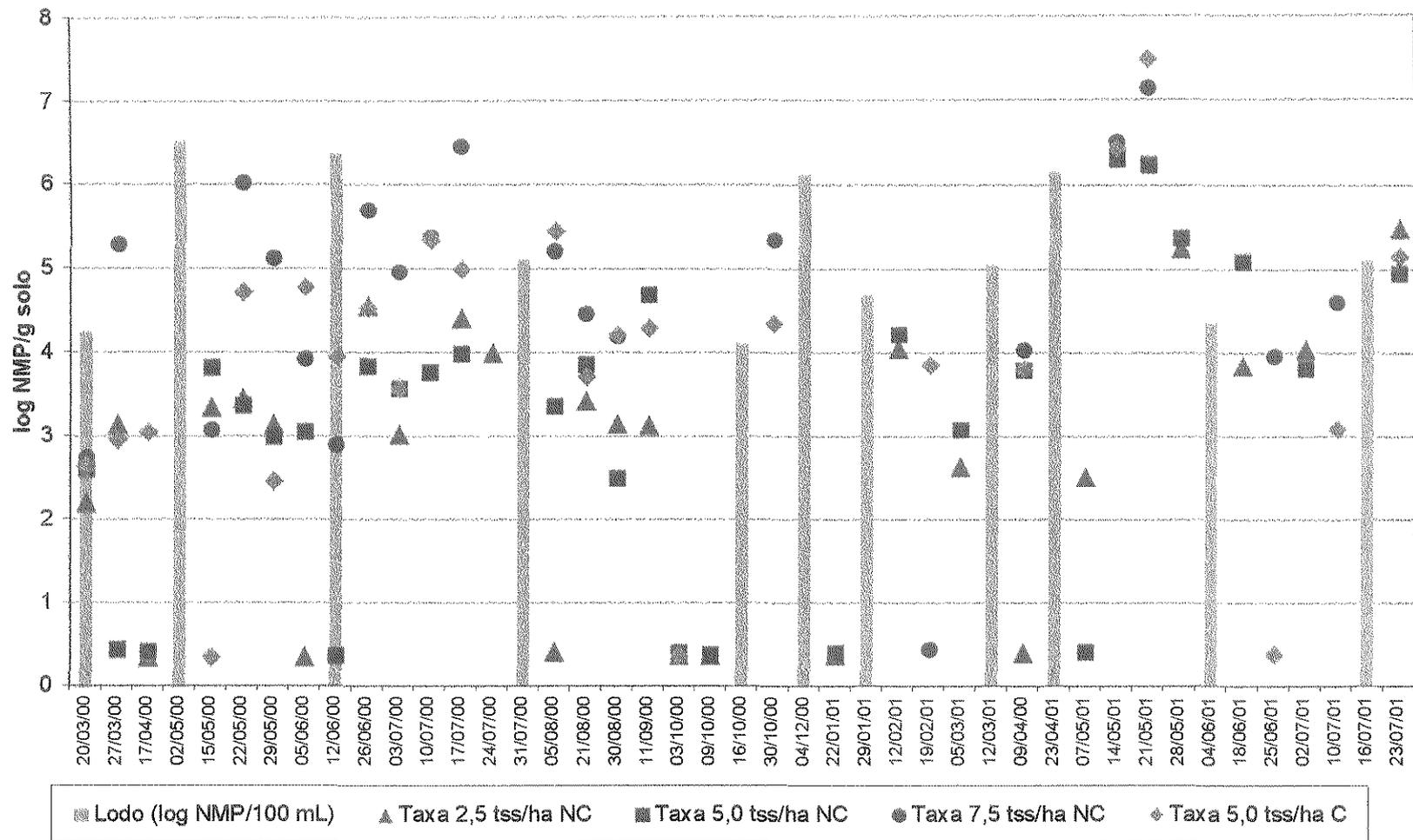


FIGURA 5.9 – Coliformes Fecais em NMP no solo superficial (15 cm) nas taxas 2,5, 5,0 e 7,5 tss/ha NC (solo não corrigido) e 5,0 tss/ha C (solo corrigido), durante o período das aplicações de lodo (valores médios entre as 3 repetições)

Foi observado que as concentrações tanto para coliformes totais, quanto para coliformes fecais no solo, no início do experimento (antes das aplicações de lodo), estavam em torno de 3 unidades logarítmicas (10^3).

Verificou-se nos reatores de solo controle (Figuras 5.2 e 5.3), tanto no solo normal (0 tss/ha NC) quanto no solo corrigido (0 tss/ha C) que as concentrações de coliformes fecais, após aproximadamente 30 dias, foram reduzidas a valores mínimos (< 2 NMP/g). A sobrevivência dos coliformes totais no solo de pH corrigido foi um pouco maior que no solo não corrigido, após 30 dias a concentração era, em média $4,9 \times 10^2$ NMP/g no solo corrigido e 2,31 NMP/g no solo não corrigido. Os coliformes fecais continuaram não detectáveis até o final do experimento nas duas taxas, porém as concentrações de coliformes totais tiveram um aumento de até 3 unidades logarítmicas em determinadas amostras, não havendo nenhuma correlação com período de chuvas ou estação climática. Como o experimento fica a céu aberto, pode ter ocorrido contaminação de outros animais, como fezes de pássaros por exemplo.

De modo geral, nas amostras de solo superficial, quando do emprego das diferentes taxas de aplicação, verificou-se que os coliformes fecais estão em menor número se comparados aos coliformes totais. Na maioria das amostras analisadas esta diferença foi mínima, porém em algumas amostras houve variações de 3 a 4 unidades logarítmicas entre coliformes totais e fecais.

Na taxa 2,5 de tss/ha, com solo não corrigido (Figura 5.4), as concentrações de coliformes fecais durante o experimento chegaram a 5 unidades logarítmicas (10^5) no dia 28/05/01, 35 dias após a aplicação de lodo e também no dia 23/07/01, 7 dias após a aplicação de lodo. Nesta última data, a concentração de coliformes fecais foi um pouco maior que a concentração do lodo aplicado. Analisando os resultados de duas semanas anteriores à esta aplicação de lodo, verificou-se

que as concentrações de coliformes fecais no solo estavam em torno de 4 unidades logarítmicas, o que justificou o acréscimo devido à esta possível população remanescente.

Outro aspecto observado na taxa de 2,5 tss/ha, em solo não corrigido, foi a sobrevivência destas bactérias, principalmente os coliformes fecais. Nos meses de temperatura mais baixas (junho, julho e agosto) as concentrações de coliformes no solo permaneciam acima de 3 unidades logarítmicas, de 30 a 40 dias após as aplicações de lodo. Nos meses de temperaturas mais altas (janeiro, fevereiro, março e abril), verificou-se que, após aproximadamente 30 dias das aplicações, as concentrações de coliformes foram menores que 3 unidades logarítmicas, chegando a valores mínimos em alguns casos (17/04/00, 22/01/01 e 09/04/01), indicando que, no verão, o tempo de sobrevivência dos coliformes é menor que no inverno. Um dos prováveis motivos pode ser a radiação ultravioleta promovida pelos raios solares, mais intensos nos meses mais quentes, reduzindo o tempo de sobrevivência destas bactérias na camada superficial do solo.

Ainda na Figura 5.4 foi verificado que o resultado do dia 05/08/00 após 7 dias da aplicação de lodo apresentou valores mínimos de coliformes totais e fecais, provavelmente ocorreu algum erro de amostragem, pois esta análise foi realizada do solo de somente um dos reatores.

Na taxa de 5,0 tss/ha, em solo não corrigido (Figura 5.5), as concentrações de coliformes totais e fecais obtidas no período foram um pouco maiores que as encontradas no solo com a taxa 2,5 tss/ha, como já era de se esperar. As concentrações máximas de coliformes fecais foram até 6 unidades logarítmicas (NMP/g) após 28 dias de aplicação de lodo no mês de maio de 2001, praticamente houve um aumento de 1 unidade logarítmica em relação à taxa 2,5 tss/ha, no mesmo período. Também foi observado que as concentrações de coliformes fecais eram reduzidas mais rapidamente nos meses quentes e permaneciam em concentrações mais altas (10^3 a 10^6) após, aproximadamente, 30 dias das aplicações de lodo nos meses mais frios.

Ainda na Figura 5.5, o resultado médio de coliformes fecais obtido entre os três reatores da taxa 5,0 tss/ha em solo não corrigido, no dia 07/05/01, também chamou a atenção por estar em concentrações mínimas, enquanto os coliformes totais, nesta mesma data, estavam em torno de 4 unidades logarítmicas, considerando ainda que estas amostras foram coletadas, aproximadamente, 15 dias após a aplicação de lodo e as amostras analisadas na semana seguinte (14/05/01) resultaram em 6 unidades logarítmicas. É possível que na realização destas análises tenha ocorrido algum erro experimental.

As amostras de solo coletadas na taxa de 7,5 tss/ha, em solo não corrigido (Figura 5.6), demonstraram que as concentrações de coliformes totais e fecais no solo foram maiores que as taxas 2,5 e 5,0 tss/ha, alcançando até 7 unidades logarítmicas.

Na Figura 5.6, verificou-se que após a primeira aplicação de lodo, as concentrações de coliformes totais e fecais foram maiores que as do lodo. Provavelmente, devido às concentrações já existentes no solo antes da aplicação do lodo.

Ainda na taxa de 7,5 tss/ha, foi verificado que os resultados obtidos nos dias 30/10/00, 14/05/01 e 21/05/01, tanto para coliformes totais quanto para fecais, após aplicações de lodo, foram maiores que as próprias densidades de coliformes no lodo. Inclusive, as análises do mês de maio foram realizadas após 21 e 28 dias da aplicação de lodo, porém, os resultados obtidos nos meses de abril e maio de 2001, demonstraram que pode ter ocorrido contribuição da população remanescente de coliformes da aplicação anterior de lodo, como já observado no parágrafo anterior e também na taxa 5,0 tss/ha, neste mesmo período.

Já o valor médio obtido no dia 30/10/00, 15 dias após aplicação de lodo, não foi justificado por contribuição de população remanescente no solo, como pode ser observado na Figura

5.6. Uma possível justificativa, neste caso, é que, após cinco aplicações de lodo líquido no solo até a data em questão, a quantidade de matéria orgânica no solo aumentou, proporcionando um ambiente mais favorável ao crescimento destes microrganismos. Outros fatores relevantes, a serem considerados neste resultado, foram a contribuição de chuvas neste período podendo proporcionar condições favoráveis para o aumento da população e a elevação da temperatura no mês de outubro (Anexo B), já que os coliformes se desenvolvem melhor em temperaturas mais altas.

Também foi verificado na Figura 5.6 que as concentrações de coliformes fecais nos meses mais frios (maio, junho, julho e agosto), mesmo após 30 dias das aplicações de lodo, permaneciam bastante elevadas (10^4 a 10^7 NMP/g solo). Nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro, março e abril), também após 30 dias de aplicações de lodo, estas concentrações eram menores (< 2 a 10^4 NMP/g solo). Neste caso acredita-se que a radiação solar na camada superficial de solo influencia na redução do tempo de sobrevivência dos coliformes.

Na taxa de 5,0 tss/ha, em solo corrigido (Figura 5.7), as concentrações de coliformes fecais obtidas no solo apresentaram-se maiores que as concentrações obtidas na taxa de 5,0 tss/ha, em solo não corrigido (Figura 5.5). Nos meses frios, 30 dias após aplicação de lodo, foram obtidas concentrações para coliformes fecais entre 10^3 e 10^7 NMP/g de solo. Já nos meses quentes estas concentrações ficavam em torno de 10^3 a 10^4 NMP/g de solo (valores estes maiores que os encontrados na taxa 7,5). É muito provável que a correção do pH do solo com a cal, realizada no início do experimento, tenha provocado um equilíbrio na acidez do solo favorecendo a sobrevivência dos microrganismos neste ambiente, uma vez que o pH do solo apresentava-se em torno de 4, conforme demonstraram as análises de caracterização do solo, realizadas ao longo do experimento (Anexo A).

Comparando-se as taxas de 5,0 e 7,5 tss/ha NC, em solo não corrigido, com 5,0 tss/ha C, em solo corrigido (Figuras 5.8 e 5.9), verificou-se que as concentrações de coliformes no

solo com pH corrigido foram maiores que no solo normal; os coliformes fecais chegaram a 7 unidades logarítmicas, aproximando-se mais dos valores obtidos na taxa 7,5 tss/ha NC. Inclusive alguns resultados (em 05/06/00, 12/06/00, 05/08/00 e 19/02/01) ultrapassaram as concentrações de coliformes totais e fecais obtidas na taxa 7,5 tss/ha NC.

Após a terceira aplicação de lodo foi observado que as concentrações de coliformes totais e fecais no solo superficial (15 cm), após 21 dias da aplicação de lodo, tiveram um decaimento, porém nas duas semanas seguintes houve um aumento gradativo nas concentrações novamente. Este comportamento foi verificado nas taxas 2,5; 5,0 e 7,5 tss/ha NC e 5,0 tss/ha C (Figuras 5.8, 5.9 e 5.10). É provável que no início das aplicações (1ª e 2ª) tenha ocorrido maior redução destas bactérias devido à mudança de ambiente, do lodo para o solo, porém a cada reaplicação as bactérias que sobreviviam podem ter se adaptado melhor ao meio, daí o aumento na população de coliformes (Figura 5.10).

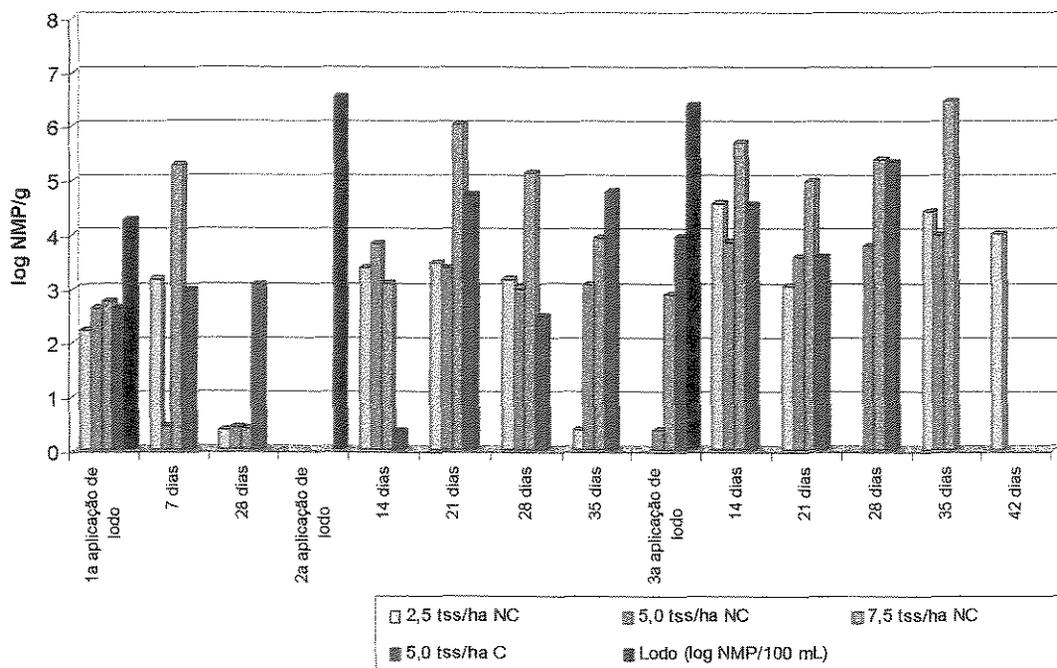


FIGURA 5.10 – Sobrevivência de coliformes fecais na camada superficial do solo (15 cm) após a 3ª aplicação de lodo (12/06/00)

Após a quarta aplicação de lodo houve um decaimento gradativo na população de coliformes fecais (Figura 5.11), porém após 30 dias da aplicação foi verificado que as taxas 2,5 tss/ha NC e 5,0 tss/ha C mantiveram-se com as mesmas concentrações de coliformes fecais (em torno de 10^3 e 10^4), já a taxa 5,0 tss/ha NC teve um aumento de, aproximadamente, 2 unidades logarítmicas na concentração de coliformes fecais entre 30 e 40 dias da aplicação. Devido à problemas na ETE, neste período, a 5ª aplicação de lodo foi realizada após, aproximadamente, 70 dias da última aplicação. Com isso foi possível verificar que as concentrações de coliformes fecais no solo, após 60 dias da 4ª aplicação, foram reduzidas a valores mínimos, em todas as taxas. A partir destes resultados verificou-se que os coliformes fecais permaneceram em concentrações maiores que 3 unidades logarítmicas até 40 dias após a aplicação de lodo nos meses de agosto e setembro de 2000.

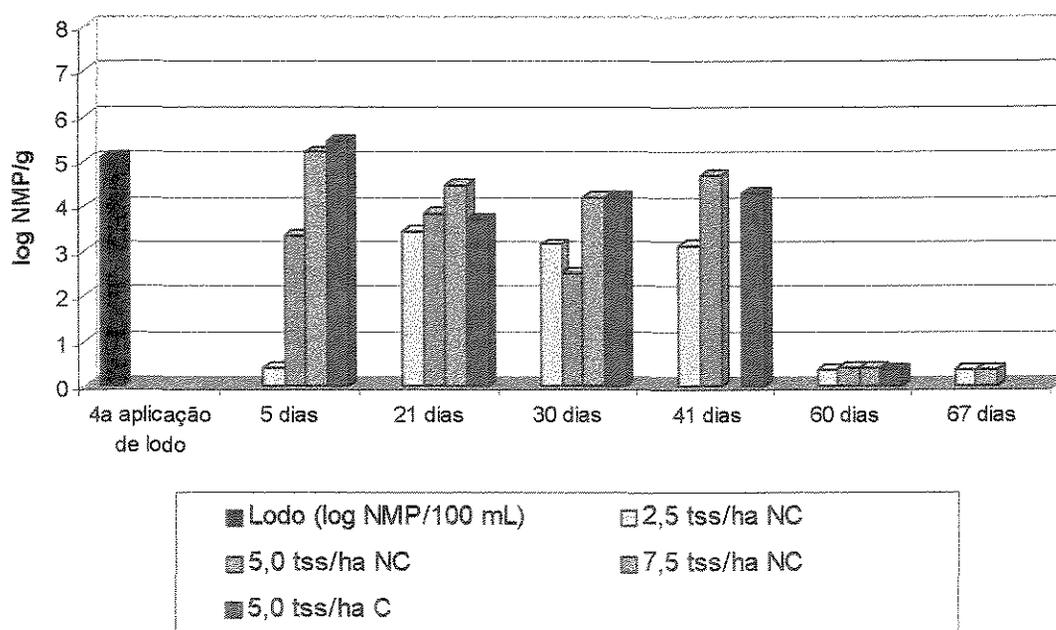


FIGURA 5.11 – Sobrevivência dos coliformes fecais no solo superficial (15 cm), em diferentes taxas de aplicação, após a 4ª aplicação de lodo (31/07/00)

Como o período de experimento permitiu a repetição de algumas estações climáticas do ano, comparou-se o tempo de sobrevivência e concentrações dos coliformes fecais após, aproximadamente, 30 dias das aplicações de lodo, no meses de abril, maio e julho dos anos de 2000 e 2001, como pode ser verificado nas Figuras 5.12 e 5.13.

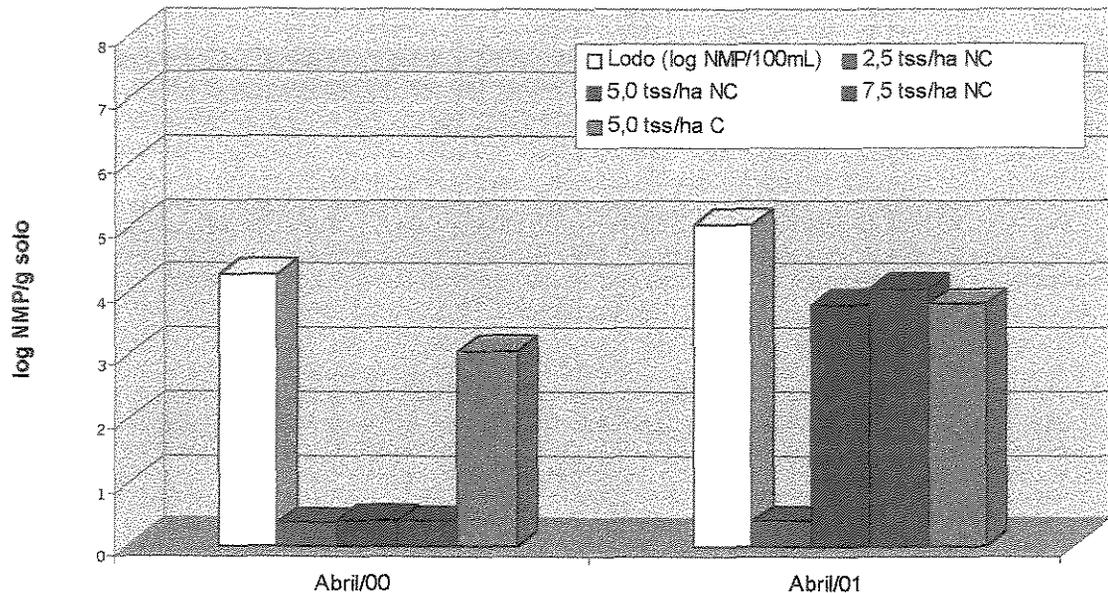


FIGURA 5.12 – Concentrações de coliformes fecais no solo após, aproximadamente, 30 dias das aplicações de lodo, nas taxas 2,5; 5,0 e 7,5 tss/ha solo não corrigido e 5,0 tss/ha solo corrigido, nos meses de abril de 2000 e 2001.

Nos mês de abril de 2000, foi verificado que apenas na taxa 5,0 tss/ha C (solo corrigido) a concentração de coliformes fecais, após 30 dias de aplicação de lodo, ainda permanecia em torno de 3 unidades logarítmicas, porém no mesmo período do ano seguinte, os solos das taxas 5,0 e 7,5 tss/ha NC (solo não corrigido) e 5,0 tss/ha C (solo corrigido) apresentaram concentrações de coliformes fecais maiores que 3 unidades logarítmicas, ilustrado na Figura 5.12. Somente a taxa 2,5 tss/ha NC (solo não corrigido) apresentou valores mínimos (< 2 NMP/g de solo).

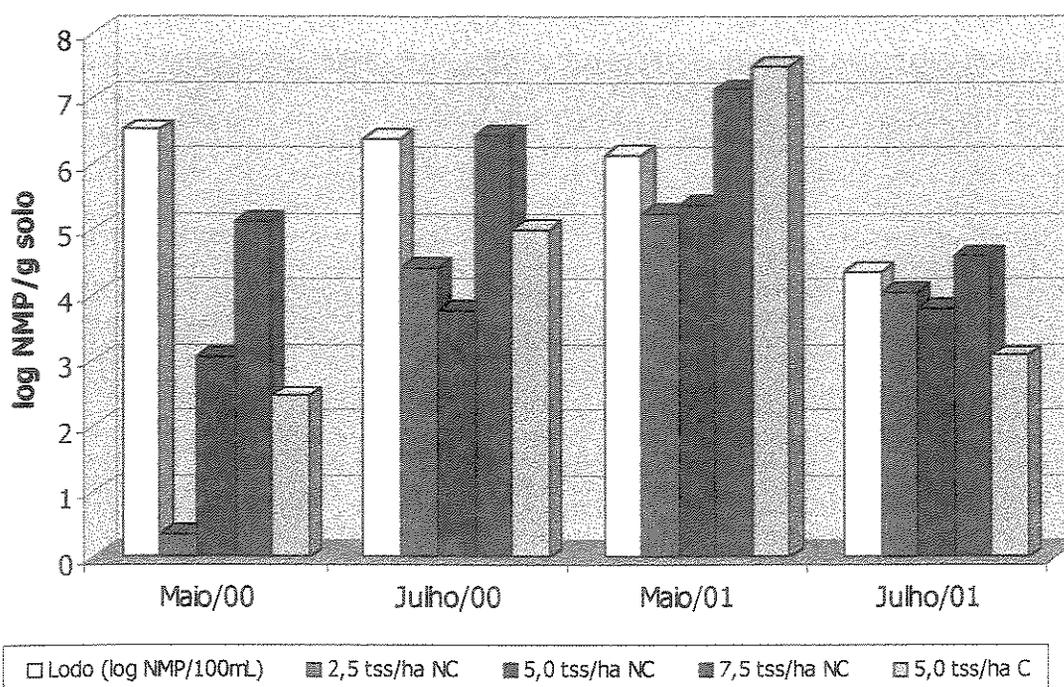


FIGURA 5.13 - Concentrações de coliformes fecais no solo após, aproximadamente, 30 dias das aplicações de lodo, nas taxas 2,5; 5,0 e 7,5 tss/ha solo não corrigido e 5,0 tss/ha solo corrigido, nos meses de maio e julho de 2000 e 2001.

No mês de maio de 2000 (Figura 5.13), foi observado que as concentrações de coliformes fecais, após 30 dias de aplicação de lodo, apresentaram-se maiores que o mês de abril do mesmo ano, principalmente na taxa 7,5 tss/ha NC (solo não corrigido), que apresentava uma concentração em torno de 5 unidades logarítmicas. Comparando-se os meses de maio de 2000 e 2001, verificou-se que, para todas as taxas analisadas, houve um aumento considerável, em torno de 2 unidades logarítmicas nas concentrações de coliformes fecais no solo após um ano de experimento. As concentrações obtidas em 2001, estavam entre 10^5 e 10^7 NMP/g solo, considerando ainda que as concentrações de coliformes fecais nos lodos aplicados nos dois períodos não variaram (aproximadamente 10^6 NMP/mL). Uma observação relevante foi a ocorrência de temperaturas mais baixas no inverno de 2000 (Anexo B), o que pode ter reduzido o tempo de sobrevivência dos coliformes.

Ainda na Figura 5.13, foi observado que as concentrações de coliformes fecais no solo, após 30 dias das aplicações de lodo, no mês de julho/00, foram um pouco maiores que em maio, tendo aumentado, em torno de 1 unidade logarítmica de coliformes fecais em cada taxa analisada. Comparando-se os resultados obtidos em julho/00 e julho/01, verificou-se que diferentemente do ocorrido em maio, as concentrações de coliformes fecais em 2001 apresentaram-se um pouco menores nas taxas 7,5 tss/ha NC e 5,0 tss/ha C, já nas taxas 2,5 e 5,0 tss/ha NC, as concentrações foram praticamente as mesmas que no ano anterior. Um dos motivos da redução de coliformes fecais em 2001 foi a própria concentração no lodo aplicado no mês de junho (em torno de 10^4 NMP/100 mL).

A partir destes resultados conclui-se que o tempo de sobrevivência dos coliformes fecais no solo pode ser maior nos meses em que as temperaturas forem mais baixas (maio, junho e julho). Após 30 dias da aplicação de lodo, nestes meses, as concentrações de coliformes fecais no solo superficial (15 cm) apresentaram-se maiores que 10^3 NMP/g de solo, o que pode significar algum risco de contaminação durante o manejo deste solo.

A Norma P4.230 (CETESB, 1999) estipula um prazo de 30 dias após a aplicação do lodo para permissão de animais para pastagem na área aplicada e 12 meses para o livre acesso do público. Foi verificado que, no mês de maio de 2001, após os 30 dias de aplicação, as concentrações de coliformes fecais, mesmo na menor taxa 2,5 tss/ha, apresentaram-se em torno de 10^5 NMP/g solo, valor próximo ao limite permissível para lodos Classe B (10^6 NMP/g).

Segundo literatura consultada (CETESB, 2000), os patógenos sobrevivem poucas semanas no solo. No entanto, foi observado que os coliformes fecais, indicadores de patogenicidade, sobreviveram mais que 30 dias após as aplicações de lodo na camada superficial do solo nas diferentes taxas analisadas.