

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

**AVALIAÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO
DISSOLVIDOS NA ÁGUA DE INFILTRAÇÃO APÓS
APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO
SOLO**

Geraldo Dragoni Sobrinho

**Campinas, SP
2000**

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIDADE 3e
 Nº CHAMADA T/UNICAMP
D787a

48794
 16.837102
 D ☒ Z

PREÇO R\$ 11,00
 DATA 07/05/02
 Nº CPD

ii

CM00167220-5

BID 239663

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

D787a

Dragoni Sobrinho, Geraldo.
 Avaliação de nitrogênio e fósforo dissolvidos na água de infiltração
 após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo / Geraldo
 Dragoni Sobrinho.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

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

1. Lodo. 2. Nitrogênio. 3. Fósforo. 4. Biodegradação. I. Coraucci
 Filho, Bruno. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
 Engenharia Civil. III. Título.

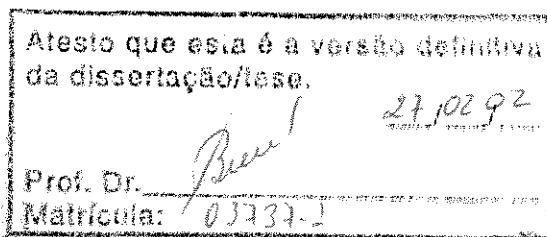
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO
DISSOLVIDOS NA ÁGUA DE INFILTRAÇÃO APÓS
APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO
SOLO**

Geraldo Dragoni Sobrinho

Orientador:
Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho

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



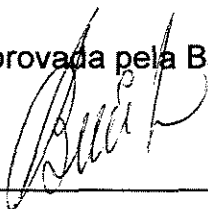
Campinas, SP
2000

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

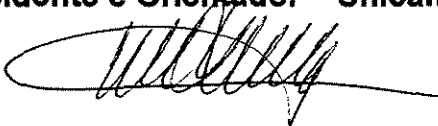
**AVALIAÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO DISSOLVIDOS NA
ÁGUA DE INFILTRAÇÃO APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO
DOMÉSTICO NO SOLO**

Geraldo Dragoni Sobrinho

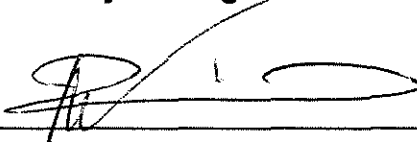
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho
Presidente e Orientador – Unicamp



Prof. Dr. Roberto Feijó de Figueiredo – Unicamp



Prof. Dr. Antônio Roberto Siviero – Cotil – Unicamp

Campinas, 14 de Agosto de 2000

816612007

*Dedico,
a minha esposa Elcí e
a minha filha Carla*

AGRADECIMENTOS

- a Deus;
- a minha esposa Elcí, pelo incentivo e colaboração;
- ao meu considerado filho, Murilo;
- ao meu orientador, prof. Bruno, pela amizade e confiança a mim depositada;
- aos membros da banca examinadora, pela colaboração;
- a minha família: pai, mãe e irmãos que me apoiaram e indiretamente financiaram o meu curso;
- a todos os professores que ministraram as disciplinas da pós-graduação, pelo dom e competência na transmissão de conhecimentos gerais e científicos;
- a profa. Dra. Dejanira de Angelis, pela disciplina ministrada, pelo meu acolhimento na UNESP, pelo incentivo e presteza;
- a profa. Dra. Maria E. Matiazzo da ESALQ, pela ajuda nos métodos de detecção de nutrientes em solos e pelo incentivo;
- aos professores e amigos da FEC; Edson, Tuca, Eglê, que sempre estiveram a disposição para me ajudar, científica e profissionalmente;
- a Cristiane Campos, pelo auxílio nas análises de respirometria;
- aos ex-diretores do CESET, professores: Joaquim e Ângela, pelo incentivo e colaboração financeira para o projeto;
- aos atuais diretores do CESET, professores: Maria Auciliadoura e Sandro, pelo incentivo e colaboração;

- aos funcionários e amigos do apoio didático: Ana, Emerson, Ivonei, Reginaldo, Ádria e Josiane, pelo incentivo e colaboração e em especial a Anjaina pela ajuda direta no trabalho;
- aos amigos da administração do CESET, pelo incentivo;
- aos amigos do COTIL; Kátia, Chang e Edmilson, pela ajuda;
- em especial, ao professor José Ulysses de Miranda, pelo geral bom exemplo de vida, pelo incentivo e apoio a minha vida estudantil e profissional;
- ao prof. Dr. Edison Roberto Poleti, pela colaboração e incentivo;
- ao meu amigo e superior imediato; Gilberto, pelo apoio e colaboração geral;
- ao meu amigo, considerado irmão (mais experiente); Beto Siviero, que sempre me aconselha nas dificuldades;
- ao meu considerado irmão e amigo: Dr. Rafael Fernandez, por muitas coisas, entre elas, as consultas particulares não cobradas;
- aos meus amigos; Carlão, Giocondo, Niltinho; pelos bons momentos de conversas, desabafos e incentivos;
- ao meu amigo Betega “Psicólogo-conselheiro”, pela lição de vida;
- aos estagiários do laboratório do CESET que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho;
- a todos os amigos do Campus de Limeira e da Engenharia Civil que, de alguma forma, me apoiaram;
- aos funcionários da gráfica do Campus de Limeira: Gilberto e Luis, pela ajuda nas encadernações;
- ao amigo “PRIMO” da gráfica da FEC pela amizade, simpatia e bom desempenho de seu trabalho;
- aos funcionários da secretaria da pós-graduação: Carlos e Paula, pela paciência;
- a Noemia, secretaria do Departamento de Saneamento da FEC, pela colaboração;
- ao meu amigo Pedro Fadine, pelo incentivo;

- ao coordenador do Campus de Limeira, prof. Luis Eduardo Quitério, pela colaboração nos trabalhos de campo;
- à Sra. Célia Picinini, pelos empréstimos do micro computador e pelos cafezinhos;
- ao prof. Jorge Faber e a Terraplex pela colaboração na coleta e transporte do solo até o experimento; e,
- a todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

SUMÁRIO

	Página
SUMÁRIO	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	ixx
RESUMO	xix
1 - INTRODUÇÃO	01
2 - OBJETIVO	06
2.1 – Objetivo geral	06
2.2 – Objetivos específicos	06
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	07
3.1 Breve resumo relacionado ao lodo de esgoto	07
3.2 Disposição do lodo de esgoto	10
3.3 Influência dos parâmetros principais com a aplicação do lodo de esgoto doméstico no solo	16
3.3.1 Biodegradação	17
3.3.2 Aspectos químicos	18
3.3.3 Aspectos biológicos	23
3.4 Aceitação social do lodo de esgoto na agricultura	27
4 - MATERIAL E MÉTODOS	29

4.1 MATERIAL	30
4.1.1 Solo utilizado.....	30
4.1.2 Lodo utilizado.....	31
4.1.3 Cubas	31
4.1.3.1 Estação de coleta e monitoramento de líquido intersticial.....	32
4.1.3.2 Estação de coleta e monitoramento de líquido de drenagem livre.....	32
4.1.4 Montagem do experimento	35
4.2. Métodos	37
4.2.1 Procedimento experimental	38
4.2.2 Período e frequência de aplicação de lodo e avaliação do líquido infiltrado a 0,75 metro.....	38
4.2.3 Equipamentos a serem utilizados na pesquisa	39
5 - RESULTADOS.....	42
5.1 Informações gerais sobre os resultados obtidos	42
5.2 Apresentação dos dados de caracterização do solo e do lodo utilizados na pesquisa	46
5.3 Apresentação dos dados dos pontos de monitoramento das cubas com solo de pH natural.....	49
5.4 Apresentação dos dados dos pontos de monitoramento das cubas com solo de pH neutralizado	56
5.5 Apresentação dos dados em forma de gráficos da caracterização do lodo bruto antes das aplicações no solo.....	60
5.6 Apresentação dos dados em forma de gráfico dos pontos de monitoramento das cubas com solo de pH natural.....	57
5.7 Apresentação dos dados em forma de gráfico dos pontos de monitoramento das cubas com solo de pH neutralizado	66
5.8 Comparação dos dados de monitoramento a 0,75m entre fases de aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo	69

5.8.1 Fase: entre a quarta e a quinta aplicação de lodo	69
5.8.2 Fase: entre a quinta e a sexta aplicação de lodo.....	74
6 – DISCUSSÃO	78
6.1 – Período e frequência de aplicação de lodo	78
6.2 – Montagem do sistema piloto	79
6.3 – Lodo bruto	81
6.4 – Líquido infiltrado no solo	82
6.4.1 – Coletas de líquido infiltrado entre as aplicações de lodo	85
6.5 – pH do solo	86
6.6 – Biodegradação do lodo	87
7 – CONCLUSÃO	89
8 – SUGESTÕES	93
9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ABSTRACT	103
ANEXO A.....	104
ANEXO B.....	120
ANEXO C.....	125

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - Geração, tratamento, uso e disposição de lodo de esgoto	13
FIGURA 4.1 – Esquema, em corte, da montagem da cuba	33
FIGURA 4.2 – Esquema, em corte, da montagem do coletor de líquido na matriz (intersticial)	33
FIGURA 4.3 – Esquema, em corte, da montagem do coletor de líquido percolado	33
FIGURA 4.4 – Ilustração do coletor de líquido na matriz (intersticial)	34
FIGURA 4.5 – Ilustração do coletor de líquido percolado.....	34
FIGURA 4.6 – Ilustração da cuba no terreno	36
FIGURA 4.7 – Ilustração do conjunto de cubas no terreno	37
FIGURA 4.8 – Ilustração do equipamento de destilação do nitrogênio	41
FIGURA 4.9 – Ilustração do respirômetro alternativo	41
FIGURA 5.1 – Avaliação do nitrogênio total kjeldahl no lodo bruto	60
FIGURA 5.2 – Avaliação do nitrogênio amoniacal no lodo bruto.....	61
FIGURA 5.3 – Avaliação do nitrogênio nitrato no lodo bruto	61
FIGURA 5.4 – Avaliação do fósforo total no lodo bruto	62
FIGURA 5.5 – Avaliação de nitrogênio Total kjeldahl no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural	63
FIGURA 5.6 – Avaliação de nitrogênio amoniacal no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural	63

FIGURA 5.7 – Avaliação de nitrogênio nitrato no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	64
FIGURA 5.8 - Avaliação de nitrogênio nitrito no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	64
FIGURA 5.9 – Avaliação de fósforo total no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	65
FIGURA 5.10 - Avaliação de nitrogênio total kjeldahl no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado.....	66
FIGURA 5.11 - Avaliação de nitrogênio amoniacal no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado.....	67
FIGURA 5.12 - Avaliação de nitrogênio nitrato no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado.....	67
FIGURA 5.13 - Avaliação de nitrogênio nitrito no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado.....	68
FIGURA 5.14 - Avaliação de fósforo total no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado.....	68
FIGURA 5.15 - Avaliação de fósforo total no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado.....	70
FIGURA 5.16 - Avaliação de nitrogênio total kjeldahl no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 4 ^a . e 5 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	70

FIGURA 5.17 - Avaliação de nitrogênio nitrato no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 4 ^a . e 5 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	71
FIGURA 5.18 - Avaliação de nitrogênio nitrato no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 4 ^a . e 5 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	71
FIGURA 5.19 - Avaliação de nitrogênio nitrito no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 4 ^a . e 5 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH natural	72
FIGURA 5.20 - Avaliação de nitrogênio nitrito no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 4 ^a . e 5 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	72
FIGURA 5.21 - Avaliação de fósforo total no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 4 ^a . e 5 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH natural	73
FIGURA 5.22 - Avaliação de fósforo total no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 4 ^a . e 5 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	73
FIGURA 5.23 - Avaliação de nitrato no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 5 ^a . e a 6 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	74
FIGURA 5.24 - Avaliação de nitrato no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 5 ^a . e a 6 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	75
FIGURA 5.25 - Avaliação de nitrito no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 5 ^a . e a 6 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	75
FIGURA 5.26 - Avaliação de nitrito no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 5 ^a . e a 6 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	76

FIGURA 5.27 - Avaliação de fósforo total no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 5 ^a . e a 6 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH natural	76
FIGURA 5.28 - Avaliação de fósforo total no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, no período entre a 5 ^a . e a 6 ^a . aplicação de lodo de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	77
FIGURA A.1 – Curva padrão de nitrogênio amoniacal	108
FIGURA A.2 – Curva padrão de nitrogênio total kjeldahl	112
FIGURA A.3 – Curva padrão de fósforo total	116
FIGURA A.4 – Curva padrão de nitrogênio nitrato	117
FIGURA A.5 – Curva padrão de nitrogênio nitrito	119
FIGURA B.1 – Produção de CO ₂ acumulada	123
FIGURA B.2 – Produção de CO ₂ acumulada	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1- Componentes encontrados nos lodos municipais	12
TABELA 3.2 - Produção de lodo de esgoto e destino final na Europa	15
TABELA 3.3 – Composição média dos principais tipos de lodos do Paraná.....	18
TABELA 3.4 – Tempo de sobrevivência de patogênicos no solo	24
TABELA 4.1 – Material necessário para a montagem das cubas	35
TABELA 5.1 – Data de caracterização e monitoramento do lodo	45
TABELA 5.2 – Tempo (dias acumulados) de aplicação de lodo no solo e monitoramento do líquido infiltrado	45
TABELA 5.3 – Caracterização do solo	46
TABELA 5.4 – Caracterização do lodo antes da aplicação no solo.....	47
TABELA 5.5 – Caracterização do lodo bruto antes de cada aplicação no solo.....	47
TABELA 5.6 – Eficiência de remoção de N e P no sistema piloto para taxa de aplicação de lodo de 7,5 tds/ha em solo de pH natural.....	48
TABELA 5.7 - Eficiência de remoção de N e P no sistema piloto para taxa de aplicação de lodo de 5,0 tds/ha em solo de pH natural.....	48
TABELA 5.8 - Eficiência de remoção de N e P no sistema piloto para taxa de aplicação de lodo de 5,0 tds/ha em solo de pH neutralizado	49
TABELA 5.9 – Dados de nitrogênio Total kjeldahl no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural	50

TABELA 5.10 – Dados de nitrogênio amoniacal no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	51
TABELA 5.11 – Dados de nitrogênio orgânico no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	52
TABELA 5.12 – Dados de nitrogênio nitrato no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	53
TABELA 5.13 – Dados de nitrogênio nitrito no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural.....	54
TABELA 5.14 – Dados de fósforo total no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH natural	55
TABELA 5.15 – Dados de nitrogênio total kjeldahl no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	56
TABELA 5.16 – Dados de nitrogênio amoniacal no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	57
TABELA 5.17 – Dados de nitrogênio orgânico no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	57
TABELA 5.18 – Dados de nitrogênio nitrato no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	58
TABELA 5.19 – Dados de nitrogênio nitrito no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado	58

TABELA 5.20 – Dados de fósforo total no líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade, após aplicação de lodo de esgoto – solo de pH neutralizado.....	59
TABELA A.1 – Curva de calibração do nitrogênio amoniacal.....	107
TABELA A.2 – Curva de calibração do nitrogênio total kjeldahl.....	111
TABELA A.3 – Curva de calibração do fósforo total.....	115
TABELA A.4 – Curva de calibração do nitrogênio nitrato.....	117
TABELA A.5 – Curva de calibração do nitrogênio nitrito.....	118
TABELA B.1 – Eficiência da biodegradação do lodo.....	122
TABELA C.1 – Dados de precipitação pluviométrica do ano de 1997.....	127
TABELA C.2 – Dados de precipitação pluviométrica do ano de 1998.....	128
TABELA C.3 – Dados de precipitação pluviométrica do ano de 1999.....	129

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

EPA	Agência de Proteção Ambiental
CTC	capacidade de troca catiônica
cm	centímetro
CENA	Centro de Energia Nuclear na Agricultura
CAESB	Companhia de Água e Esgoto de Brasília
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
D	descarte da cuba
eq.	equação
ESALQ	Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da Europa
P	fósforo
g/Kg	grama por kilograma
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
L/s	litros por segundo
Mg/ha	mega por hectare = tonelada por hectare
m	metro
m ³ /s	metro cúbico por segundo
mg/Kg	miligramas por kilograma
mg/L	miligramas por litro
nm	nanômetro

N	nitrogênio
N-NH ₃	nitrogênio amoniacal em N
N-NTK	nitrogênio total kjeldahl em N
N-NO ₃	nitrogênio nitrato em N
N-NO ₂	nitrogênio nitrito em N
NMP	número mais provável
%	porcentagem
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
ST	sólidos totais
Δt	somatória (dias) entre frequência de aplicação de lodo
T _{2.1} a T _{2.8}	tempo (dias acumulados) avaliação do líquido infiltrado a 0,75 metro
T _{1.1} a T _{1.6}	tempo (dias acumulados) caracterização do lodo e aplicação no solo
tds/ha	tonelada de sólido seco por hectare
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

DRAGONI SOBRINHO, Geraldo. Avaliação de Nitrogênio e Fósforo Total Dissolvidos na Água de Infiltração após Aplicação de Lodo de Esgoto Doméstico no Solo. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 150 pág. - Dissertação.

O excesso de nutrientes como, nitrogênio e fósforo, provenientes do lodo de esgoto, após aplicação no solo, pode provocar o comprometimento do solo e da água subterrânea. Devido à necessidade de tratamento dos esgotos, a geração de lodo tende a aumentar, sendo necessário pesquisas para visualizar as suas aplicações. Neste trabalho, foram realizadas seis aplicações de lodo de esgoto, em solo de pH natural (4,5) e em solo de pH neutralizado (7,0) durante 620 dias. Na experiência utilizou-se reatores em escala piloto contendo volumes de solos de 0,2 m³, nos quais foram aplicadas taxas de: 0,0; 2,5; 5,0 e 7,5 tds/ha, respectivamente. Foram avaliadas as formas de nitrogênio e de fósforo total no líquido infiltrado, à profundidade de 0,75 metro. Comparou-se o comportamento dos nutrientes, nos solos de diferentes pHs e ainda a eficiência da biodegradação para ambos. Os resultados obtidos demonstraram que: ocorreu a remoção acentuada de todos os parâmetros investigados; a biodegradação do lodo foi mais eficiente para a taxa de 7,5 tds/ha, devido a maior produção de CO₂, que em 42 dias foi acima de 30 %, que é a mínima recomendada pela norma, porém propiciou lixiviação significativa do nitrato. Os solos de diferentes pHs, para a taxa de 5,0 tds/ha, se comportaram de maneira semelhante, na quantidade de CO₂ produzida e se mostrou promissora para a aplicação do lodo no solo, com pH natural, até a quinta aplicação, por apresentar concentrações de nitratos inferiores a 10 mgN/L, (**Portaria 36/GM, 1990**). Para aplicações por maior período, recomenda-se a taxa de 2,5 tds/ha.

Palavras Chave: lodo; nitrogênio; fósforo e biodegradação.

1 - INTRODUÇÃO

O lodo é o material resultante dos processos de tratamento de água de abastecimento público e de esgotos (doméstico e/ou industrial). Para o resíduo sólido gerado pelos sistemas de tratamento de esgotos, "lodo", é uma denominação genérica. Trata-se de um material heterogêneo, cuja composição depende do tipo de tratamento empregado para "purificar" o esgoto e das características das fontes geradoras (população e indústrias).

Nos Estados Unidos um termo que vem sendo empregado para designar o lodo de esgoto, em especial quando o objetivo é a utilização deste material como adubo na agricultura e/ou nas florestas, é "biosólido" (do inglês "biosolid") (SANEPAR, 1997).

A geração de lodo, vem aumentando devido ao crescimento, melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento sócio-econômico da população. Além desses, a necessidade de otimização nas estações de tratamento de água e esgotos e a construção de outras, têm contribuído para o aumento desta geração.

Para exemplificar a situação da região, a cidade de Campinas, considerada o maior núcleo urbano da região, ela trata apenas 6,5% do volume total de esgoto coletado (cuja vazão é de $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$), apesar de possuir 15 estações de tratamento primário. O restante é lançado nos córregos das sub-bacias do rio Atibaia (36%), do rio Quilombo (11%) e do rio Capivari (53%). Caso não sejam tomadas medidas cabíveis, o déficit na área de tratamento de esgotos tende a se acentuar.

Segundo estudos realizados pela SANASA (1994), citado por **PROJECTUS (1997)**, a cidade de Campinas terá que utilizar, no ano de 2020, um sistema de tratamento de esgotos dimensionado para uma vazão média final de 4,7 m³/s.

Esta situação, é um exemplo da degradação que o ambiente vem sofrendo ao longo dos anos. Destes, o desenvolvimento urbano desordenado, pode ser considerado como o principal responsável por esta degradação, pois na maioria das vezes, ocorre sem um planejamento adequado que vise unir este desenvolvimento à preservação e utilização racionais dos recursos naturais. Aliado a este problema, existe ainda a intensa geração de outros tipos de resíduos originados pelas diversas atividades da sociedade, que necessitam ser dispostos sem afetar ainda mais o ambiente.

Espera-se que haja um aumento substancial na produção de lodo de esgoto nos próximos anos, em decorrência do crescimento dos índices de tratamento dos esgotos. Segundo **Santos, et ali. (1997)** a produção de "biosólidos" da SABESP, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), passará de 100 toneladas/dia (base seca) para 566 toneladas/dia em 2005 e 784 toneladas/dia em 2015. Segundo este mesmo autor, o volume de lodo de esgoto produzido na RMSP corresponde a 93% do total produzido no estado, sendo que o interior e o litoral contribuem com 5 e 2%, respectivamente.

A questão da geração de resíduos é preocupante pelo seu constante aumento e necessidade de encontrar formas de minimizá-la. Isto pode ser feito através de sua diminuição na fonte, de programas de coleta seletiva e reciclagem, e no caso da disposição no solo, é preciso um tratamento prévio antes da disposição para impedir a contaminação do solo e água, que pode ser causada pelo emprego de uma forma de disposição incorreta. Com a adequada disposição, recupera-se os recursos naturais, que muitas vezes são usados indiscriminadamente, sem qualquer preocupação com a qualidade do ambiente. Como exemplo, pode-se citar os corpos d'água que servem como ponto de descarga de esgotos domésticos e industriais

sem qualquer tratamento e que pela simples introdução de estações de tratamento de esgotos, contribui para a melhoria das condições ambientais e da saúde da população.

Resíduos não tratados além de poluir o ambiente, causando perda da qualidade ambiental, podem ter organismos patogênicos causadores de doenças entéricas, podendo estes estar presentes nos esgotos e que, se inconvenientemente dispostos, podem atingir coleções de água (inclusive do aquífero subterrâneo) contaminando-as e, em consequência, causar danos à saúde do homem.

A fim de garantir a disposição adequada do lodo de esgoto no Brasil, várias linhas de pesquisa tornam-se necessárias. A primeira delas refere-se a caracterização físico-química do lodo de esgoto, nos municípios. Este tipo de pesquisa é de extrema importância pois o Brasil possui cidades com características de desenvolvimento bastante distintas, ou seja, com diversos tipos de indústrias e populações com diferentes níveis de saúde. De acordo com o tipo de lodo gerado, determinadas alternativas de disposição serão mais viáveis que outras. Além do mais, com a caracterização do lodo de esgoto é possível identificar quais são os problemas ambientais e de saúde pública que a cidade possui, tais como lançamento de metais pesados no esgoto, infestações parasitárias, etc. **(KRAUSS, et al. 1997)**.

O mesmo autor salienta que esta caracterização deveria ser de responsabilidade das empresas que operam as estações de tratamento de esgotos (públicas ou privadas) e que o governo deveria estabelecer padrões de qualidade para o lodo de esgoto, a fim de garantir o uso deste material. O lodo de esgoto pode apresentar em sua composição elementos químicos e biológicos indesejáveis do ponto de vista ambiental, ou seja, pode conter elementos que, em contato com o homem e/ou com a fauna e a flora, podem causar doenças e contaminações diversas. Portanto, qualquer decisão sobre o destino final mais apropriado para o lodo depende da avaliação e minimização dos riscos de contaminação do ambiente e do homem.

No Brasil, a caracterização do lodo torna-se importante uma vez que a rede de coleta residencial não é, na maioria das vezes, separada da rede de coleta industrial. Isto faz com que exista uma maior probabilidade de ocorrência de metais pesados e outros dejetos industriais no lodo. Além disso, em muitas regiões existem problemas graves de saúde, o que pode fazer com que o lodo apresente elevados teores de patógenos.

Atualmente, das alternativas disponíveis para o tratamento de esgotos, na sua maioria há a questão da geração do lodo. Este resíduo é gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's) a partir de substâncias orgânicas e minerais separadas durante o tratamento. É um produto natural, constituído de 2 a 5% de sólidos, rico em nutrientes, substâncias húmicas, íons metálicos, substâncias tóxicas, etc., e que necessita de tratamento de maneira a acelerar sua biodegradação e tornar adequada a sua disposição final (**METCALF e EDDY, 1991**). A quantidade de lodo gerado por uma ETE depende do tipo de tratamento que é utilizado; de uma maneira geral, quanto maior for o número de unidades de tratamento, maior será o volume de lodo gerado, o que leva a uma imperiosa necessidade de encontrar uma forma de dispor este resíduo.

Existem várias formas possíveis de dispor este resíduo e, como exemplo, pode-se citar, entre outros, a incineração, o lançamento em corpos d'água ou oceanos (alternativa já proibida na maioria dos países); e, disposição no solo em aterros, ou na utilização agrícola. Para encontrar a melhor forma de disposição é preciso conhecer as características do resíduo, a quantidade que este é gerado e a disponibilidade de recursos para sua disposição, sem esquecer de correlacionar disposição e qualidade ambiental.

Dentre as alternativas para a disposição final do lodo de esgoto, a aplicação na agricultura e/ou florestas pode ser considerada uma das mais promissoras, devido a sua sustentabilidade. Tanto a aplicação de lodo de esgoto na agricultura como em

florestas podem ser estudadas em conjunto, uma vez que a finalidade é praticamente a mesma, ou seja, fornecimento de matéria orgânica e nutriente para as culturas. Deve-se estar atento apenas para as características específicas de cada cultura (seja ela agrícola ou florestal) e, conseqüentemente, com os diversos riscos que cada aplicação apresenta **(CARVALHO, et al. 1982)** e **(BOARETTO, 1986)**.

A reciclagem agrícola do lodo vem se destacando em nível mundial, do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, desde que verificado o nível de metais pesados e a adoção de alternativa de higienização adequada ao uso agrícola, contribuindo para fechar o ciclo ecológico dos nutrientes minerais e colocando a disposição do produtor rural um insumo de baixo custo com excelentes qualidades agronômicas **(ANDREOLI et al. 1999)**.

2 - OBJETIVO

2.1 – Objetivo Geral

Dada a importância atual do tema e por entender que a "disposição de lodo de esgoto doméstico no solo" têm emprego agrícola, pretende-se estudar a disposição controlada de lodo líquido digerido de esgoto doméstico em solo de característica arável.

2.2 – Objetivos Principais

- avaliar as formas de nitrogênio e fósforo total, na água infiltrada, após aplicação de lodo de esgoto doméstico, em solo de pH natural e em solo de pH neutralizado;
- comparar a biodegradação da matéria orgânica, após a aplicação de lodo de esgoto doméstico, no solo com pH natural e no solo com pH neutralizado; e,
- avaliar a possibilidade da reciclagem agrícola do lodo de esgoto, no tocante aos parâmetros analisados: Série de Nitrogênio e Fósforo Total.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O lodo de esgoto é um resíduo gerado nas unidades de decantação de um sistema de tratamento a partir de substâncias minerais e orgânicas. É produzido em grandes quantidades pelas ETE's, e precisa ser adequadamente disposto, sem causar danos ao ambiente. Por ser um resíduo que possui altas concentrações de matéria orgânica e outros minerais importantes para o desenvolvimento das plantas, como fósforo e nitrogênio, pode-se pensar na sua utilização como fertilizante, promovendo assim sua reciclagem em solos agrícolas.

3.1 - BREVE RESUMO RELACIONADO AO LODO DE ESGOTO

A questão da geração de lodo e a necessidade de encontrar formas de disposição segura, vem crescendo com a necessidade cada vez maior de realizar os processos de tratamento de águas e esgotos.

Segundo **LIU (1982)**, todas as grandes cidades têm problemas com a disposição do lodo residual e é preciso encontrar soluções eficientes, pois a tendência é a de que este problema se agrave com o desenvolvimento e crescimento destas cidades e conseqüente aumento de processos de tratamento de água e esgoto.

Segundo **JORGE (1975)** e **HARTENSTEIN (1981)** o lodo de esgoto apresenta, em sua constituição, matéria orgânica em diferentes estágios de

degradação. Em princípio, o lançamento do mesmo no solo melhora as suas características em virtude dos benefícios que a matéria orgânica presente representa para o solo, interferindo favoravelmente na capacidade de aeração e drenagem. A matéria orgânica é transformada em húmus, através da ação de microrganismos. Os nutrientes gerados desta transformação contribuem para a fertilidade do solo aumentando a disponibilidade dos mesmos para as plantas.

A utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas é uma prática antiga e que faz parte da agricultura tradicional (**HAYS, 1977**). Segundo a autora, existem outros aspectos que favorecem a utilização dos resíduos gerados pelas Estações de Tratamento de Esgotos na agricultura, dentre os quais pode-se destacar:

1. estes resíduos não podem ser dispostos em corpos d'águas pois causariam a eutrofização das águas e desta forma elevariam os níveis de poluição;
2. os custos para repor nutrientes em solos esgotados são altos, e o lodo de esgoto é uma fonte destes nutrientes, podendo-se aproveitar o potencial mineral do resíduo; e,
3. custo de algumas tecnologias para a disposição do lodo, como a incineração, é alto e, considerando a questão como econômica, a possibilidade de reaproveitar o resíduo torna-se cada vez mais atrativa.

De acordo com **HAYS (1977)** para a utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas, deve-se levar em conta os riscos de uma possível contaminação deste resíduo por patogênicos. Para tentar minimizar este risco, são necessários programas de monitoramento que acompanhem a população de bactérias, vírus, protozoários e vermes no solo após a aplicação do lodo. Deve-se ter em mente que além da contaminação do solo, é preciso tomar cuidado para que o aquífero também não seja contaminado por estes agentes, já que altos índices de contaminação por patógenos, podem comprometer o aquífero e afetar seu uso (**LIU 1982**). Estes organismos são responsáveis por doenças entéricas de fácil transmissão e veiculação hídrica (**BURGE et al. 1978**).

Segundo **WATSON et al. (1983)** os ovos de helmintos são liberados nas fezes do homem e podem atingir o solo, se o lodo de esgoto for disposto neste ambiente, o que acaba provocando um novo ciclo de disseminação destes organismos. Entre os protozoários patogênicos cita os que são mais comuns no esgoto e águas residuais, como por exemplo, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, etc. Estes microrganismos são responsáveis por doenças entéricas e gastroenterites facilmente transmitidas através do contato do homem e outros animais, com água e lodo contaminado.

Os benefícios da utilização do lodo nos solos são também reconhecidos por **BURGE et al. (1978)**, que citam entre outros, a reposição de nutrientes esgotados em solos pobres, a melhoria da estrutura física dos solos e até mesmo a sua completa recuperação. Além disto, a aplicação de lodo de esgoto no solo promove a reciclagem dos constituintes orgânicos e minerais, sendo ainda uma alternativa de disposição de menor custo (**SANIN et al., 1994**).

A alternativa de reciclagem agrícola do lodo tem grande benefício de transformar um resíduo em importante insumo agrícola que fornece matéria orgânica e nutriente ao solo, trazendo também, vantagens indiretas ao homem e ao ambiente. As vantagens são de reduzir os efeitos adversos à saúde, causados pela incineração, diminuir a dependência de fertilizantes químicos e melhorar as condições para o balanço do CO₂ pelo incremento de matéria orgânica no solo. Porém, a sua utilização, sem critérios, traz riscos associados relativos ao conteúdo de elemento traço, nutrientes, agentes patogênicos, problemas de odor e atração de vetores (**AISSE, et al., 1999**).

Para que sejam obtidos bons resultados, a utilização do lodo no solo deve ser feita de modo disciplinado. Para atingir este objetivo, é necessário suporte técnico que garanta a qualidade do lodo, principalmente no que diz respeito a

agentes patogênicos e metais pesados (**MATTHEWS, 1992; ANDREOLI, et al., 1997**).

3.2 - DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO

São conhecidas algumas alternativas de disposição do lodo de esgoto, como por exemplo, incineração, disposição em oceanos (proibida em muitos países), disposição em aterros, ou ainda utilização em solos agrícolas como fertilizante, sendo esta última a forma mais adequada do ponto de vista ecológico e econômico (**LIU, 1982**).

Em 1972, a partir da Convenção de Oslo, foram firmados acordos para diminuir os níveis de poluição marinha, causada pela disposição do lodo no Mar do Norte e Atlântico Nordeste. Neste acordo, ficou também estabelecido que a dispersão do lodo em oceanos só deve ser feita em áreas pré-determinadas e que para tanto, são necessárias licenças, as quais devem ser renovadas anualmente de acordo com a quantidade e qualidade do lodo a ser disposto. Ainda assim, antes de realizar o despejo, deve-se considerar as características da área que será utilizada (**MATTHEWS, 1992**).

Com relação a esta forma de disposição na água, foram realizados vários acordos estabelecendo diretrizes, para que até dezembro de 1998 e que, até esta data, o volume de lodo disposto desta forma não deveria ser aumentado. Além disto, segundo **MATTHEWS (1992)** é preciso reduzir qualquer constituinte tóxico, persistente ou bio-acumulativo no lodo, para preservar a fauna aquática. Nos EUA a disposição do lodo em oceanos é proibida desde 1991 (**HEMPHILL, 1992**).

Outra forma de disposição, a incineração, também não parece ser a mais adequada para solucionar a questão do lodo. Este processo possui alto custo operacional e pode causar problemas de poluição atmosférica (**LIU, 1982**). Segundo

MATTHEWS (1992), além do custo e da emissão de gases, que podem contribuir para aumentar os níveis de poluição, há a questão das cinzas geradas ao final do processo e que devem ter um destino final adequado. Geralmente estas cinzas acabam sendo dispostas em aterros sanitários e muitas vezes são considerados resíduos perigosos, principalmente se houver a presença de metais pesados.

A disposição do lodo de esgoto em aterros é uma prática antiga, que tem como desvantagem a necessidade de se encontrar áreas em que possa ser realizada. Além destas desvantagens há os possíveis riscos de contaminação do solo e dos aquíferos, pois devido ao pequeno tamanho dos cistos e oocistos, é fácil sua migração pela água (**EPA, 1993**). Como uma alternativa mais viável surge a disposição do lodo de esgoto em solos aproveitando o potencial mineral deste resíduo.

Nos países adiantados, a disposição de lodo no solo, é bem antiga e somente a partir da década de 70 é que começou a se preocupar com o controle, devido ao seu uso indiscriminado (**VICENT e CRITCHLEY, 1984**).

A **USEPA (1983)** recomenda o estudo do lodo de no mínimo, um ano, para poder optar-se pela disposição, no solo. A TABELA 3.1 mostra um levantamento realizado em oito estados norte-americanos, com essa preocupação.

TABELA 3.1 – Componentes encontrados nos lodos municipais

COMPONENTES	LODO DIGERIDO POR PROCESSO AERÓBIO	LODO DIGERIDO POR PROCESSO ANAERÓBIO
Arsênio (mg/Kg)	10 a 230	-
Cádmio (mg/Kg)	3 a 3.410	5 a 2.170
Cromo (mg/Kg)	24 a 28.850	10 a 13.600
Cobre (mg/Kg)	85 a 10.100	85 a 2.900
Chumbo (mg/Kg)	58 a 19.730	13 a 15.000
Mercúrio (mg/Kg)	0,5 a 10.600	1 a 22
Molibdênio (mg/Kg)	24 a 30	30
Níquel (mg/Kg)	2 a 3.520	2 a 1.700
Zinco (mg/Kg)	108 a 2.800	108 a 14.900
Carbono Orgânico (%)	18 a 39	27 a 37
N Total (%)	0,5 a 17,3	0,5 a 7,6
N-NH ₄ (mg/Kg)	120 a 6.600	1.600 a 9.400
N-NO ₃ (mg/Kg)	2 a 4.900	7 a 830
P Total (%)	0,5 a 14,3	1,1 a 5,5
S Total (%)	0,8 a 1,9	0,6 a 1,1
K (%)	0,02 a 2,64	0,08 a 1,1
Na (%)	0,01 a 2,19	0,03 a 3,07
Ca (%)	1,9 a 20	0,6 a 13,5

Fonte: adaptado de NUVOLARI (1996)

O esgoto, doméstico (ou industrial) gerado, deve ser conduzido através da rede de esgotos para a ETE, onde são realizados os processos físicos, químicos e biológicos, comuns ao tratamento e necessários para efetuar a estabilização da matéria orgânica e a diminuição de substâncias nocivas (FIGURA. 3.1). Como resultado final do tratamento de esgoto, há a produção de um resíduo -lodo de esgoto, que precisa ser disposto, e um efluente final que, se advindo de processo de tratamento terciário poderá ser lançado nos corpos d'água, sem causar grandes impactos ao ambiente.

De um modo geral a ETE convencional é composta por unidades de gradeamento, caixas de areia, medidor de vazão, decantadores primário e secundário, unidade de tratamento biológico, desinfecção, além de unidades para tratamento do lodo e em alguns casos unidade de tratamento terciário.

O lodo produzido nas ETEs pode ser encontrado na forma líquida (digerida ou não digerida) e na forma de torta de lodo. O lodo líquido não digerido possui em seu conteúdo de sólidos secos em torno de 2 a 7% e é resultante da sedimentação

do esgoto. O lodo digerido é produto do tratamento do lodo em digestores e seu conteúdo sólido fica entre 2 a 5%. A torta de lodo é produzida pela retirada de líquido através de filtro prensa, prensa desidratadora, ou centrifugação do lodo líquido após um pré-tratamento e seu conteúdo de sólidos secos fica entre 20 a 35%, podendo chegar até 50%, se for utilizado ventilação com ar seco ou empilhamento (ANGLIAN WATER, 1991).

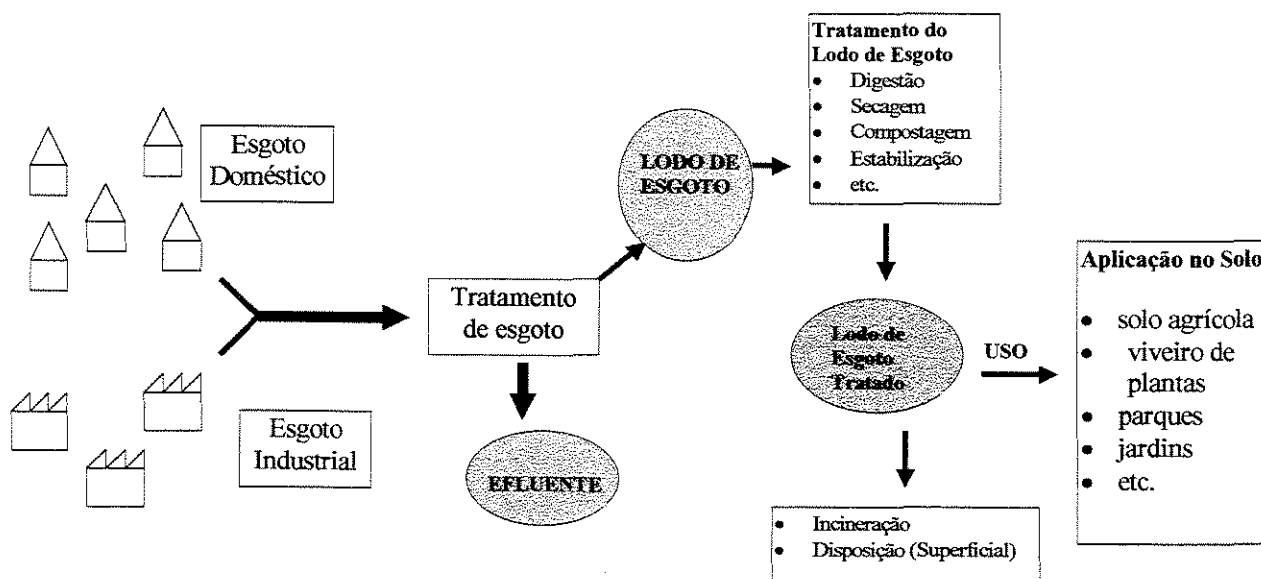


FIGURA 3.1 - GERAÇÃO, TRATAMENTO, USO E DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO

FONTE: ADAPTADO EPA,1992

Apesar do avanço da tecnologia do tratamento de esgoto, a problemática da geração e disposição do lodo ainda não foi resolvida. **DAVIS (1996)** estima que a produção de lodo na Europa terá um aumento de cerca de 60% (tds/ano) até o ano 2000 e portanto será necessário encontrar soluções que evitem acúmulo ainda maior deste resíduo o que, conseqüentemente, aumentará os índices de poluição, principalmente no caso de uma forma de disposição incorreta, como por exemplo seu lançamento em corpos d'água.

Para encontrar a melhor maneira de dispor este resíduo é preciso primeiro caracterizá-lo e a partir daí buscar soluções que melhor se adaptem às

características do resíduo, compatibilizando estas características com a forma de disposição. **STOLL et al. (1996)** fazem estes mesmos comentários preocupando-se mais enfaticamente com as quantidades geradas no presente e futuro, com a avaliação dos custos financeiros, e com as formas selecionadas de disposição.

STOLL et al. (1996) definem a utilização do lodo na agricultura como uma forma de gerenciamento de resíduo, que combina reuso e reciclagem de uma matéria rica em nutrientes importantes. Assim, pode-se considerar como uma boa opção o reuso deste resíduo e, devido às altas concentrações de matéria orgânica e nutriente como condicionante do solo e aplicação na agricultura (**HU et al., 1996**). No entanto, os autores lembram que o lodo contém patógenos que podem colocar em risco a saúde humana.

Segundo **PILLAI et al. (1996)**, o lodo de esgoto é utilizado de forma rotineira na agricultura em várias partes do mundo, e com a proibição da deposição de lodo nos oceanos e o aumento das restrições para disposição em aterros, esta prática acaba sendo favorecida, e tende a ser cada vez mais utilizada no futuro. Assim sendo, a aplicação de lodo de esgoto é uma tecnologia possível e viável para a agricultura, em razão fundamental de sua composição (minerais, matéria orgânica) e da forma que se apresenta, pois proporcionarão melhorias no solo especialmente aqueles que sofrem degradação geológica através de processo erosivo. Os estudos sobre a utilização do lodo de esgoto na agricultura ainda são muito recentes. No Brasil, existem poucos trabalhos ou experimentos que demonstrem a sua viabilidade, bem como que relatem as alterações ocorridas tanto no solo como no ambiente (**NASCIMENTO & BOTECA, 1996**), sendo, por esta razão, necessário o incentivo de desenvolver pesquisas e tecnologias.

NASCIMENTO & BOTECA (1998), citados por **ANDREOLI et al. (1999)** comprovaram a eficiência da utilização do lodo de esgoto como adubo na cultura de milho, chegando a obter 54% de aumento de produtividade, comparada ao adubo convencional.

Segundo **(SANEPAR, 1997)** o milho é uma das culturas que melhores resultados tem sido observados pelo uso do lodo. O seu período de vegetação longo e as suas necessidades de nitrogênio se adaptam ao período de mineralização da matéria orgânica do lodo e a liberação dos nutrientes.

A Europa unificada procura chegar a um padrão comum de disposição de lodo de esgoto, respeitando-se as particularidades de cada país. A disposição em aterros sanitários será permitida apenas na forma dos "resíduos últimos", ou seja, aqueles impróprios para a reciclagem e/ou com teor de água e de matéria orgânica menores do que 5% **(FERNANDES, 1997)**. A TABELA 3.2 mostra a produção e o destino do lodo de esgoto gerado em diversos países da Europa em 1990.

TABELA 3.2 – Produção de lodo de esgoto e destino final na Europa, 1990

PRODUÇÃO DE LODO		DESTINO			
PAÍS	MAT. SECA/ANO (tx10 ³)	USO AGRÍCOLA (%)	DISPOSIÇÃO NO SOLO (%)	INCINERAÇÃO (%)	DESPEJO NO MAR (%)
Alemanha	2.750	25	65	10	0
Bélgica	35	57	43	0	0
Dinamarca	-	43	29	28	0
Espanha	300	61	10	0	29
França	900	27	53	20	0
Grécia	200	10	90	0	0
Holanda	280	53	29	10	8
Irlanda	23	23	34	43	0
Itália	800	34	55	11	0
Luxemburgo	15	80	20	0	0
Portugal	200	80	12	0	8
Reino Unido	1500	51	16	5	28

FONTE: Adaptado de Lue-Hing et al., 1994, citado por FERNANDES, 1997

A TABELA 3.2 mostra que existe uma tendência dos países europeus em dispor o lodo de esgoto no solo, seguida da utilização agrícola. A incineração não é uma prática muito utilizada, e o despejo no mar é apenas utilizado por 4 países. É importante salientar que as características geográficas e climáticas de cada país são fortes determinantes na solução encontrada para a disposição final do lodo de esgoto; logo, o Brasil também terá que levar em consideração estas características.

No Brasil, já existe a preocupação no tocante ao problema da geração e disposição adequada do lodo de esgoto. Entre pesquisas isoladas pelos Institutos e Universidades de todos os Estados como: SABESP, UNICAMP, CENA, ESALQ, IAC, CETESB, etc.; o Estado do Paraná através da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), com o objetivo de gerar tecnologias e critérios seguros para o uso do lodo de esgoto, como fertilizante, desenvolveu a partir de 1993, um amplo programa multidisciplinar de pesquisas com várias instituições envolvidas: Universidade Federal do Paraná, Universidade Estadual de Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, Instituto Ambiental do Paraná, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, entre outras.

Outro lodo de esgoto que também está sendo utilizado na agricultura é o lodo da CAESB (Companhia de Águas e Esgoto de Brasília). Conhecido como "adubo da CAESB, apresenta-se na forma de torta, com umidade em torno de 85%" (CAESB, 1996).

3.3 - INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS PRINCIPAIS COM A APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO

De uma maneira geral, o lodo de esgoto pode ser caracterizado como um material bastante rico em matéria orgânica, com alto teor de umidade e com concentração relativamente elevada de nitrogênio, fósforo e outros minerais.

Geralmente os teores de macro-elementos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são relativamente baixos se comparados com os fertilizantes químicos comumente utilizados na agricultura. No lodo digerido os valores típicos resultam numa formulação (N-P-K) próxima de 3-2,5-1, enquanto que num fertilizante comumente utilizado na agricultura esses valores são 4-14-8.

Uma outra característica interessante do lodo de esgoto, é a matéria orgânica. Ela desempenha um importante e complexo papel na dinâmica dos solos, afetando suas características físicas, químicas, físico-químicas e biológicas. Sabidamente, os solos tropicais e sub-tropicais do Brasil são, em geral, pobres em matéria orgânica (**METCALF e EDDY, 1991**).

3.3.1 - BIODEGRADAÇÃO

No tocante a disposição adequada de qualquer resíduo no solo, a biodegradação torna-se um parâmetro de avaliação muito importante. Quando ocorre reaplicações, é necessário o controle deste parâmetro para estabelecer os períodos adequados de aplicações de resíduo no solo em função da taxa de biodegradação recomendadas pelas normas (**CETESB, 1990; ABNT, 1993**).

NUVOLARI (1996) e **CORAUCCI FILHO (1998)** através da aplicação de lodo de esgotos municipais no solo, estudaram a biodegradação da matéria orgânica presente no lodo, com diferentes taxas de aplicação; 5,0 ; 10,0 e 15,0 tds/ha, respectivamente. Através do ensaio de respirometria, a taxa de 5,0 tds/ha foi a que melhor se adaptou às condições da pesquisa, e em relação à frequência de aplicação, a mesma, indicou que a biodegradação da matéria orgânica levou cerca de 20 dias, sendo, esta taxa, recomendada pelos autores para futuras pesquisas e aplicação no solo.

SIVIERO et al, (2000) avaliaram a biodegradação de resíduos orgânicos no solo através do ensaio respirométrico, em três tipos de resíduos: lodo cítrico, óleo essencial cítrico e resina fenólica incorporada em areia de moldagem. Através dos resultados obtidos, verificaram que a eficiência da biodegradação pode variar de acordo com as taxas de aplicação da matéria orgânica no solo e de acordo com o tipo de resíduo a ser tratado.

3.3.2 - ASPECTOS QUÍMICOS

Quanto ao pH, o lodo de esgoto pode ser considerado praticamente neutro, isto é, com valores entre 6,0 e 7,0 (**METCALF e EDDY, 1991**). Para as condições brasileiras, em geral de solos ácidos, essa é mais uma característica interessante do lodo de esgoto. A TABELA 3.3 apresenta a composição média (%) dos principais tipos de lodo do Paraná.

TABELA 3.3 – Composição média (%) dos principais tipos de lodos do Paraná (Matéria Seca)

LODO	N TOTAL	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	pH	M.O.	C	C/N
Aeróbio ETE-Belém	4,91	3,70	0,36	1,59	0,60	5,9	69,4	32,1	6
Anaeróbio RALF	2,22	0,95	0,34	0,83	0,30	6,1	36,2	20,1	9

FONTE: Adaptado SANEPAR, 1997

O nitrogênio, devido ao elevado teor em que normalmente é observado nos biosólidos, é um parâmetro importante para o seu aproveitamento agrícola. Portanto, cuidados devem ser tomados, pois taxas elevadas deste elemento podem comprometer a qualidade da água subterrânea. Devido a sua alta mobilidade no solo, o nitrato, decorrente da mineralização do nitrogênio, desloca-se com facilidade para baixo da zona radicular, podendo atingir o lençol freático (**FERREIRA, et al. 1999**).

Segundo **BROWN (1975)**, a quantidade de lodo, quando disposto no solo, deve ser controlada devido ao excesso de nitrogênio e principalmente nas quantidades de nitrogênio na forma de nitratos, que pode ser gerado. Esses compostos, se aplicados no solo, em excesso, pode vir a contaminar o lençol freático, pois nitratos, dada a sua facilidade de solução em água, têm alta mobilidade no meio (solo).

O mesmo autor cita que para a escolha da taxa de aplicação de lodo no solo, na forma líquida, deve-se levar em conta a presença de nitratos em excesso, para evitar a contaminação das águas subterrâneas, por lixiviação. A contaminação, por nitratos pode ser evitada fazendo-se um balanço entre a quantidade de nitrogênio aplicado ao solo, prontamente disponível para as plantas, e as quantidades do nitrogênio necessárias à cultura em questão, mais as perdas por desnitrificação e volatilização. O nitrogênio no lodo, estaria sob duas formas: amoniacal, a qual já está disponível para as plantas, e a orgânica, a qual ainda seria decomposta.

Na Europa e na América do Norte foram realizados trabalhos importantes com lodo de esgoto que possuem realidades climáticas diferenciadas do Brasil. **Da ROS et al. (1993)** salientam que somente teores de nitrogênio total e fósforo foram significativamente alterados com uso de lodo de esgoto. Com o aumento de dosagens houve um incremento linear do teor desses compostos. A nitrificação é influenciada pela taxa de aplicação de lodo. Quanto menor a taxa aplicada ao solo, no caso (80 t/ha), maior e mais rápida ocorrerá a nitrificação. Quando aplicado em altas taxas (160 t/ha), houve um período de inibição para mais tarde ocorrer o aumento da taxa de nitrificação. **MAGDOFF et al. (1980)** em outro estudo mostraram que 55% do nitrogênio orgânico do lodo, foi mineralizado no solo, já no primeiro ano. **PRATT (1973)** em outro estudo na Califórnia, mostrou que a liberação do nitrogênio do lodo de esgoto foi de 35% no primeiro ano, 10% no segundo ano, 6% no terceiro ano e de 5% no quarto ano.

Os elementos nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), denominados de macronutrientes, aparecem na composição do tecido vegetal em maior porcentagem e são extraídos pelas plantas primordialmente do solo. O nitrogênio, em algumas espécies de plantas, ocorre em associações com microrganismos que são capazes de utilizar o N_2 presente na atmosfera, em um processo denominado de fixação simbiótica do nitrogênio. A absorção de nutrientes,

do solo, pelas plantas pode variar de acordo com o tipo de vegetação (**MELO et al., 2000**).

Ainda, os mesmos autores salientam, que o solo, num sistema produtivo racional, deve estar em condições de fornecer os nutrientes para as plantas em quantidades adequadas e no momento de suas necessidades. Como, de uma maneira geral, os solos não se apresentam em condições de atender as necessidades das culturas, o homem tem que intervir por meio de manejo adequado no sistema solo-planta, incluindo aplicações de fertilizantes minerais, orgânicos ou outro sistema como o aproveitamento do lodo de esgoto que apresentem vantagens na utilização. O lodo típico, segundo estes autores, apresenta concentrações de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e 0,4% de potássio.

MELO et al. (2000) salientam que, com relação ao fósforo, existem alguns trabalhos (CRIPS & MATACHA, 1991; ROS et al., 1993) que levantam dúvidas sobre o potencial do lodo de esgoto em aumentar a sua disponibilidade no solo, porém a maioria das publicações (SEKI, 1995; MARQUES, 1997) apontam expressiva contribuição do lodo de esgoto em relação ao fósforo disponível.

Outra literatura (**CORAUCCI FILHO, et al., 1999**) mostram que o fósforo é um elemento que forma diversos compostos de baixa solubilidade com o ferro, o alumínio e o cálcio, que são muito abundantes no solo. Porém, se o fósforo, estiver na forma inorgânica, estes compostos tornam-se mais solúveis à medida que o pH do solo aumenta. O fósforo, na forma de fosfatos de cálcio é mais solúvel em valores de pH mais baixos. A forma do fósforo e o pH do solo são parâmetros importantes para a avaliação, na aplicação de lodo no solo.

OLIVEIRA & MATIAZZO (1995) montaram experimento em casa-de-vegetação em tubos de percolação de PVC de 45 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Os solos utilizados, classificados como Areia Quartzosa (Typic Quartzipsament) e Latossolo Roxo (Typic Haplorthox), coletado nos primeiros 20 cm do perfil e na

camada 20-40 cm. O lodo utilizado, obtido por digestão anaeróbia em digestores, coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Barueri, SP- e aplicado nas taxas de 0,0; 50,0; 100,0 e 150,0 Mg/ha, num período de 118 dias. Neste trabalho observou-se que: ocorreu a maior lixiviação de formas nitrogenadas (NO_3 e NH_4^+) nos tratamentos com lodo, do que nas testemunhas; a lixiviação de formas nitrogenadas (NO_3 e NH_4^+) não foram proporcionais as quantidades aplicadas de lodo de esgoto; as formas lixiviadas (N-NO_3 e NH_4) no solo Areia Quartzosa foram cerca de 1,5 vezes maior do que no solo Latossolo Roxo; e, a degradação da matéria orgânica promoveu o aumento de formas nitrogenadas potencialmente lixiviáveis, sendo que na Areia Quartzosa esse fato foi mais evidente.

MATTIAZZO et al. (2000) relatam que no caso de biossólido resultante do tratamento do esgoto sanitário (lodo ou torta de esgoto), em função do sistema operacional adotado pela ETE, origem e época do ano, o valor de pH varia de 5,7 a 12,6 e o teor de nitrogênio total expresso em função do peso seco do resíduo, pode variar de 9,41 a 30,4 g/kg. Considerando que os valores de pH superiores a 9,25, a formação e conseqüente volatilização da amônia (NH_3) é favorecida e as perdas de nitrogênio por meio desse processo deverão ocorrer em partidas de lodo em função do pH.

Ainda os autores salientam que não existem na literatura nacional informações sobre a quantidade de nitrogênio que é perdida por volatilização em lodos de tratamento biológico, seja durante o armazenamento ou transporte do mesmo. Em uma pesquisa, **(ANDRADE & MATTIAZZO, 1999)** estimaram que cerca de 5,12% do nitrogênio adicionado via biossólidos a um solo Latossolo Vermelho Amarelo de textura média, foi perdido, por volatilização, nos primeiros sete dias após a sua aplicação. A aplicação foi em dose correspondente a 20 Mg/ha em base seca.

MATTIAZZO et al. (2000) cita um experimento de laboratório (OLIVEIRA, 1995) utilizando solos (Latosolo Vermelho Escuro-LE e Areia Quartzosa-AQ) colocados em colunas de 40 cm de altura e tratados com biosólidos na camada

superficial, em quantidades correspondentes a 13,5; 27,0 e 40 Mg/ha em base seca. Nele foi quantificado o nitrogênio orgânico presente no líquido percolado através das colunas de terra no final de 119 dias de incubação onde periodicamente se fazia adição de água a fim de provocar a lixiviação. Em função dos resultados obtidos, o autor sugeriu que existe a possibilidade de se perder até 47,5% do nitrogênio adicionado via lodo, para as camadas abaixo de 40 cm, sendo essas perdas mais evidentes no solo arenoso. Tendo em vista a passagem de água destilada através do solo, por várias vezes durante o período de incubação, os resultados foram superiores aos obtidos por BARRETTO (1995) onde o experimento foi conduzido sem lixiviação.

Ainda, em outro experimento (**MATTIAZZO et al., 2000**), cita que a quantidade de N-NO_3 presente no líquido percolado através de solos (Latossolo Roxo - LR e Latossolo Vermelho Amarelo - LV) contidos em vasos de capacidade para $0,5 \text{ m}^3$ de solo onde bio sólidos provenientes da SABESP/Barueri - SP ($U_{65^\circ\text{C}}=520,0 \text{ g/Kg}^{-1}$; $\text{pH} = 7,5$ e teor de $\text{N} = 9,41 \text{ g/Kg}^{-1}$) foram aplicado por cinco vezes em quantidades correspondentes a 72 Mg/ha^{-1} cada uma, totalizando 388 Mg/ha^{-1} num período de 12 meses foi estudada por ANJOS (1999). Os resultados obtidos mostraram que o aumento na quantidade de N-NO_3 presente no líquido começou a existir a partir da segunda aplicação de bio sólidos, sendo que após a quinta aplicação os níveis de nitrato no líquido percolado através dos tratamentos com lodo foram na ordem de 96 mg/L , superiores ao valor máximo permitido para água de abastecimento público que é de 10 mgN/L (**PORTARIA 36/GM - 1990**).

SOMMERS e BARBARICK (1986) de maneira bastante genérica, verificam na literatura que os estudos preocupam-se bastante com o cádmio. Ele apresenta características de toxicidade e de acumulação que o tornam problemático em longo prazo. Da mesma forma que o cobre, o níquel, o zinco e o molibdênio, as plantas podem acumular o Cádmio. O consumo de plantas contaminadas com estes alimentos, pelos animais, pode gerar problemas na cadeia alimentar .

Alguns metais pesados são tóxicos para as plantas. Esse é o caso do cobre, níquel e zinco. No solo, em altos teores, eles prejudicam o desenvolvimento de muitas espécies de interesse agrícola. Nesse sentido, a aplicação de elevadas quantidades de lodo em solos agrícolas pode diminuir o potencial de produção deles.

O mercúrio e o chumbo são dois casos interessantes. Devido a acidentes ocorridos no passado, esses dois elementos foram bastante estudados e os problemas de intoxicação gerados por eles são extensivamente relatados na literatura. Porém, **SOMMERS e BARBARICK (1986)**, mostram que, nos E.U.A., esses dois elementos não apresentam riscos elevados para o homem quando incorporados ao solo via lodo. Em primeiro lugar, eles adquirem formas minerais relativamente insolúveis no solo. Em segundo lugar, eles são relativamente imóveis em sistemas radiculares fibrosos. Finalmente, eles causam fitotoxicidade em concentrações muito abaixo daquelas problemáticas para os animais.

Cabe lembrar, conforme citação destes autores, que a disponibilidade de muitos desses elementos, na forma catiônica, depende do nível de pH (acidez) do solo. Assim, as normas americanas enfatizam a necessidade de monitoramento do nível do pH em solos tratados com lodo de esgoto contaminado com metais pesados. Como regra geral, recomenda-se que o pH seja mantido em nível superior a 6,5 (**SOMMERS e BARBARICK, 1986**).

3.3.3 - ASPÉCTOS BIOLÓGICOS

É na camada superior do solo que se processam intensas atividades biológicas, que a tornam rica em matéria orgânica. Sua espessura é em torno de 0,0 - 0,30 metros. Abaixo dessa camada encontra-se o subsolo, usualmente cada vez menos rico em nutrientes e em atividade biológica na medida em que sua profundidade aumenta (**SANTOS, 1979 e SIVIERO, 1995**).

Segundo **SANIN et al. (1994)** o lodo de esgoto possui microrganismos patogênicos de origem entérica e não patogênicos, como por exemplo os Coliformes fecais e *Streptococcus*. Estes microrganismos podem ser transmitidos ao homem por via direta, como por exemplo, através da contaminação das mãos, ou via indireta, como no caso de organismos existentes, que entrem em contato através dos alimentos. Antes de ser feita a utilização do lodo de esgoto é preciso saber se este está contaminado por agentes patogênicos ou não. Se este estiver contaminado, pode haver a contaminação do solo, que passa a ser um reservatório destes patógenos, podendo causar danos à saúde do homem e outros animais. Neste caso são os vetores como os pássaros e roedores (**FOESS et al., 1993**).

Portanto, além da caracterização microbiológica do lodo de esgoto, é preciso conhecer o comportamento destes microrganismos no solo após a utilização do lodo. A sobrevivência e viabilidade destes organismos nesse meio, podem ser afetadas por diversos fatores como umidade, exposição aos raios solares, temperatura, pH, etc. De um modo geral o tempo de sobrevivência no solo para estes organismos está expresso na TABELA 3.4.

TABELA 3.4 - Tempo de sobrevivência de patogênicos no solo

PATOGENO	MÁXIMO ABSOLUTO	MÁXIMO COMUM
Bactéria	1 ano	2 meses
Vírus	1 ano	3 meses
Cisto de protozoários	10 dias	2 dias
Ovos de helmintos	7 anos	2 anos

Fonte: Adaptado de EPA, 1992, *apud* Borges et al. (1996)

Como se pode verificar, estes patógenos sobrevivem um tempo grande no solo, principalmente no caso dos ovos de helmintos, e portanto, podem ser responsáveis pela transmissão de doenças entéricas se estiveram ativos e entrarem em contato com o homem.

No caso dos cistos de protozoários, apesar destes apresentarem uma viabilidade reduzida no solo, existem alguns trabalhos atuais que encontraram a presença de cistos de protozoários em lodo de esgoto mesmo após 1 ano da estocagem deste (HU et al. 1996), o que indica a grande resistência destes microrganismos nesse meio. Estes dados geram uma preocupação em relação aos protozoários patogênicos e sugerem que sejam feitos estudos consistentes para determinar sua viabilidade no lodo, no solo e na água de percolação pois ela poderá atingir os lençóis subterrâneos, comprometendo sua qualidade. Assim procedendo, poderá ser possível o reuso do lodo com segurança.

O protozoário *Entamoeba histolytica* é um parasita do intestino grosso e pode ser associado com condições sanitárias precárias. Seus cistos são pouco encontrados em águas superficiais, mas estão presentes onde há contaminação fecal. *Giardia lamblia* é um protozoário flagelado de ampla distribuição, principalmente em áreas de saneamento precário. Os cistos deste protozoário são resistentes ao cloro e muito comuns no esgoto. O *Cryptosporidium parvum* é um protozoário coccídio, e tem sido atualmente muito estudado devido a estreita relação deste parasita com os portadores do vírus da AIDS, já que é considerado um parasita oportunista (CASEMORE, 1991). Estes protozoários são responsáveis pela alta incidência de doenças entéricas e devem ser tratados com cuidado pelos sanitaristas.

Através dos ensaios de N.M.P. de Coliformes e contagem padrão de bactérias, pode-se traçar uma correlação entre a presença ou não de microrganismos patogênicos, ou seja dependendo do N.M.P. de Coliformes pode-se definir se há possibilidade de ocorrer outras espécies de microrganismos patogênicos na amostra. Os riscos de contaminação provocados pela aplicação do lodo ao solo, diminuem com a adoção das seguintes técnicas, segundo (SANTOS, 1979):

- Represamento do lodo por 30 dias e que reduza a concentração do N.M.P. de bactérias Coliformes em até 99,9%.

- Pasteurização a 70°C por 30 minutos, eliminando organismos patogênicos, vírus, cistos, ovos de vermes.
- Adição de cal (calagem) para elevar o pH até 12,4.
- Emprego de cloro para estabilização e desinfecção do lodo

Porém, deve-se considerar que muitas vezes os cistos de protozoários e ovos de helmintos são mais resistentes que os coliformes fecais, e portanto, é preciso considerar que nem sempre a ausência destes indicadores implica na inexistência de outro microrganismo, como por exemplo *Giardia* (HO et al., 1995). Segundo **HELMER et al. (1991)** os coliformes fecais não são bons indicadores da presença/ausência de protozoários patogênicos e helmintos, pois estes podem ser mais resistentes aos processos de desinfecção.

Existem vários helmintos que podem ocorrer no lodo de esgoto, e como exemplo podemos citar: *Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma duodenale*, *Taenia saginata*, *Toxocara* spp, *Trichuris* spp, entre outros (EPA, 1986). Estes helmintos causam infecções no intestino do homem. Segundo HORAK (1992) em uma série de ensaios com lodos submetidos à desinfecção foram ainda encontrados os seguintes helmintos: *Enterobius vermicularis*, *Hymenolepis* spp, *Diphyllobotrium latum*, *Schistosoma* spp, *Ancylostoma duodenale* e *Fasciola* spp.

GASPARAD et al. (1995) afirmam em seu trabalho experimental que o lodo para ser usado na agricultura recomenda-se a presença de menos de 1 ovo de helminto intestinal/litro. Ainda em relação à existência de patógenos no lodo, a **EPA (1992)** recomenda que a densidade máxima destes microrganismos, que pode estar presente no lodo de esgoto, deve ser reduzida para níveis que não coloquem em risco a saúde humana, que são os seguintes:

- *Salmonella* spp - menor que 3 por 4 gramas de sólidos totais no lodo de esgoto.
- Vírus entéricos - menor que 1 por 4 gramas de sólidos totais no lodo de esgoto.

- Ovos de helmintos viáveis - menor que 1 por 4 gramas de sólidos totais no lodo de esgoto.

Os organismos ocorrem no solo diferindo na sua habilidade de sobrevivência em condições adversas durante o tratamento do esgoto. Entre os protozoários parasitas, os que provavelmente são mais resistentes são os oocistos de coccídios e entre os helmintos são os ovos de *Ascaris* spp. Os processos de tratamentos são eficientes em destruir vírus e bactérias, no entanto, protozoários e helmintos quando estão em estágios resistentes não são destruídos. Somente alguns autores documentaram a destruição total dos organismos parasitas durante o tratamento de esgoto (digestão anaeróbia termófila). Devido ao conteúdo de parasitas potencialmente viáveis no lodo, sua utilização é ainda uma questão não resolvida: o lodo de esgoto é realmente perigoso quando disposto livremente podendo ser usado na agricultura considerando um risco de contaminação aceitável (HORAK, 1992).

No lodo de esgoto deverá ser efetuada uma avaliação antes de sua aplicação e, uma vez aplicado, manter um programa de constante monitoramento. Recomenda-se que testes devem ser realizados (de forma experimental) para garantir sua utilização segura e, somente quando for comprovado que este está isento de organismos patogênicos, é que sua utilização pode ser feita de forma segura.

3.4 – ACEITAÇÃO SOCIAL DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA

A aceitação social da utilização do lodo de esgoto na agricultura é um parâmetro muito importante para a continuação das pesquisas. Neste sentido, nada adianta mais uma alternativa, a reciclagem agrícola do lodo de esgoto, segura, se a sociedade não aceitar. Além da garantia da qualidade, é preciso que realize programas que incentivem a utilização deste resíduo em solos agrícolas, para torná-la mais popular entre os agricultores (MATTHEWS, 1992; ANDREOLI, et al., 1997).

ANDREOLI (1999) avaliou os níveis de aceitabilidade dos consumidores de feiras livres e de produtores agrícolas da região metropolitana de Curitiba – PR, por meio de um levantamento estatístico, obtendo-se uma aceitação de 79% e 75% respectivamente.

A USEPA (1984) cita que após uma iniciação de campanhas para a conscientização de comunidades educadoras e através de vias de comunicação (rádio e televisão), fez com que o índice de rejeição, quanto ao uso do lodo na agricultura, fosse mínimo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa, decidiu-se por utilizar reatores pilotos em escala que permite melhor avaliar o comportamento do solo que irá receber o lodo líquido digerido e preservar de forma adequada às condições sanitárias para a proteção e saúde das pessoas que irão participar do trabalho de campo.

Uma análise em trabalhos semelhantes, realizados em outras Instituições (nacional e estrangeiras), revelou que têm sido utilizados reatores pilotos em escala ainda mais reduzida do que os propostos e, embora possam ser passíveis de crítica (pela sua representatividade), dada o seu caráter sanitário, sob muitos aspectos, pode ser defendido.

Os reatores foram instalados em área externa para poder sofrer todas as influências do meio físico (ação das intempéries, por exemplo), para aproximar-se, ao máximo das condições reais de um projeto de larga escala. No entanto, foi sob o ponto de vista sanitário é que recaíram as maiores preocupações e, portanto, a defesa destes reatores.

Para cada taxa de aplicação de lodo de esgoto no solo, foi utilizado um reator que foi denominado, pelo autor (adaptado de **NUVOLARI, 1996**), de “Cuba”, conforme descrito no item 4.1.3 e esquematizado na FIGURA 4.1.

O local de montagem do experimento foi no Campus do CESET/COTIL/UNICAMP, situado na cidade de Limeira - SP, ao lado de uma

Estação Hidrometeorológica, onde também foram coletados os dados de precipitação pluviométrica, visando correlacioná-los com os resultados obtidos.

4.1 MATERIAL

4.1.1 Solo utilizado

Com o objetivo de futura aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola, parques, jardins, etc., o solo foi retirado do local natural até uma profundidade máxima de 0,30 m devido a maior proliferação e atividades microbianas (**SANTOS, 1979; SIVIERO, 1995**) e transportado para o local do experimento, onde foi disposto nas cubas, conforme esquematizado na FIGURA 4.1.

O solo utilizado na pesquisa foi aplicado nas cubas, em duas situações:

1^a. situação: o solo foi utilizado com o seu pH natural, com taxas de aplicação de lodo, em duplicatas, de: 0,0; 2,5; 5,0 e 7,5 toneladas de sólidos secos por hectare (tds/ha); e,

2^a. situação: o solo teve o seu pH neutralizado e foram aplicadas taxas, em duplicatas, de: 0,0 e 5,0 tds/ha. A neutralização do pH, ocorreu na camada de solo de 0,0 a 10,0 centímetros (cm).

Para as duas situações do solo, as “Cubas” foram montadas com as estações de monitoramento (de líquido intersticial e de líquido de drenagem livre), nas profundidades; 0,15 0,30; 0,45; e a 0,60 metro, respectivamente. Na profundidade de 0,75 metro, no fundo da cuba, denominado de ponto de descarte (D) foi simulado um lençol freático em condições desfavoráveis, isto é, um lençol raso.

Na profundidade de 0,75 metro o líquido infiltrado, em cada “Cuba”, também foi coletado e monitorado segundo os parâmetros de interesse, desta pesquisa, isto é, espécies químicas de nitrogênio e fósforo total.

4.1.2 - Lodo utilizado

O lodo utilizado na pesquisa foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto doméstico do Bairro Riacho Grande, situado às margens da represa Billings em São Bernardo do Campo – SP. Trata-se de um bairro residencial isolado e sem indústrias, o qual possui características predominantemente domésticas, cuja vazão média está em torno de 4 l/s. O sistema de tratamento utilizado pela ETE é um valo de oxidação com aeração prolongada. O lodo foi caracterizado conforme Metodologia **AWWA (1995)**; **ABNT (1993)** e **CETESB (1990)**.

O esgoto tratado pela estação é de uma população equivalente a 10.000 habitantes. O efluente final recebe um tratamento a base de cloro e a eficiência da estação fica em torno de 80%. A ETE possui uma unidade de gradeamento, duas caixas de areia, dois valos de oxidação, dois decantadores e um poço para armazenamento de lodo.

4.1.3. Cubas

Foram utilizadas para acondicionamento do solo, 12 “CUBAS”, fabricadas de polietileno (comercialmente utilizadas para transporte e armazenamento industriais, comumente conhecidas como bombonas, tambores, etc.) com medidas: 1,0 m de altura por 0,60 m de diâmetro. O material utilizado para a montagem da pesquisa está apresentado na TABELA 4.1.

4.1.3.1 – Estação de coleta e monitoramento de líquido intersticial do solo

Foram construídos “adaptados” coletores de líquido intersticial do solo (constituídos por tubos de PVC, acoplados a uma ponteira porosa) comumente utilizado para este tipo de coleta de líquido, esquematizado na FIGURA 4.2 e ilustrado na FIGURA 4.4. Tanto para o solo de pH natural, como para o solo de pH neutralizado, as estações foram colocadas a profundidades de: 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60 metro, em cada cuba.

Para promover a entrada de líquido neste coletor utilizou-se uma bomba a vácuo (de bancada). Periodicamente aplicava-se vácuo no interior, do mesmo, com finalidade de forçar a entrada de líquido nos frascos.

4.1.3.2 – Estação de coleta e monitoramento de líquido de drenagem livre

Foram construídos “adaptados pelo autor” coletores de líquido de drenagem livre (construídos por tubo de PVC), comumente utilizados para este tipo de coleta de líquido, conforme esquematizado na FIGURA 4.3 e ilustrado na FIGURA 4.5. Tanto para o solo de pH natural, como para o solo de pH neutralizado, as estações foram colocadas a profundidades de: 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60 metro, em cada cuba.

As respectivas estações de coletas e de monitoramento, (FIGURAS 4.4 e 4.5) foram testadas num solo, em bancada, antes da montagem das mesmas, nas cubas, conseguindo resultados promissores quanto à possibilidade de coleta de líquido infiltrado nas profundidades intermediárias.

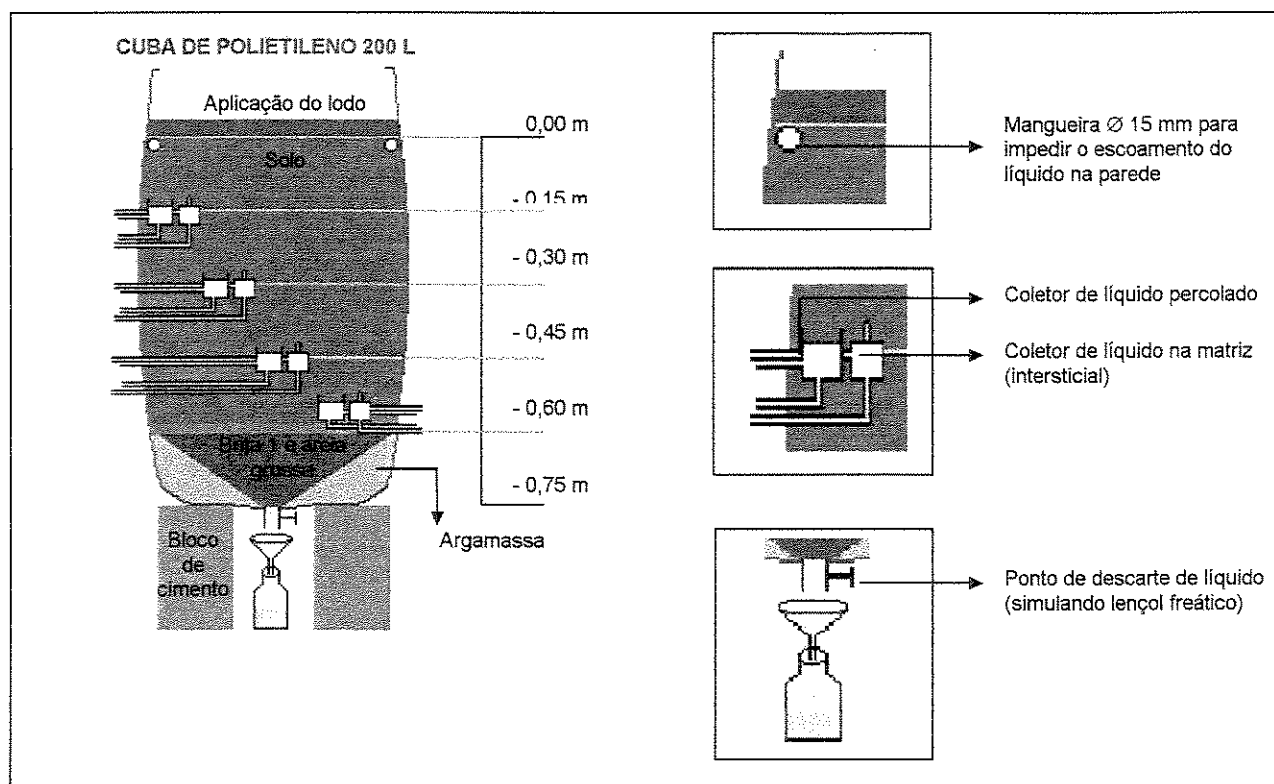


FIGURA 4.1 – ESQUEMA, EM CORTE, DA MONTAGEM DA CUBA

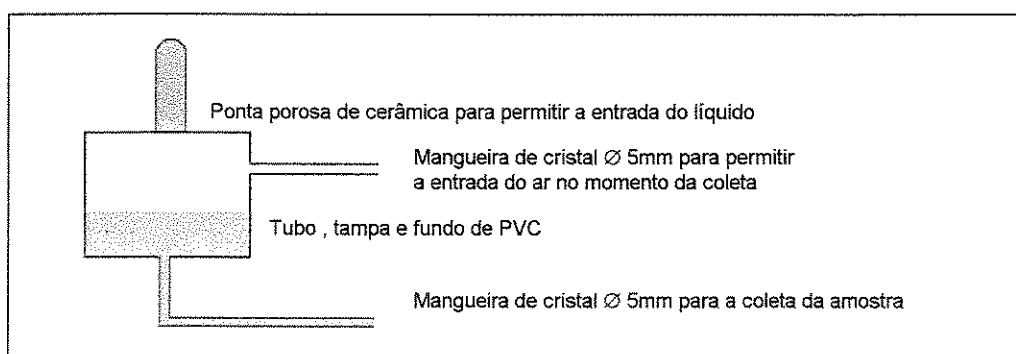


FIGURA 4.2 – ESQUEMA, EM CORTE, DA MONTAGEM DO COLETOR DE LÍQUIDO NA MATRIZ (INTERSTICIAL)

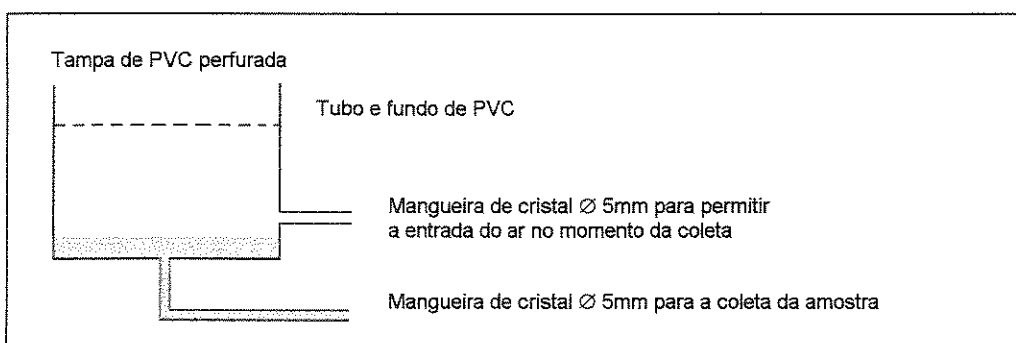


FIGURA 4.3 – ESQUEMA, EM CORTE, DA MONTAGEM DO COLETOR DE LÍQUIDO NA MATRIZ (INTERSTICIAL)

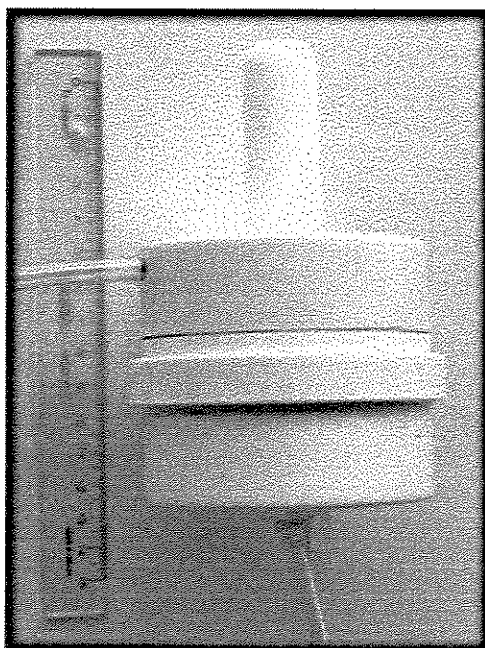


FIGURA 4.4 – ILUSTRAÇÃO DO COLETOR DE LÍQUIDO
NA MATRIZ (INTERSTICIAL)

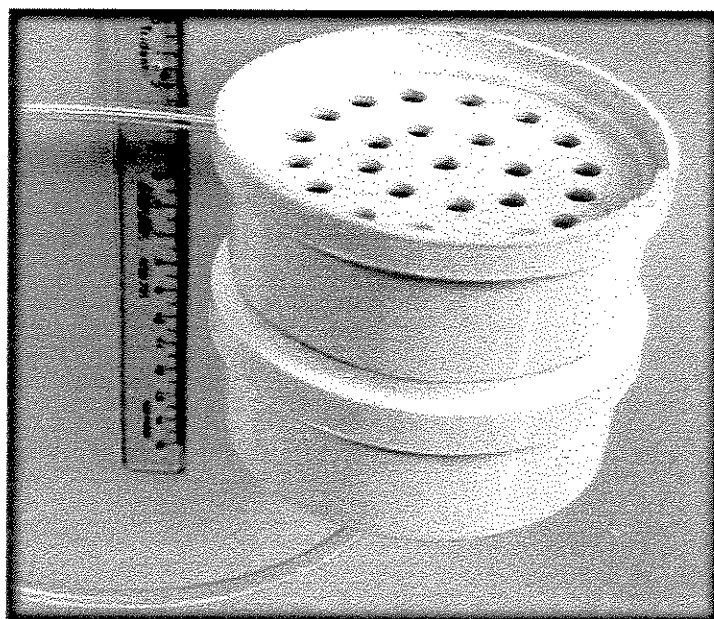


FIGURA 4.5 – ILUSTRAÇÃO DO COLETOR DE LÍQUIDO
PERCOLADO

A Tabela 4.1 apresenta o material utilizado para a montagem da pesquisa.

TABELA 4.1 - Material necessário para a montagem das cubas

Cubas de polietileno com volume de 200 litros	12 unidades
Areia grossa	50 litros
Pedra britada nº 1	50 litros
Solo (Terra fina seca ao ar)	3 m ³
Argamassa de cimento e areia (traço 1:3)	30 litros
Bidin (OP-30 da Rhodia)	30 m ²
Argamassa de Cimento e areia (traço 1:3)	300 litros
Adaptador com rosca e flange para caixa d'água de diâmetro 3/4"	12 unidades
Registro de PVC 3/4"	12 unidades
Sonda de ponta porosa	48 unidades
Tubo de PVC Ø 2,5"	12 metros
Tubo de PVC Ø 4"	12 metros
Tampão de PVC Ø 2,5	96 unidades
Tampão de PVC Ø 4"	96 unidades

4.1.4 – Montagem do experimento

As cubas foram fixadas sobre blocos de cimento, comumente utilizados na construção civil, os quais foram assentados com argamassa de cimento e areia a uma altura de 0,4 m do terreno. Esta altura foi definida para permitir a coleta de amostras do líquido infiltrado, situados a 0,75 metro, ilustradas nas FIGURAS 4.6 e 4.7.

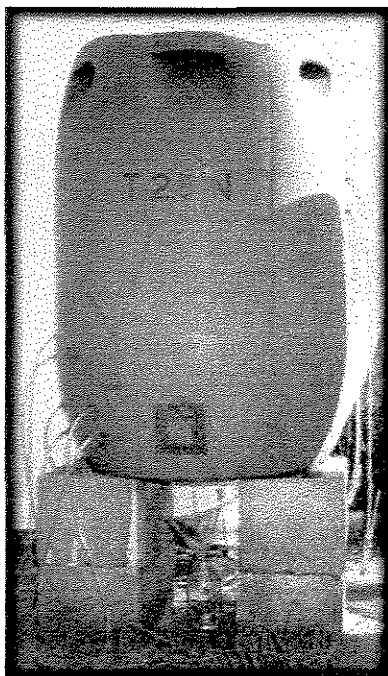


FIGURA 4.6 - ILUSTRAÇÃO DA CUBA NO TERRENO

Em cada cuba foi colocado solo até a altura de 0,75 metro para monitoramento do líquido infiltrado, até esta profundidade.

O conjunto de Cubas foi instalado em fileiras, ocupando espaço físico de aproximadamente $1,5 \text{ m}^2$, cada, ilustrada na FIGURA 4.7.

FIGURA 4.7 - ILUSTRAÇÃO DO CONJUNTO DE CUBAS NO TERRENO



4.2 - MÉTODOS

A neutralização do pH do solo foi realizada pelo método da Curva de Neutralização de pH do Solo, Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, 1986).

A caracterização inicial, do solo foi realizada no IAC, Laboratório nº 21546, relatório de 03/04/1997.

O monitoramento do lodo bruto e do líquido infiltrado no solo foi adaptado, baseado nas metodologias contidas no **AWWA - APH - Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 19 th edition - New York – 1995**. Os métodos adaptados estão descritos no ANEXO A.

O ensaio de Respirometria foi baseado na norma técnica da **ABNT 01:603.06-607 (1993)** e **CETESB (1990)**.

4.2.1 - Procedimento experimental

Embora o objetivo geral, da pesquisa, foi ligado a reciclagem agrícola do lodo, o sistema montado para aplicação de lodo de esgoto, foi do tipo “land farming”, que segundo **ANDREOLI et al. (1997)** refere-se ao espalhamento do lodo em grandes áreas, podendo ou não haver a incorporação no solo, onde ocorrerá a oxidação do material.

Realizou-se a aplicação do lodo em solo que não possuía nenhum tipo de vegetação.

O lodo foi disposto, nas respectivas cubas, espalhado em toda área superficial e antes de cada reaplicação de lodo, o solo foi revolvido numa camada de aproximadamente 0,05 metro para o revolvimento, simulando a aragem do solo.

4.2.2 – Período e frequência de aplicação de lodo e avaliação do líquido infiltrado a 0,75 metro

O lodo foi aplicado no solo na forma líquida, porém mantendo-se os valores calculados para as taxas na forma de matéria seca. Para se obter o volume do lodo líquido equivalente ao peso seco foi necessário, antes de cada aplicação, a determinação dos sólidos totais (ST) no lodo bruto.

Antes das aplicações de lodo, nas cubas, o solo foi caracterizado. O lodo bruto e o líquido infiltrado a 0,15 0,30; 0,45; 0,60 e 0,75 metro, respectivamente, foram monitorados, da seguinte forma:

- **solo:**

O solo foi caracterizado antes da primeira aplicação do lodo, segundo parâmetros descritos na TABELA 5.3.

- **lodo:**

O lodo foi caracterizado, antes de cada aplicação no solo, segundo parâmetros, descritos na TABELA 5.2.

- **líquido infiltrado a 0,75 metro:**

Os líquidos foram monitorados a cada vez que os coletores de amostras, situados a 0,15; 0,30; 0,45; 0,60 e 0,75 metro, respectivamente, enchessem, devido à infiltração, oriundo da precipitação pluviométrica natural ou do próprio lodo.

Foi montado um sistema para possibilitar a criação de vácuo no interior das estações de coletas e monitoramento de líquido na matriz (intersticial), instaladas a 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60 metro, através do auxílio de uma bomba a vácuo.

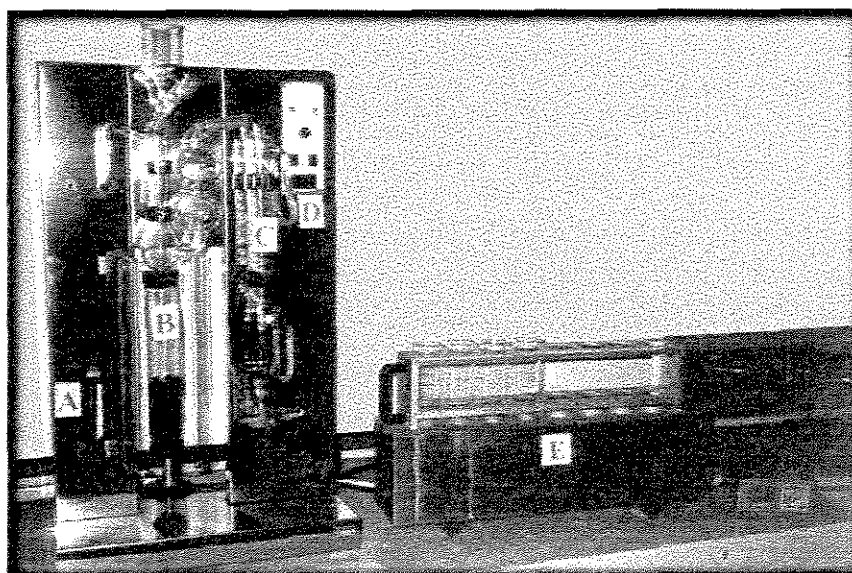
Paralelamente às aplicações de lodo no solo, foram incubados os respirômetros com amostras do solo e do lodo, em questão, para avaliar a sua biodegradação. O respirômetro utilizado foi o alternativo (NUVOLARI e CORAUCCI FILHO, 1996), ilustrado na figura 4.9.

O período de aplicação de lodo foi de 620 dias, procurando atingir todas as estações do ano, isto é, primavera, verão, outono e inverno. Foram realizadas seis aplicações de lodo conforme Tabela 5.2.

4.2.3 - Equipamentos utilizados na pesquisa

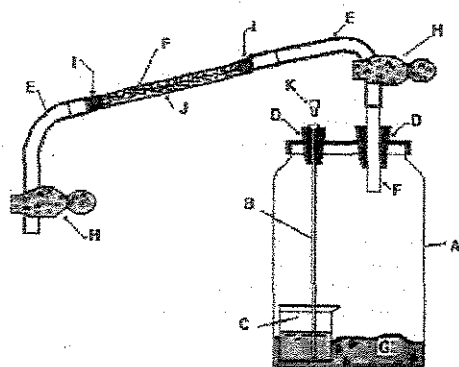
- bloco para a digestão das amostras de nitrogênio total kjeldahl e de fósforo total, ilustrado na FIGURA 4.8;
- conjunto destilação de nitrogênio para determinação do nitrogênio amoniacal e nitrogênio total kjeldahl, ilustrado na FIGURA 4.8;

- espectrofotômetro DR-2000, com comprimento de onda variando de 400 a 900 nm para leitura dos parâmetros de nitrogênio total kjeldahl, de nitrogênio amoniacal, de nitrogênio nitrato, de nitrogênio nitrito e de fósforo total;
- estufa de DBO 20 °C para a determinação da demanda química do oxigênio (DQO);
- estufa de DBO 28 °C para incubar os respirômetros;
- estufa 105 °C para determinar os sólidos totais;
- forno mufla 550 °C para determinar os sólidos fixos;
- banho-maria 90 °C para auxiliar as análises de nitratos;
- estufa para esterilização e secagem de vidrarias;
- bomba vácuo;
- respirômetro Alternativo, ilustrado na FIGURA 4.9; e,
- balança analítica, precisão de 0,0001 grama para pesagens dos produtos químicos utilizados.



- A - caldeira
 B - tubo macro/micro (amostragem)
 C - Condensador (refrigeração).
 D - Controle operacional
 E - bloco digestor 400°C

FIGURA 4.8 - ILUSTRAÇÃO DO EQUIPAMENTO PARA DESTILAÇÃO DO NITROGÊNIO



- A - Frasco de Vidro (560 ou 800mL) com tampa metálica;
 B - Cânula;
 C - Béquero de 20mL para colocação da solução de KOH;
 D - Vedação com rolha de borracha;
 E - Tubo de vidro;
 F - Mangueira de borracha;
 G - Amostras de solo ou da mistura solo-lodo;
 H - Presilhas de Mohr;
 I - Camada Suporte;
 J - Filtro de ascarita ou de cal sodada;
 K - Tampa da cânula;

FIGURA 4.8 - RESPIRÔMETRO ALTERNATIVO

FONTE: NUVOLARI & CORAUCCI FILHO (1997)

5 – RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas às informações gerais sobre a disposição do lodo nas cubas, os resultados obtidos e os dados relacionados em forma de Tabelas e Gráficos.

5.1 – Informações gerais sobre os resultados obtidos.

Nas estações de monitoramento (de líquido na matriz, intersticial, e de líquido de drenagem livre), situados nas cubas a 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60 metro, respectivamente, não foi possível a coleta de amostras em nenhum momento.

O comportamento das estações, não foi adequado. Os volumes de líquido que ficavam reservados, nas mesmas, eram pequenos, não possibilitando nenhuma avaliação e ainda o tempo que levava para conseguir coletar pequenas alíquotas era muito grande, o que comprometia a avaliação dos parâmetros, principalmente as formas de nitrogênio devido às suas transformações.

Nas cubas, na situação de pesquisa, vários fatores podem ter influenciado para o funcionamento inadequado, das estações, como:

- o bidin utilizado pode não ter sido adequado para as escalas adaptadas, em decorrência da temperatura do sistema que pode ter agido negativamente, isto é; a porosidade da manta dificultava a passagem do líquido e o líquido que juntava sobre a manta, evaporava-se rapidamente;

- as estações de coletas e de monitoramento foram colocadas muito próximas das paredes das “Cubas”, talvez permitindo com que o líquido, facilmente desviasse das mesmas;
- o sistema de aplicação de vácuo no sistema (para a estação de líquido intersticial) pode não ter sido adequado; e,
- as escalas (de ambas estações adaptadas) podem não ter sido compatível com a “Cuba”.

O líquido infiltrado foi avaliado somente a 0,75 metro, no fundo das cubas e este ponto foi denominado, pelo autor, de ponto de descarte (**D**).

O lodo bruto foi caracterizado em todas as aplicações, conforme a Tabela 5.5.

Para todas as taxas de aplicação de lodo no solo, inclusive para o solo controle, foram montadas duas cubas para avaliação, isto é, as análises de monitoramento a 0,75 metro foram realizadas em duplicatas.

Os resultados obtidos nas avaliações do ponto D foram considerados através da média aritmética dos valores, conforme a Equação 5.1.

$$VM_1 = [(D_1 + D_2)/2] \quad \text{eq. (5.1)}$$

Os resultados obtidos nas avaliações do ponto D referente as análises do líquido infiltrado entre uma e outra aplicação de lodo foram considerados através da média aritmética dos valores, conforme a Equação 5.2.

$$VM_2 = [(R_1 + R_2)/2] \quad \text{eq. (5.2)}$$

Foram realizadas seis aplicações de lodo de esgoto doméstico digerido, no solo e a cada aplicação, o mesmo foi caracterizado segundo os parâmetros: Nitrogênio Total Kjeldahl (N-NTK), Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃-) Nitrogênio Nitrato (N-NO₃-), Nitrogênio Nitrito (N-NO₂-) e Fósforo Total (P-total).

Os sólidos totais foram analisados em todas as amostras de lodo digerido para a aplicação no solo em base seca.

Esporadicamente, também, foram analisadas, no lodo bruto digerido, a Demanda Química do Oxigênio, a Demanda Bioquímica do Oxigênio e a Alcalinidade Total conforme a Tabela 5.4.

O Solo foi caracterizado apenas no início do experimento, antes da primeira aplicação de lodo conforme a Tabela 5.3.

A data, o período e a frequência de aplicação de lodo no solo estão mostrados nas Tabelas 5.1 e 5.2, respectivamente, onde:

$T_{1.1}$ a $T_{1.6}$ = tempo (dias acumulados) de caracterização do lodo bruto e aplicação no solo;

$T_{2.1}$ a $T_{2.8}$ = tempo (dias acumulados) de análise do líquido infiltrado no solo, a profundidade de 0,75 metro.

Tabela 5.1 - Datas de caracterização do lodo bruto, aplicação do lodo no solo e análises do líquido infiltrado no solo a 0,75 metro.

Datas						
Lodo Bruto	03/06/97	04/09/97	01/12/97	10/03/98	28/07/98	31/01/99
Análise do líquido a 0,75 metro	26/06/97	*	08/12/97	25/05/98 e 13/07/98	28/07/98 e 27/01/99	30/01/99

* Não houve infiltração de líquido no solo.

Tabela 5.2 – Tempo (dias acumulados) de aplicação de lodo no solo e monitoração do líquido infiltrado a 0,75 metro.

	Tempo de Monitoração					
	1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .	5 ^a .	6 ^a .
Aplicação de lodo	$T_{1,1} = 0$	$T_{1,2} = 93$	$T_{1,3} = 177$	$T_{1,4} = 296$	$T_{1,5} = 415$	$T_{1,6} = 616$
Análises do líquido a 0,75 M	$T_{2,1} = 20$	$T_{2,2} = *$	$T_{2,3} = 184$	$T_{2,4} = 352$ $T_{2,5} = 400$	$T_{2,6} = 415$ $T_{2,7} = 597$	$T_{2,8} = 620$

* Não houve infiltração de líquido no solo.

5.2 – Apresentação dos dados de caracterização do solo e do lodo utilizado na pesquisa.

A Tabela 5.3 mostra a caracterização do solo realizada antes das aplicações de lodo.

TABELA 5.3 – Caracterização do Solo.

PARÂMETROS	RESULTADOS
pH (CaCl ₂)	4,5
Fósforo (µgP/cm ³)	2,0
Potássio Total (meq K/100cm ³)	0,04
Cálcio (meq Ca/100cm ³)	0,3
Magnésio meq (Mg/100cm ³)	0,1
Acidez Potencial (H+Al/100cm ³)	2,3
Soma de Bases (SB/100cm ³)	0,4
Capacidade de Troca de Cátions (CTC/100cm ³)	2,7
Capacidade de Campo (%)	39,0
Saturação em Bases – V (%)	16,0
Matéria Orgânica – MO (%)	0,4
Classificação	argilo-arenoso

FONTE: Relatório - IAC (1997)

A Tabela 5.4 mostra os dados de caracterização do lodo bruto durante as aplicações no solo.

TABELA 5.4 – Caracterização do Lodo antes de cada aplicação, do mesmo, no solo.

PARÂMETROS	RESULTADOS
pH	6,0 a 6,5
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	650,0 a 1.200,0
Demanda Química do Oxigênio (mgO ₂ /L)	20.500,0*
Demanda Bioquímica do Oxigênio (mgO ₂ /L)	3.000,0*
Sólidos Totais (mg/L)	80.000,0*
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	2.300,0*
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	77.700,0*
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	47.000,0*
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	1.000,0*
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	46.000,0*
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	2.774,17*
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	181,47*
Nitrogênio Nitrato (mgN/L)	0,1*
Nitrogênio Nitrito (mg/L)	0,002*
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	2.592,7*
Fósforo Total (mg/L)	286,92*
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Até 3,3 x 10 ⁶
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	Até 3,3 x 10 ⁶

* Valores médios de seis aplicações.

A Tabela 5.5 mostra a caracterização de nutrientes (formas de nitrogênio e fósforo total) no lodo bruto, antes das aplicações no solo.

TABELA 5.5 - Caracterização do lodo bruto antes de cada aplicação no solo

PARÂMETRO	APLICAÇÃO DO LODO					
	1 ^A .	2 ^A .	3 ^A .	4 ^A .	5 ^A .	6 ^A .
pH	6,3	6,0	6,5	6,2	6,5	6,4
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	1.230,0	2.136,0	712,0	4.824,0	6.308,0	1.435,0
Nitrogênio Amoniacal (mgN/L)	47,0	164,0	26,0	359,0	307,0	185,8
Nitrogênio Nitrato (mgN/L)	0,091	0,111	0,087	0,209	0,103	<0,001
Nitrogênio Nitrito (mgN/L)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,010
Fósforo Total (mg/L)	231,0	274,0	113,0	553,0	303,0	247,5

pH do líquido infiltrado no solo a 0,75 metro de profundidade:

- no líquido infiltrado no solo de pH natural: o pH variou de 8,5 a 9,0; e,
- no líquido infiltrado no solo de pH neutralizado: o pH variou de 8,5 a 9,3.

Comparando-se as concentrações de nitrogênio e fósforo total presentes no lodo bruto (TABELAS 5.6 a 5.8; FIGURAS 5.1 a 5.4) com as concentrações residuais no líquido infiltrado no solo, monitorados durante toda pesquisa, verificou-se que, em termos de “remoção”, o sistema se comportou de maneira eficiente, isto é, houve uma “remoção” acentuada dos parâmetros investigados. As Tabelas 6.1 a 6.3 mostram porcentagens de remoção de N e P quando aplicado o lodo com taxas de 7,5 tds/ha (em solo de pH natural); 5,0 tds/ha (em solo de pH natural) e 5,0 tds/ha (em solo de pH neutralizado).

TABELA 5.6 – Eficiência de remoção de N e P no sistema piloto, para taxa de aplicação de lodo de 7,5 tds/ha – solo de pH natural.

Aplicação do Lodo e Eficiência de Remoção						
	1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .	5 ^a .	6 ^a .
N (mgN/L)	1.277,09	2.230,11	730,09	5.183,21	6.615,10	1.620,81
P (mgN/L)	231,0	274,0	113,0	553,0	303,0	247,5
Remoção de N (%)	97,67	*	98,69	99,55	99,79	98,00
Remoção de P (%)	99,59	*	98,88	99,88	99,52	99,62

* Não houve infiltração de líquido

TABELA 5.7 – Eficiência de remoção de N e P no sistema piloto, para taxa de aplicação de lodo de 5,0 tds/ha – solo de pH natural.

Aplicação do Lodo e Eficiência de Remoção						
	1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .	5 ^a .	6 ^a .
N (mgN/L)	1.277,09	2.230,11	730,09	5.183,21	6.615,10	1.620,81
P (mgN/L)	231,0	274,0	113,0	553,0	303,0	247,5
Remoção de N (%)	99,74	*	99,27	99,88	99,93	99,73
Remoção de P (%)	99,69	*	99,05	99,95	99,38	99,63

* Não houve infiltração de líquido

TABELA 5.8 – Eficiência de remoção de N e P no sistema piloto, para taxa de aplicação de lodo de 5,0 tds/ha – solo de pH neutralizado.

	Aplicação do Lodo e Eficiência de Remoção					
	1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .	5 ^a .	6 ^a .
N (mgN/L)	1.277,09	2.230,11	730,09	5.183,21	6.615,10	1.620,81
P (mgN/L)	231,0	274,0	113,0	553,0	303,0	247,5
Remoção de N (%)	98,49	*	98,07	99,94	99,88	98,94
Remoção de P (%)	99,85	*	99,56	99,85	99,72	99,64

* Não houve infiltração de líquido

5.3 – Apresentação dos dados dos pontos de monitoramento das cubas com solo de pH natural.

As Tabelas 5.9 a 5.14 mostram os dados obtidos nos pontos situados a 0,75 metro e nas taxas de aplicação de lodo estudadas para o solo de pH natural.

TABELA 5.9 - Nitrogênio total kjeldahl no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)								
Profundidade (M): 0,75								
pH: Natural								
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	7,15	-	7,20	7,50	2,880	0,00	0,00	0,00
2,5	1,40	-	2,95	5,11	2,600	0,00	0,00	0,00
5,0	0,50	-	1,65	2,17	1,135	0,00	0,00	0,00
7,5	20,50	-	1,30	2,54	1,660	0,00	0,00	0,00

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

TABELA 5.10 - Nitrogênio amoniacal no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Amoniacal (mgN/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Natural		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	0,00	-	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5	0,00	-	0,00	1,74	0,00	0,00	0,00	0,00
5,0	0,00	-	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00
7,5	0,00	-	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

TABELA 5.11 - Nitrogênio orgânico no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Orgânico (mgN/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Natural		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	7,50	-	7,20	6,17		0,00	0,00	0,00
2,5	1,40	-	2,95	3,37		0,00	0,00	0,00
5,0	0,50	-	1,65	1,40		0,00	0,00	0,00
7,5	20,50	-	1,30	0,51		0,00	0,00	0,00

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo

TABELA 5.12 - Nitrogênio nitrato no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Nitrato (mgN/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Natural		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	1,931	-	1,929	0,213	0,115	0,166	0,150	2,300
2,5	3,860	-	4,058	0,765	0,440	7,087	6,156	10,670
5,0	2,630	-	3,577	3,608	2,040	4,308	4,076	20,580
7,5	7,305	-	7,577	19,94	13,170	13,130	6,988	32,280

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

TABELA 5.13 - Nitrogênio nítrito no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Nítrito (mgN/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Natural		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	0,150	-	0,131	0,120	0,085	0,120	0,102	0,020
2,5	0,399	-	0,326	0,335	0,255	0,379	0,308	0,010
5,0	0,156	-	0,115	0,180	0,152	0,115	0,089	0,040
7,5	1,960	-	0,652	0,608	0,216	0,700	0,443	0,017

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

TABELA 5.14 - Fósforo total no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Fósforo Total (mg/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Natural		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	1,030	-	0,980	0,485	0,400	1,550	0,912	0,305
2,5	1,090	-	0,980	0,703	0,565	1,720	1,502	0,635
5,0	0,710	-	1,070	0,265	0,119	1,870	1,476	0,920
7,5	0,950	-	1,260	0,654	0,499	1,460	1,279	0,950

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

5.4 - Apresentação dos dados dos pontos de monitoramento das cubas com solo de pH neutralizado.

As Tabelas 5.15 a 5.20 mostram os dados obtidos nos pontos situados a 0,75 metro e nas taxas de aplicação de lodo estudada para o solo de pH neutralizado.

TABELA 5.15 - Nitrogênio total kjeldahl no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)								
Profundidade (M): 0,75								
pH: Neutralizado								
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	3,30	-	4,70	3,65	3,46	0,00	0,00	0,00
5,0	1,40	-	3,15	3,16	2,42	0,00	0,00	0,00

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

TABELA 5.16 - Nitrogênio amoniacal no líquido infiltrado no solo a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Amoniacal (mgN/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Neutralizado		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	0,00	-	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00
5,0	0,00	-	0,00	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

TABELA 5.17 - Nitrogênio orgânico infiltrado no solo a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Orgânico (mgN/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Neutralizado		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	3,30	-	4,70	2,56		0,00	0,00	0,00
5,0	1,40	-	3,15	1,40		0,00	0,00	0,00

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

TABELA 5.18 - Nitrogênio nitrato no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Nitrato (mgN/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Neutralizado		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	9,100	-	8,221	0,034	0,025	2,667	2,017	5,180
5,0	17,515	-	10,685	0,202	0,205	7,133	4,833	17,050

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

TABELA 5.19 - Nitrogênio nítrito no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Nitrogênio Nítrito (mgN/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Neutralizado		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	0,490	-	0,372	0,081	0,070	0,319	0,300	0,050
5,0	0,395	-	0,267	0,003	0,015	0,316	0,232	0,118

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

TABELA 5.20 - Fósforo total no líquido infiltrado a 0,75 m, após aplicação de lodo de esgoto doméstico no solo.

Parâmetro: Fósforo Total (mg/L)			Profundidade (M): 0,75			pH: Neutralizado		
Aplicação	1ª. Aplicação (T _{1,1} = 0)	2ª. Aplicação (T _{1,2} = 93)	3ª. Aplicação (T _{1,3} = 177)	4ª. Aplicação (T _{1,4} = 260)		5ª. Aplicação (T _{1,5} = 415)		6ª. Aplicação (T _{1,6} = 616)
	1ª. Análise (T _{2,1} = 20)	2ª. Análise (T _{2,2} = *)	3ª. Análise (T _{2,3} = 184)	4ª. Análise (T _{2,4} = 352)	5ª. Análise (T _{2,5} = 400)	6ª. Análise (T _{2,6} = 415)	7ª. Análise (T _{2,7} = 597)	8ª. Análise (T _{2,8} = 620)
Taxa (tds/ha)	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₁	VM ₂	VM ₁	VM ₂	VM ₁
0,0	0,780	-	0,645	1,267	1,077	0,585	0,392	0,385
5,0	0,345	-	0,500	0,818	0,681	0,820	0,593	0,885

Obs.: T_{1,1} a T_{1,6} = Dias Acumulados (Aplicação do Lodo no Solo) / T_{2,1} a T_{2,8} = Dias Acumulados (Análise do Líquido Infiltrado) / VM₁ e VM₂ = Média Aritmética dos Valores [(D₁+D₂)/2] / * Não houve infiltração de Líquido no solo.

5.5 – Apresentação dos dados em forma de gráficos da caracterização do lodo bruto antes das aplicações no solo.

O lodo bruto foi caracterizado antes de cada aplicação, do mesmo, no solo conforme mostram as Figuras 5.1 a 5.4.

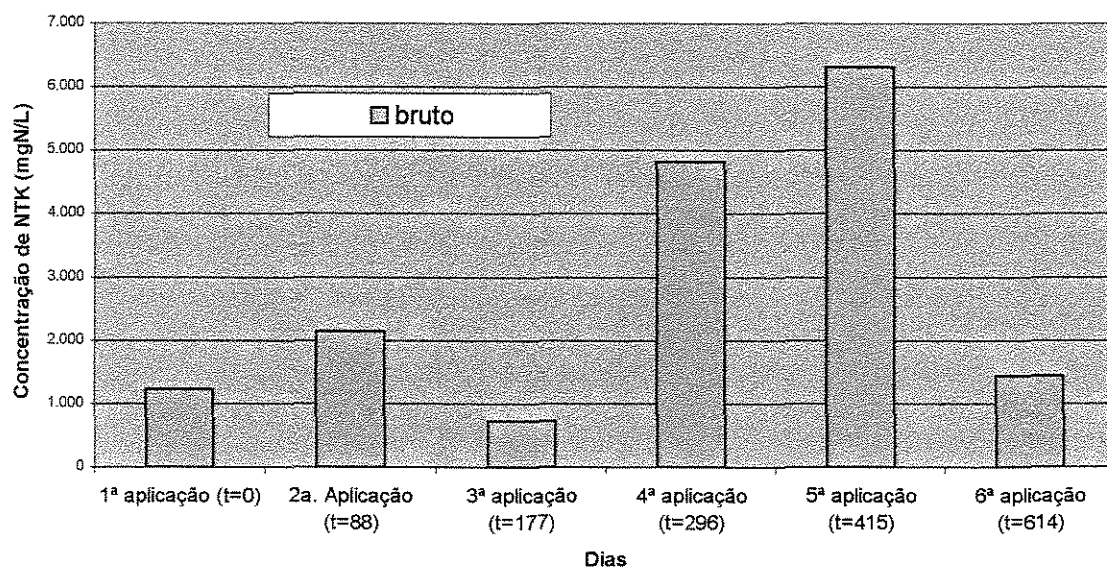


FIGURA 5.1 - Avaliação do Nitrogênio Total Kjeldahl - NTK - Lodo Bruto (Antes das Aplicações no Solo)

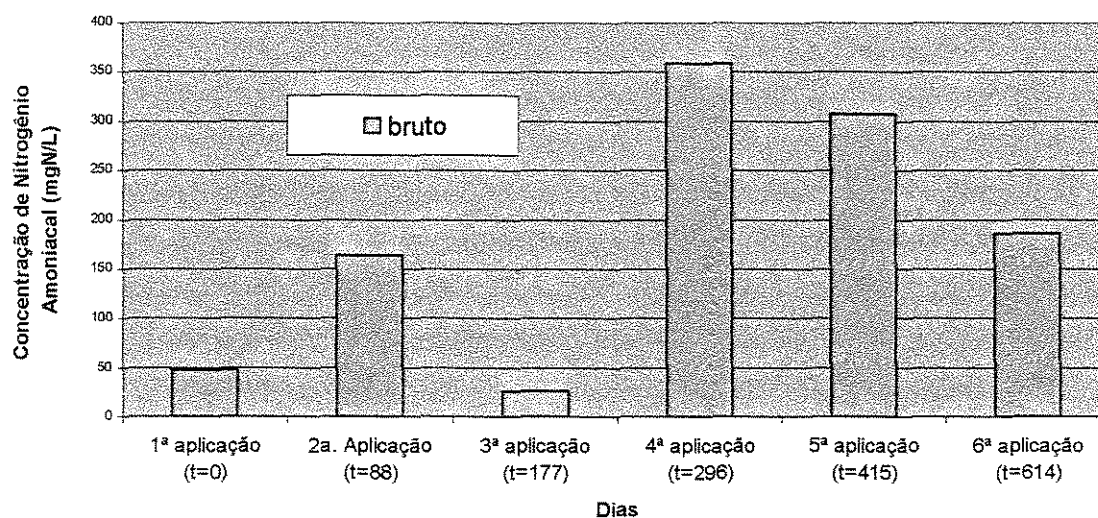


FIGURA 5.2 - Avaliação do Nitrogênio Amoniacoal - Lodo Bruto (Antes das Aplicações no Solo)

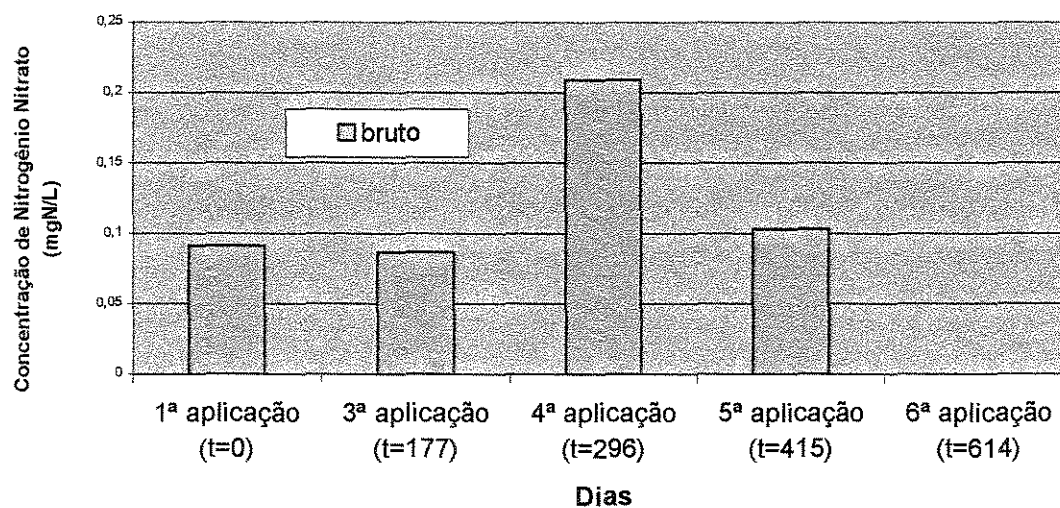


FIGURA 5.3 - Avaliação do Nitrogênio Nitrato - Lodo Bruto (Antes das Aplicações no Solo)

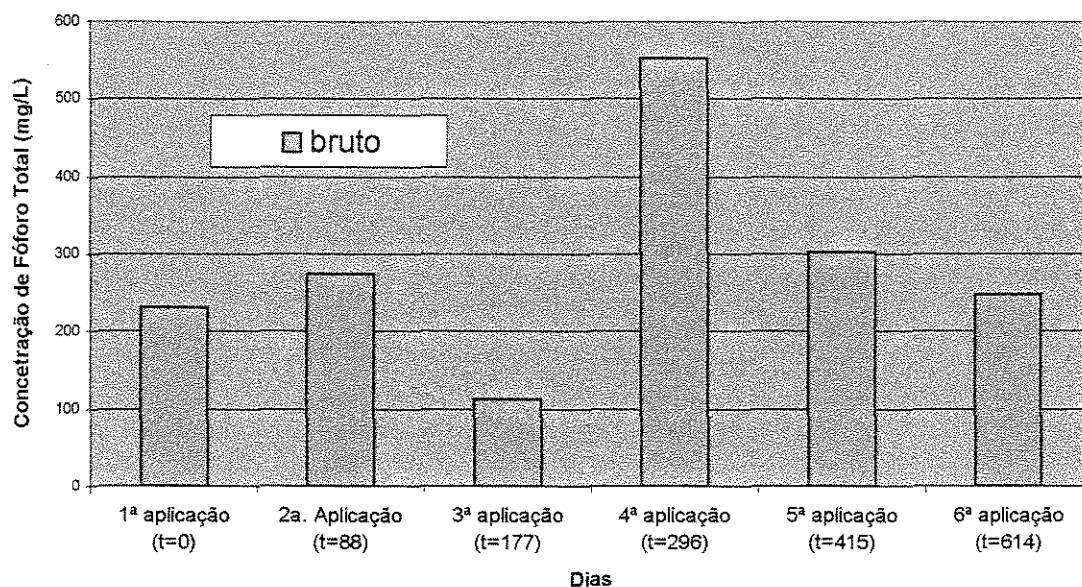


FIGURA 5.4 - Avaliação do Fósforo Total - Lodo Bruto (Antes das Aplicações no Solo)

5.6 – Apresentação dos dados em forma de gráfico das avaliações do líquido infiltrado em solo de pH natural.

As Figuras 5.5 a 5.9 mostram os gráficos das avaliações das formas de nitrogênio e fósforo total, no líquido infiltrado a 0,75 metro de profundidade em solo de pH natural

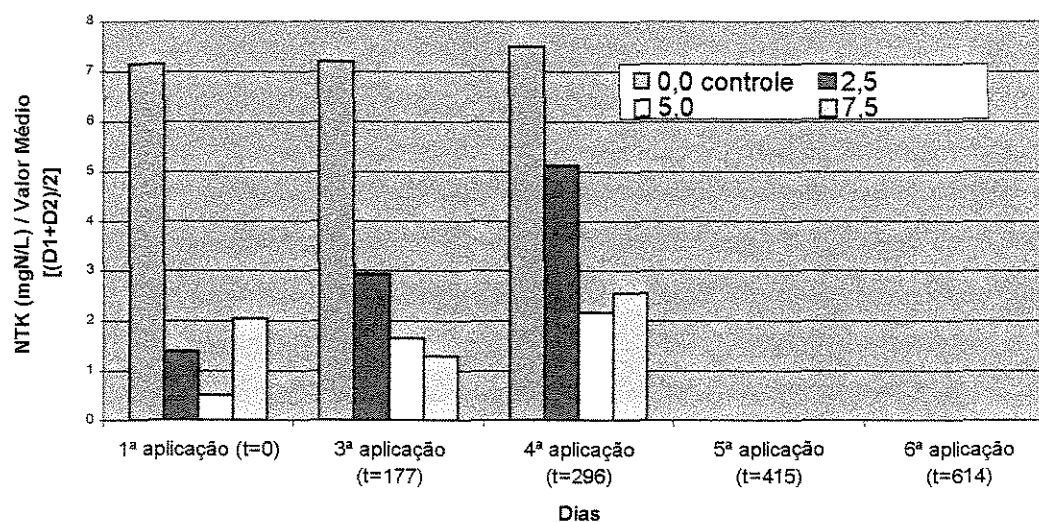


FIGURA 5.5 - Avaliação do Nitrogênio Total Kjeldahl - NTK - Profundidade: 0,75M - Solo de pH Natural

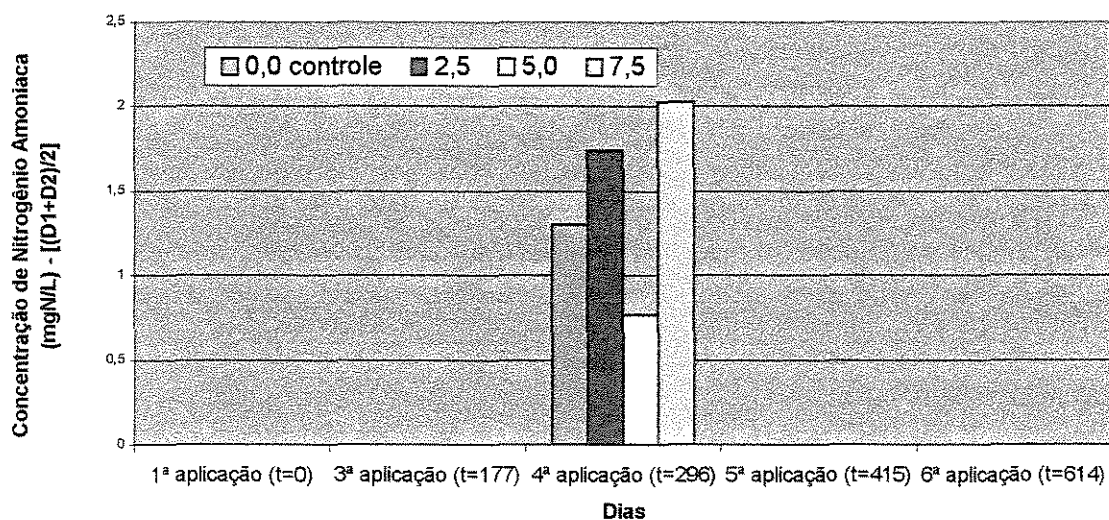


FIGURA 5.6 - Avaliação do Nitrogênio Amoniacal - Profundidade: 0,75M - Solo de pH Natural

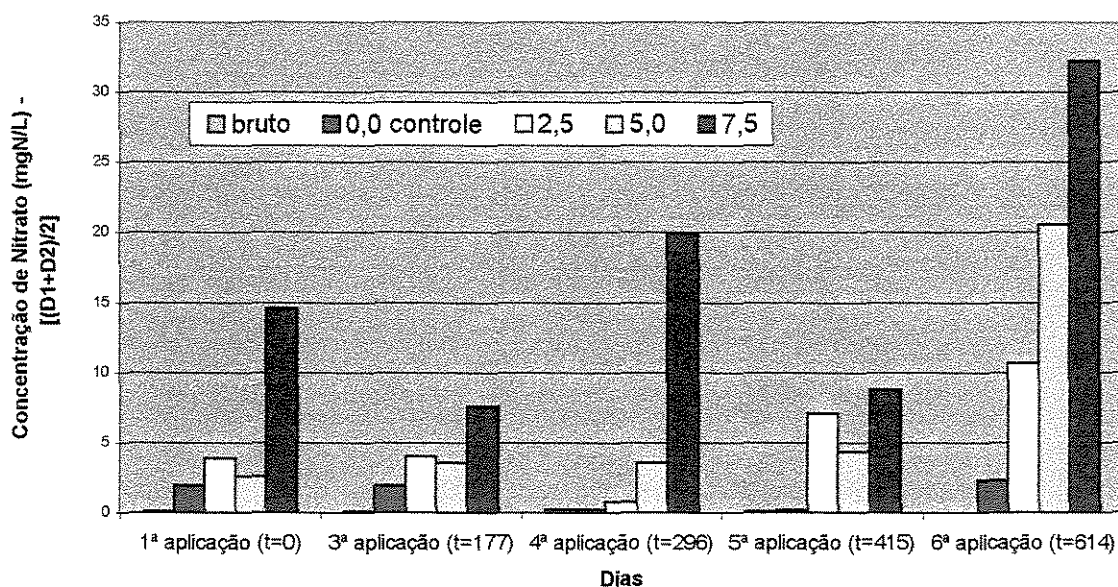


FIGURA 5.7 - Avaliação do Nitrogênio Nitrato - Lodo Bruto e Profundidade: 0,75M - Solo de pH Natural

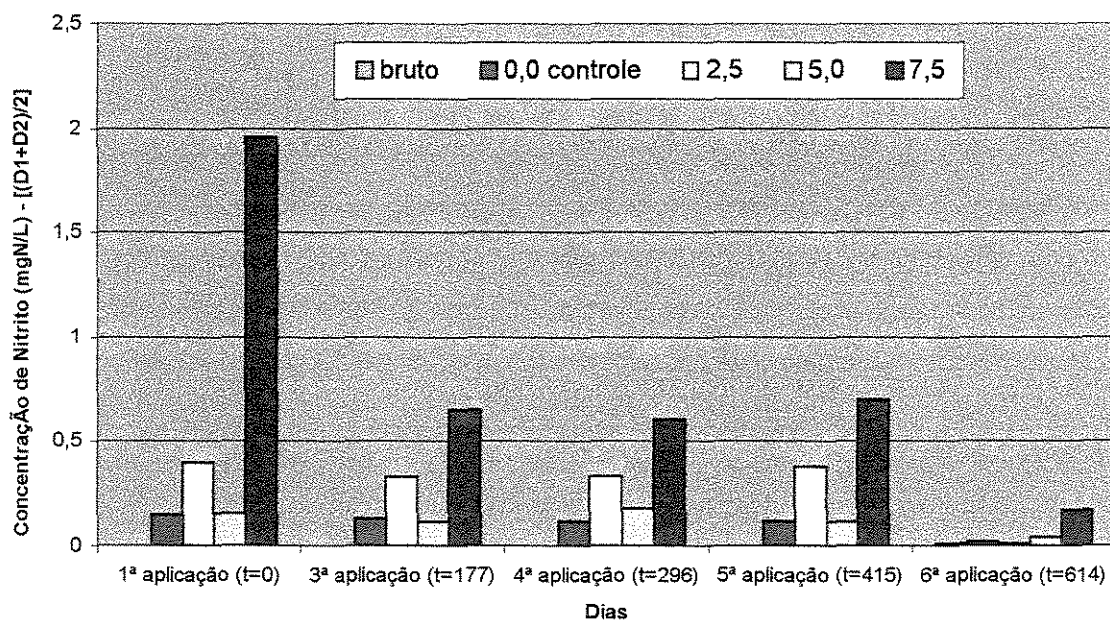


FIGURA 5.8 -Avaliação do Nitrogênio Nitrito - Lodo Bruto e Profundidade: 0,75M - Solo de pH Natural

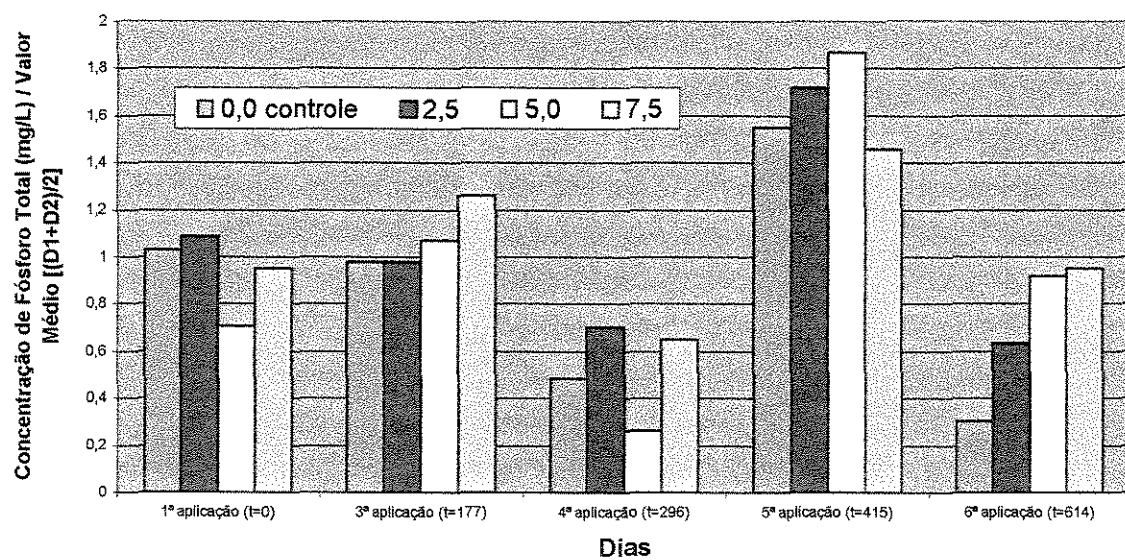


FIGURA 5.9 - Avaliação de Fósforo Total - Profundidade 0,75M - Solo de pH Natural

5.7 – Apresentação dos dados em forma de gráfico das avaliações do líquido infiltrado em solo de pH neutralizado a 0,75 metro.

As Figuras 5.10 a 5.14 mostram os gráficos de avaliações das formas de nitrogênio e fósforo total no líquido infiltrado em solo de pH neutralizado a 0,75 metro de profundidade.

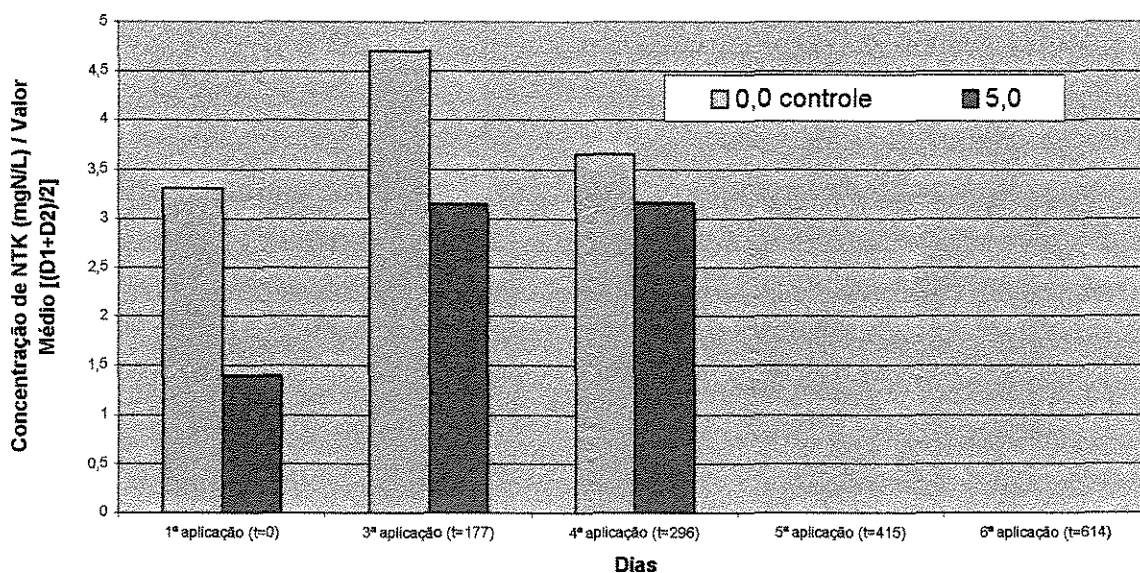


FIGURA 5.10 - Avaliação do Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) - Profundidade: 0,75M - Solo de pH Neutralizado.

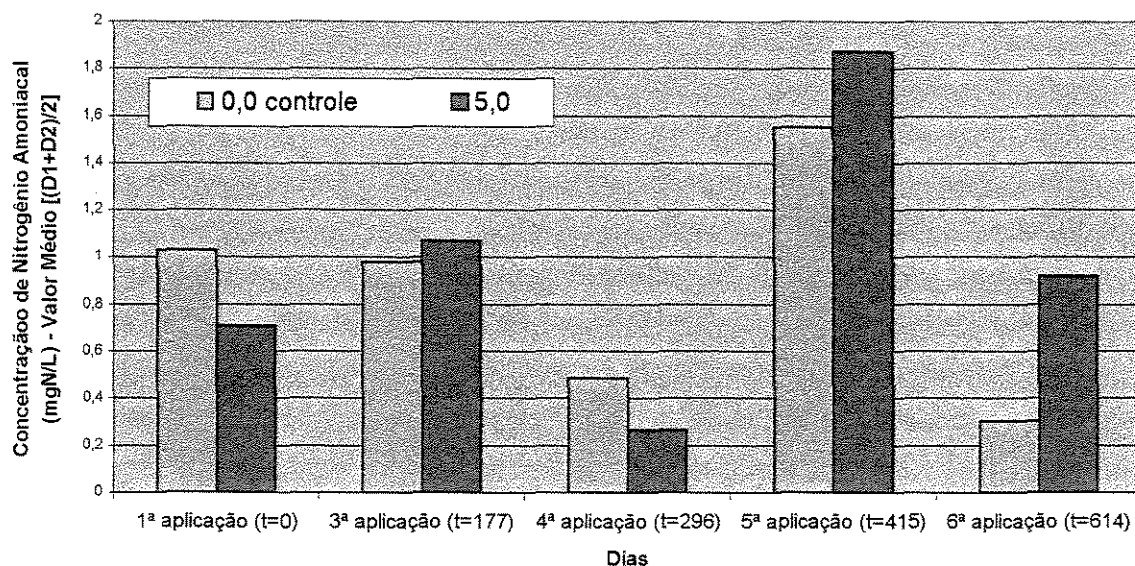


FIGURA 5.11 - Avaliação de Nitrogênio Amoniacal - Profundidade: 0,75M - Solo de pH Neutralizado.

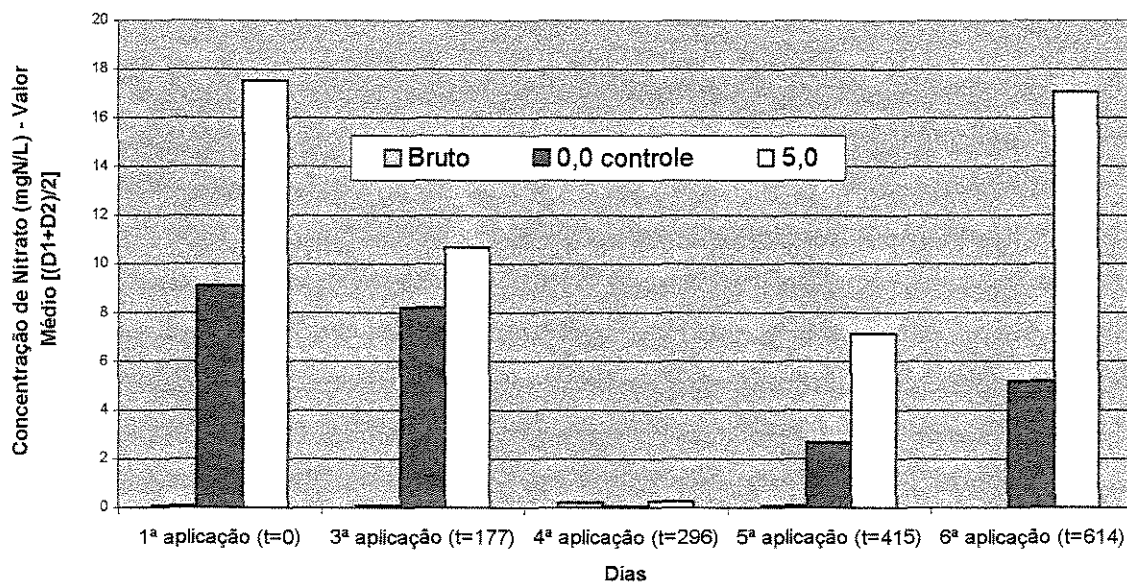


FIGURA 5.12 - Avaliação de Nitrogênio Nitrato - Lodo Bruto e Profundidade: 0,75M - Solo de pH Neutralizado.

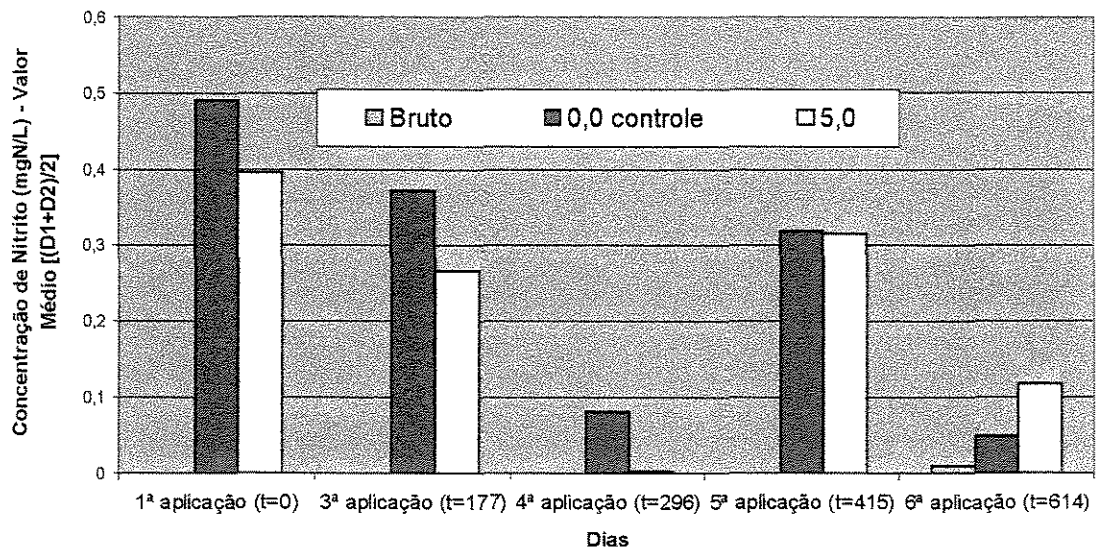


FIGURA 5.13 - Avaliação do Nitrogênio Nitrito - Lodo Bruto e Profundidade: 0,75M - Solo de pH Neutralizado.

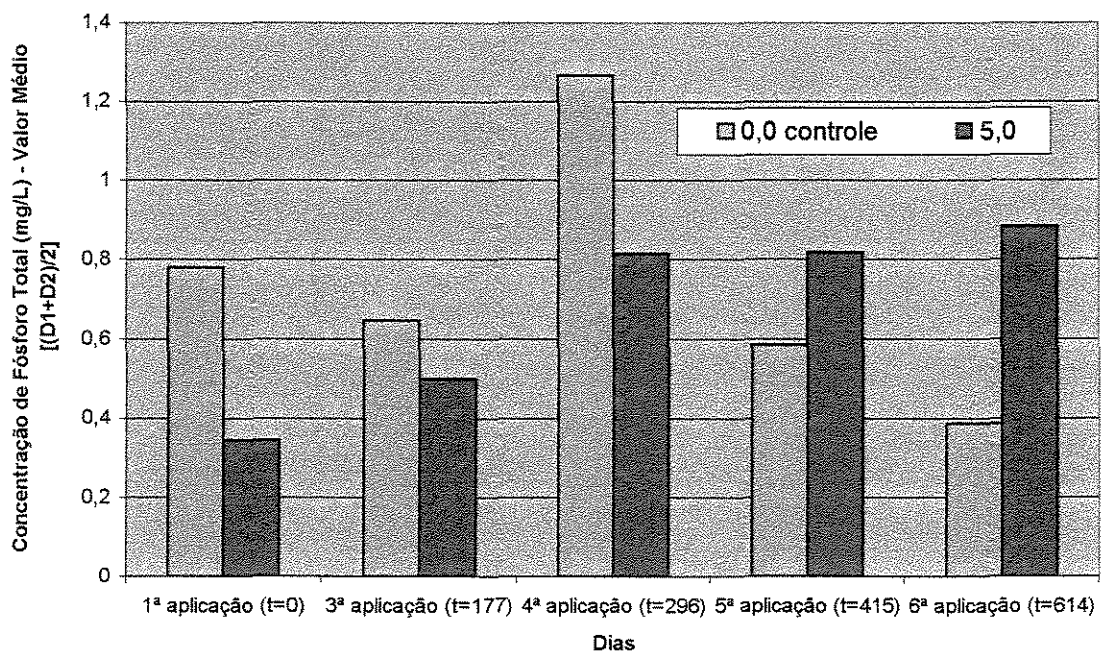


FIGURA 5.14 - Avaliação do Fósforo Total - Profundidade: 0,75M - Solo de pH Neutralizado.

5.8 – Comparação dos dados de avaliação no líquido infiltrado a 0,75 metro, entre as aplicações de lodo de esgoto no solo.

Devido a maior ocorrência de precipitação pluviométrica e a drenagem de líquido houve a possibilidade de avaliar o líquido infiltrado no solo por duas vezes e em duas situações:

1ª. situação: entre a quarta e a quinta aplicação de lodo; e,

2ª. situação: entre a quinta e a sexta aplicação de lodo.

5.8.1 – Comparação das avaliações do líquido infiltrado no solo entre a quarta e quinta aplicação de lodo

As Figuras 5.15 a 5.22, mostram os gráficos de avaliações das formas de nitrogênio e fósforo total no líquido infiltrado a 0,75 metro de profundidade, em solo de pH natural e de pH neutralizado.

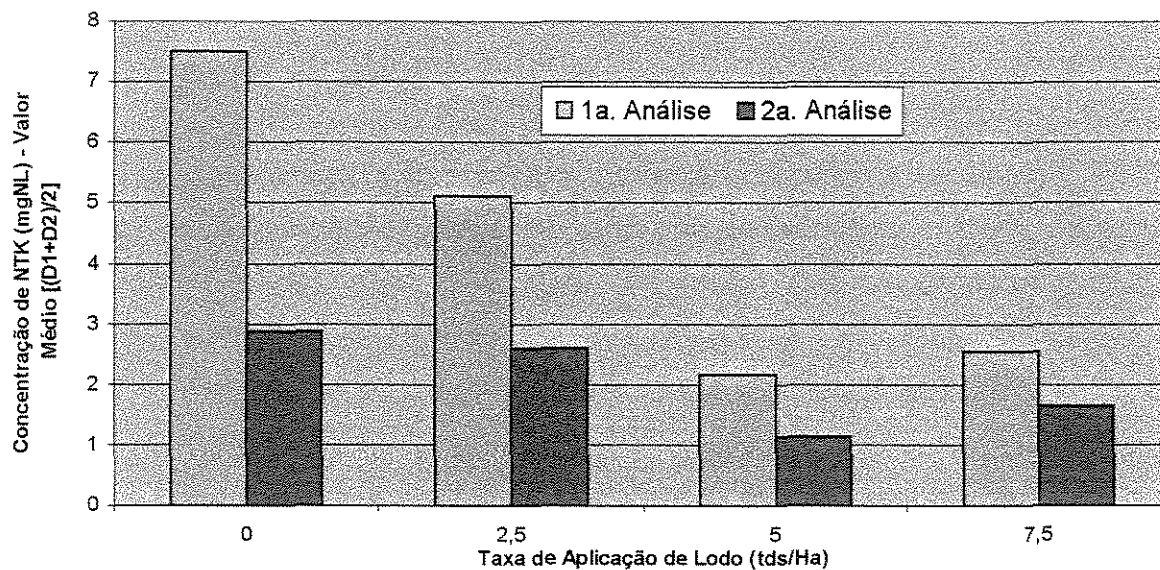


FIGURA 5.15 - Avaliação de NTK - Profundidade: 0,75M - Período: Entre 4a. e 5a. Análise - Solo de pH natural.

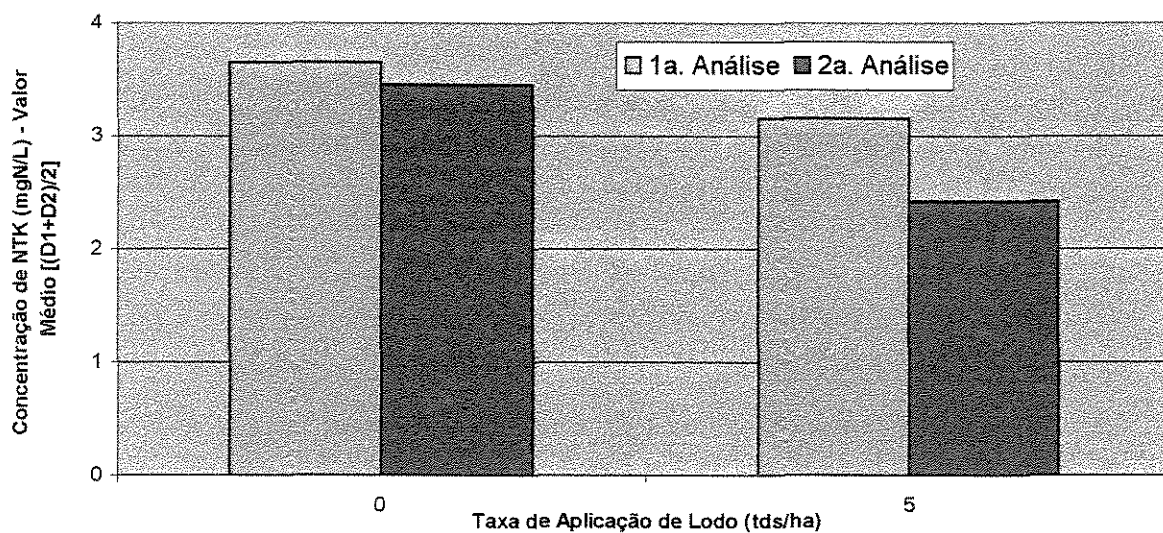


FIGURA 5.16 - Avaliação de NTK - Profundidade: 0,75M - Período: Entre 4a. e 5a. Aplicação de Lodo - Solo de pH Neutralizado.

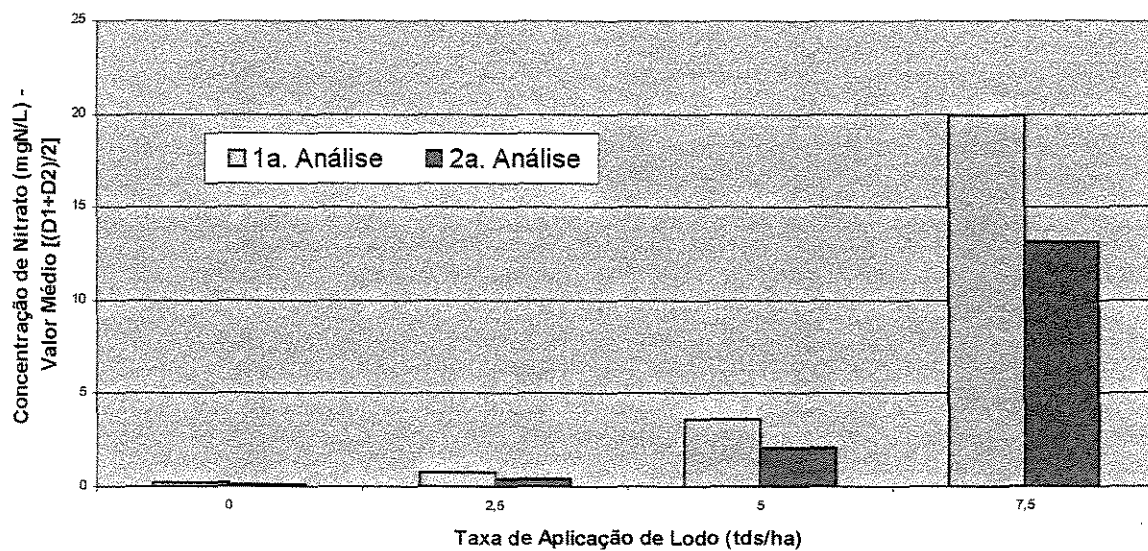


FIGURA 5.17 - Avaliação de Nitrato - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 4a. e 5a. Aplicação de Lodo - Solo de pH Natural.

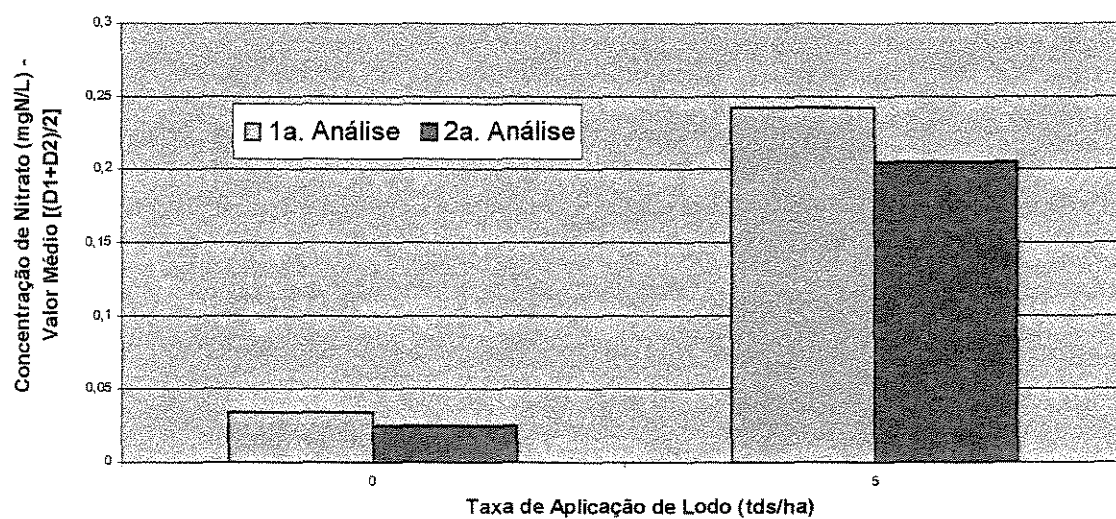


FIGURA 5.18 - Avaliação de Nitrato - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 4a e 5a. Aplicação de Lodo -Solo de pH Neutralizado.

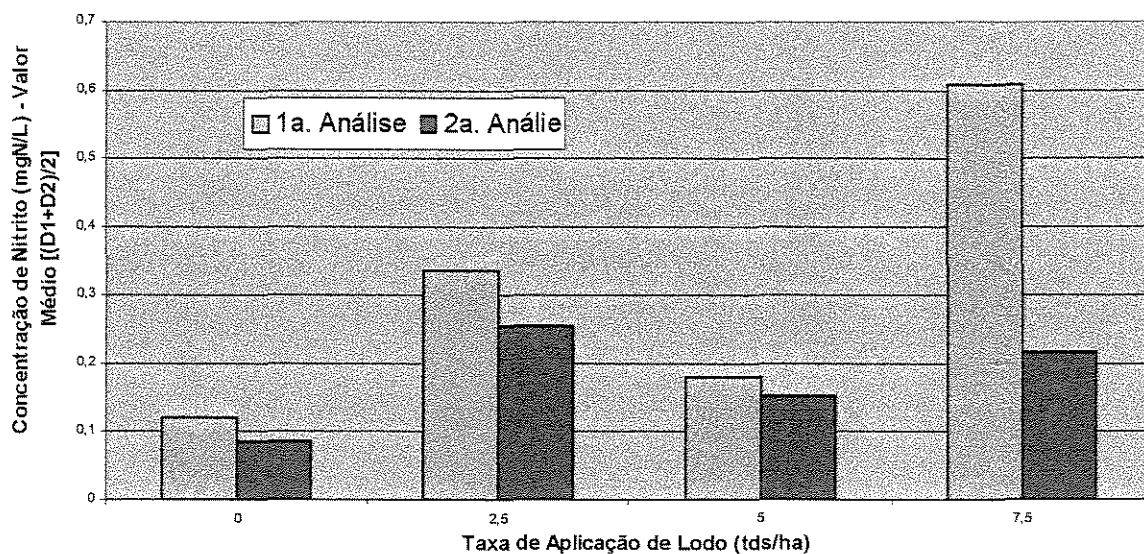


FIGURA 5.19 - Avaliação de Nitrito - Profundidade: 0,75 - Período: Entre a 4a. e 5a. Aplicação de Lodo - Solo de pH Natural.

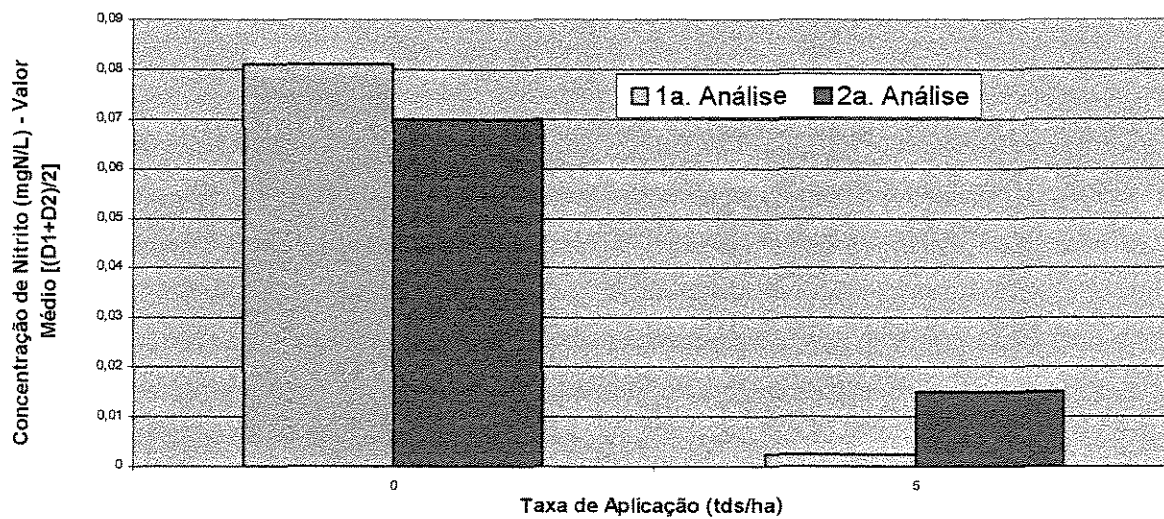


FIGURA 5.20 - Avaliação de Nitrito - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 4a. e 5a. Aplicação de Lodo - Solo de pH Neutralizado.

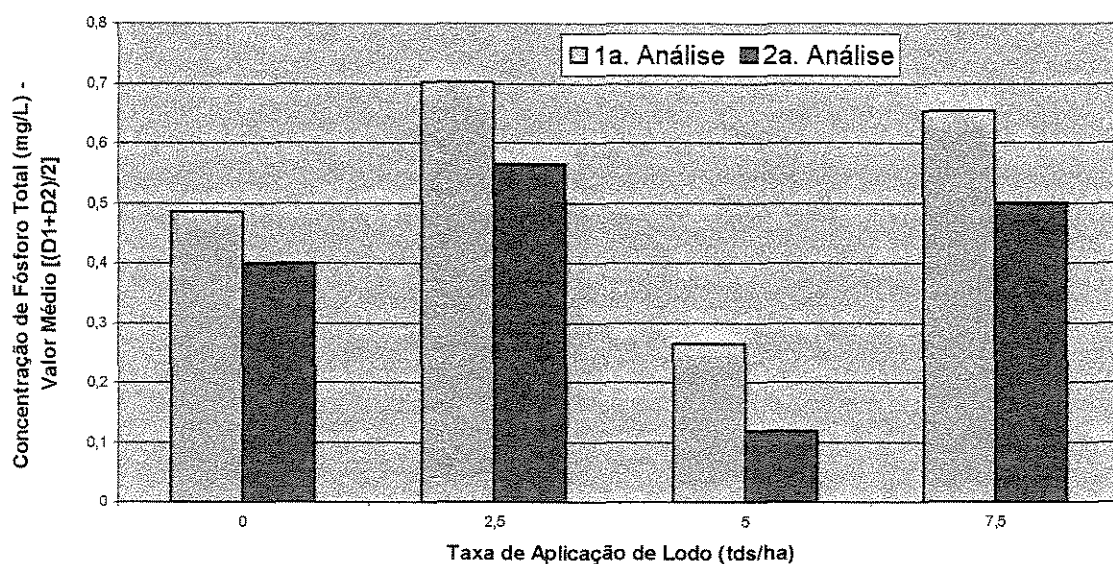


FIGURA 5.21 - Avaliação de Fósforo Total - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 4a. e 5a. Aplicação de Lodo - Solo de pH Natural.

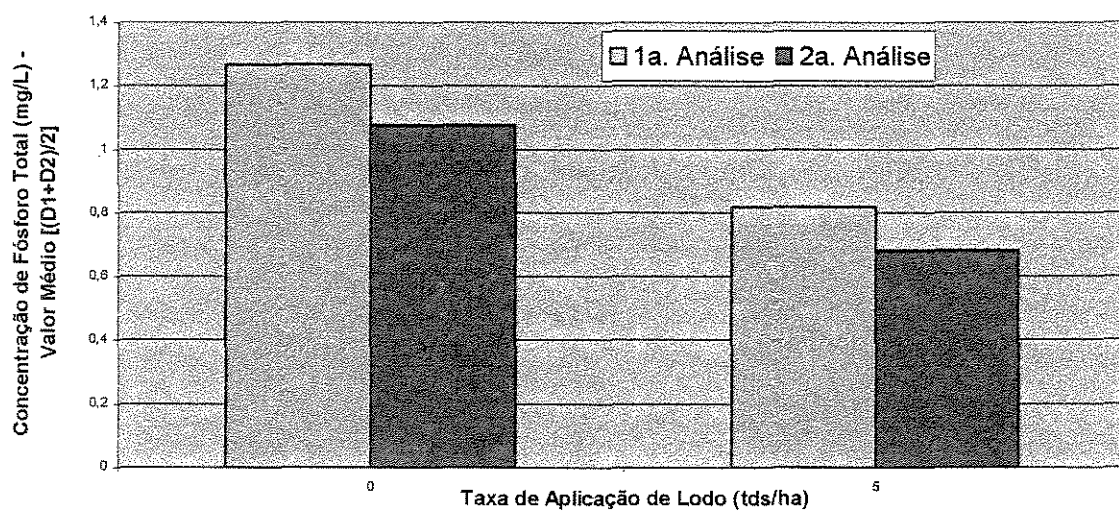


FIGURA 5.22 - Avaliação de Fósforo Total - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 4a. e 5a. Aplicação de Lodo - Solo de pH Neutralizado.

5.8.2 – Comparação das avaliações do líquido infiltrado no solo entre a quinta e a sexta aplicação de lodo

As Figuras 5.23 a 5.28, mostram os gráficos de avaliações das formas de nitrogênio e fósforo total no líquido infiltrado a 0,75 metro em solo de pH natural e de pH neutralizado.

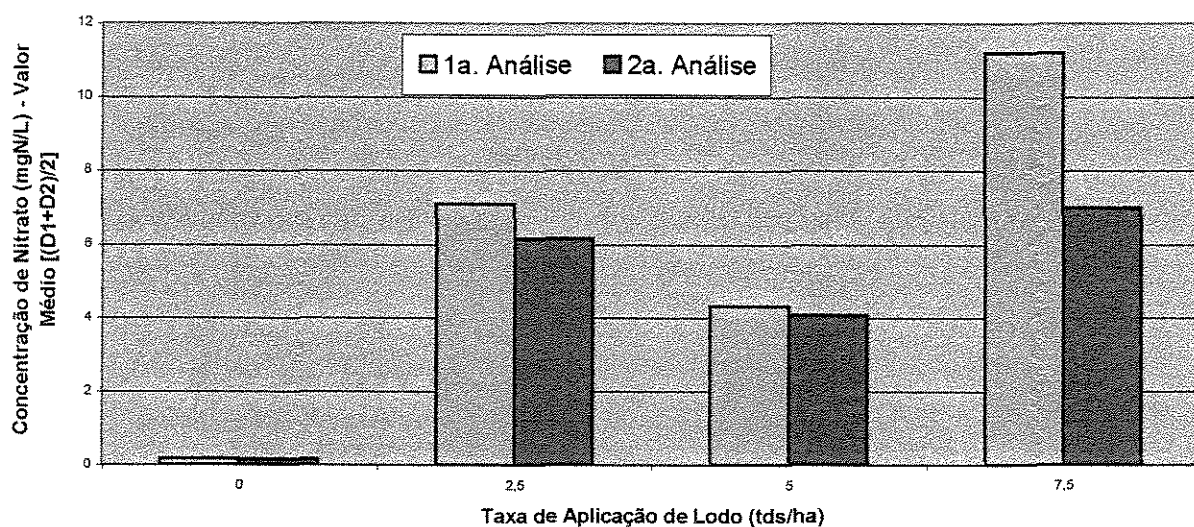


FIGURA 5.23 - Avaliação de Nitrato - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 5a. e 6a. Aplicação de Lodo - Solo de pH Natural.

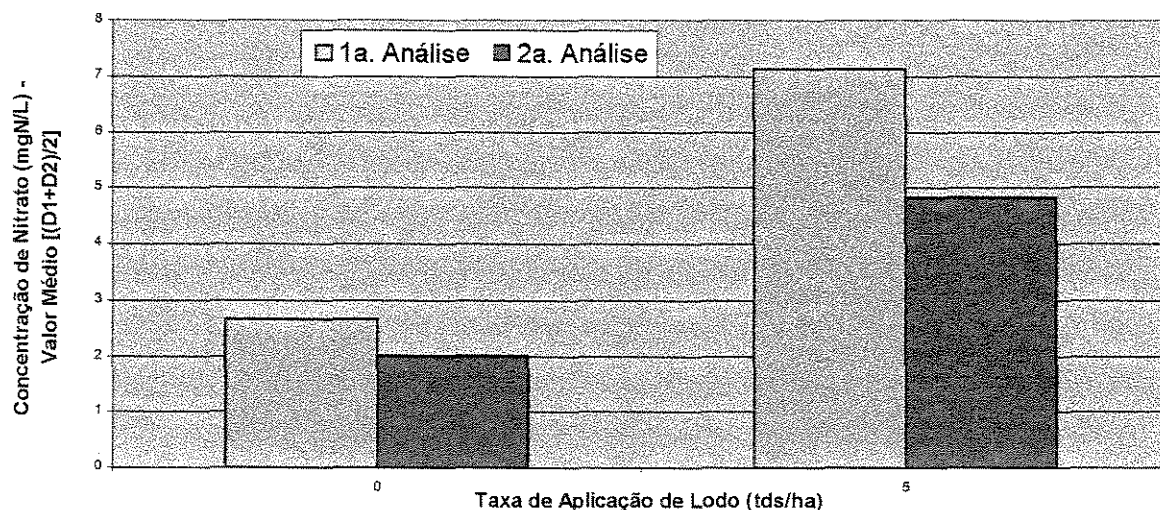


FIGURA 5.24 - Avaliação de Nitrato - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 5a. e 6a. Aplicação de Lodo - Solo de pH Neutralizado.

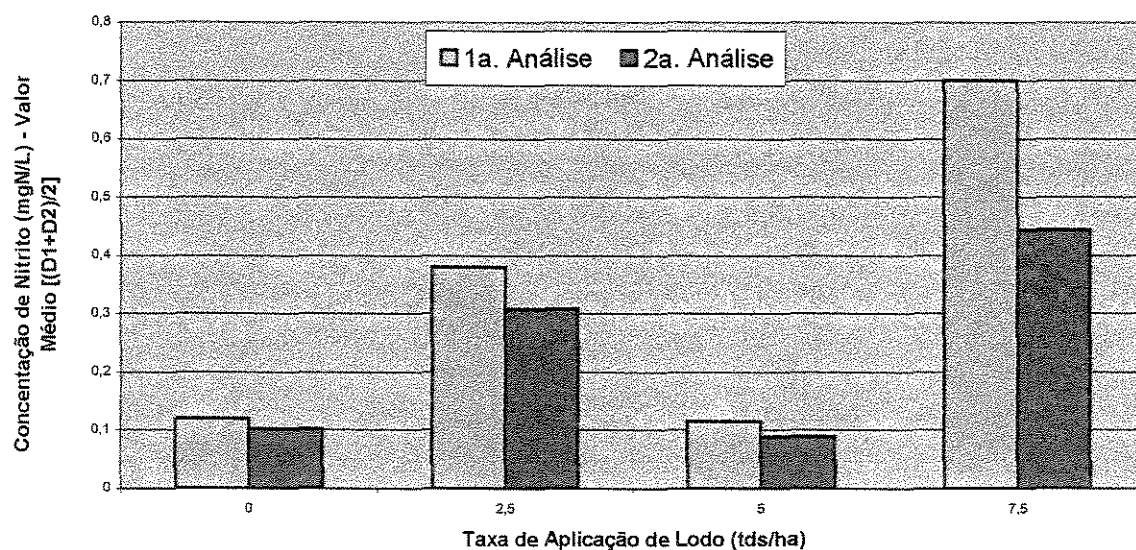


FIGURA 5.25 - Avaliação de Nitrito - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 5a. e 6a. Aplicação - Solo de pH Natural.

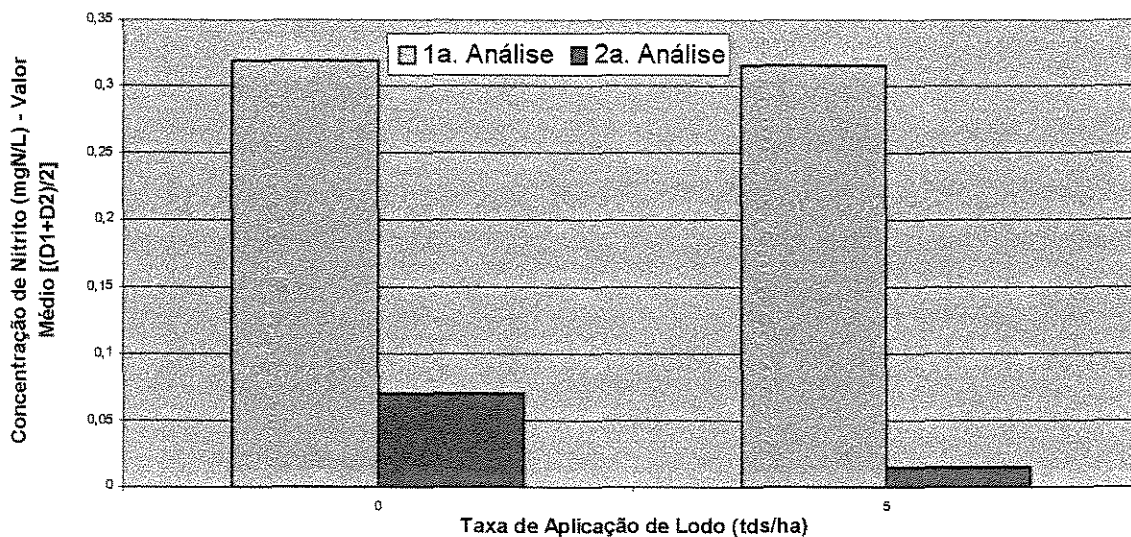


FIGURA 5.26 - Avaliação de Nitrito - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 5a. e 6a. Aplicação - Solo de pH Neutralizado.

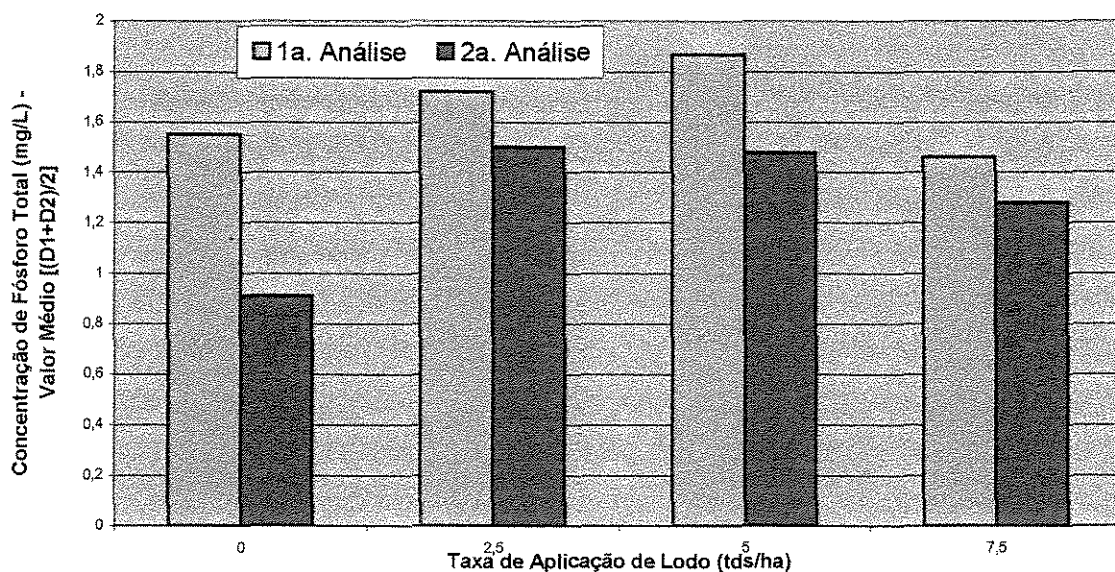


FIGURA 5.27 - Avaliação de Fósforo Total - profundidade: 0,75M - Período: Entre a 5a. e 6a. Aplicação - Solo de pH Natural.

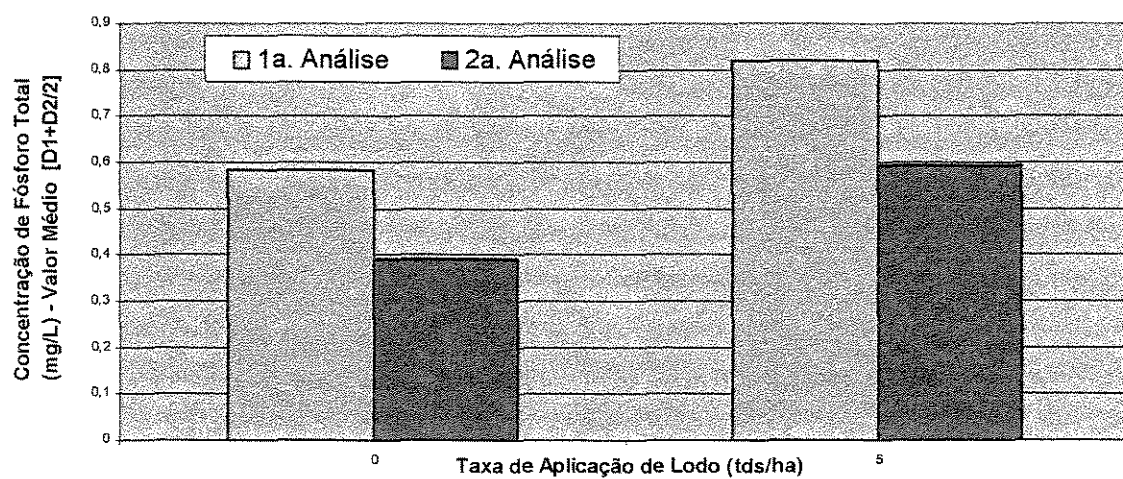


FIGURA 5.28 - Avaliação de Fósforo Total - Profundidade: 0,75M - Período: Entre a 5a. e 6a. Aplicação - Solo de pH Neutralizado.

6 – DISCUSSÃO

Neste capítulo são discutidos os resultados obtidos envolvendo toda situação da pesquisa em reatores pilotos, como: período e frequência de aplicação de lodo no solo, montagem do sistema piloto, lodo bruto, o líquido infiltrado no solo, o líquido infiltrado entre aplicações de lodo, pH do solo e a biodegradação do lodo no solo.

Nesta montagem foi possível estabelecer uma área crítica para simular a aplicação de lodo no solo, imaginando-se o que ocorreria na qualidade da água do lençol freático, em situação bem desfavorável, quando situado a uma profundidade de 0,75 metro.

6.1 - Período e frequência de aplicação do lodo

No período de 620 dias foram realizadas seis aplicações de lodo.

A frequência de aplicação de lodo no solo foi condicionada a dois fatores:

1. para acondicionamento do solo e tempo de colheitas.

As três primeiras aplicações: $t_{1,1} = 0$, ($\Delta t = 0$ dia); $t_{1,2} = 93$ ($\Delta t = 93$ dias); e $t_{1,3} = 177$ ($\Delta t = 84$ dias) dias, respectivamente, foram para acondicionar o solo, simulando a prática agrícola de preparo do solo para colheita.

As três últimas aplicações: $t_{1,4} = 296$ ($\Delta t = 119$ dias), $t_{1,5} = 415$ ($\Delta t = 119$ dias) e $t_{1,6} = 620$ ($\Delta t = 205$ dias), respectivamente, foram simuladas com épocas de colheitas.

2. tempo para que o líquido infiltrasse no solo.

Considerou-se importante à avaliação do líquido infiltrado no solo após cada aplicação de lodo para verificar os efeitos residuais dos nutrientes.

A biodegradação do lodo também é um fator importante para se determinar a frequência e o período de aplicação do lodo no solo. Porém tal parâmetro, não foi utilizado devido a fatores como:

- a chance de ocorrer a biodegradação do lodo conforme recomenda a norma, sem ter infiltrado líquido no solo. Nesta situação teria que haver a reaplicação de lodo sem a possibilidade de avaliação do líquido infiltrado, a 0,75 metro, com apenas uma aplicação de lodo.
- objetivou-se avaliar o líquido infiltrado no solo, a 0,75 metro, a cada aplicação de lodo. Tal medida foi para verificar se os nutrientes eram cumulativos no solo, se aumentavam a cada aplicação de lodo ou se eram “absorvidos”.

6.2 – Montagem do sistema piloto

O sistema de montagem foi constituído de reatores como o da FIGURA 4.1. Neles foram colocados solos de pH natural e de pH neutralizado, sem vegetação, e receberam várias taxas de lodo. Através da drenagem do líquido foi possível a investigação da qualidade sanitária sob as espécies químicas (formas) de nitrogênio e de fósforo total a que poderia afetar a água subterrânea devido às cargas de nutrientes presentes no lodo bruto.

O líquido infiltrado no solo investigado, neste sistema, foi proveniente do próprio lodo e da precipitação pluviométrica.

De acordo com a divulgação da **SANEPAR, (1997)**, para a aplicação do lodo no terreno, a análise da estrutura do solo é importante. Estruturas muito massivas restringem o movimento da água e a aeração do solo, comprometendo a biodegradação do lodo. A restrição à infiltração da água facilita o transporte do lodo por erosão. O ideal é que o solo tenha entre 35 a 60% de argila. O solo utilizado nesta pesquisa foi classificado como argilo-arenoso, apresentando a porcentagem de argila entre os valores citados, conforme mostrados na tabela 5.3.

Foi verificado que temperatura, nas cubas, contribuiu negativamente para o sistema. Os solos que se encontravam próximo das paredes possuíam teores de umidades relativamente menores do que os solos do centro das cubas, devido ao efeito térmico ocorrido nas paredes destas. Dependendo do volume de precipitação pluviométrica ocorrida, o mesmo evaporava-se com mais facilidade, necessitando de volume de líquido para a saturação do solo, maior do que o valor teórico previsto.

Durante as seis aplicações de lodo efetuadas no solo, foi verificado que somente a partir da quinta aplicação, os aspectos estéticos visuais expressos pela cor e turbidez no líquido infiltrado, (a 0,75 metro), estiveram com valores abaixo de 1,0 mgPt/L e 1,0 NTU, respectivamente.

O desempenho das estações de monitoramento e coletas de líquido, intersticial e de drenagem livre, posicionados em várias profundidades do solo, não foi adequado para a avaliação das formas de nitrogênio e fósforo total. Os volumes de líquido, nelas coletados, eram insuficientes para as análises destes parâmetros.

Para a avaliação, principalmente das espécies químicas de nitrogênio, nestas condições de coleta, os resultados poderiam expressar uma inadequada

concentração dos elementos, uma vez que este líquido coletado poderia ter sido drenado em dias anteriores e conseqüentemente ocorrido à transformação das formas. Devido ao insucesso das coletas destas amostras, recomenda-se que os coletores de profundidades intermediárias devam ser melhores estudados, de forma a adequar o seu funcionamento.

6.3 – Lodo bruto

Analisando-se as Tabelas 5.6 a 5.8, considerando a camada de solo como meio filtrante e comparando as concentrações dos nutrientes no lodo bruto e no líquido infiltrado no solo, coletado a 0,75 metro de profundidade, verificou-se a porcentagem de remoção dos nutrientes, no sistema piloto, foi de aproximadamente 100 % para todas as taxas de lodo aplicadas.

Ainda, analisando-se as Tabelas 5.7 e 5.8 verificou-se que quando aplicada à mesma taxa de lodo (5,0 tds/ha), em solos de diferentes pHs, o solo de pH natural propiciou melhor eficiência de remoção do N e o solo de pH neutralizado propiciou melhor eficiência de remoção do P.

Quando comparadas as Tabelas 5.6 a 5.8, verificou-se que a eficiência de remoção dos nutrientes, no sistema piloto, não foi influenciada pelas freqüentes aplicações de lodo, isto é, a eficiência de remoção na 1ª. aplicação é praticamente semelhante a da 6ª. aplicação. O mesmo comportamento foi verificado para a maior taxa, que foi de 7,5 tds/ha.

A maior parcela das espécies químicas do nitrogênio e do fósforo total, aparentemente, ficou retida nas primeiras camadas do solo. Provavelmente os nutrientes se acumularam na estrutura do solo por adsorção. Recomenda-se que

sejam investigadas as espécies químicas no solo nas profundidades intermediárias, através de ensaios químicos.

As concentrações das formas de nitrogênio e de fósforo total, presentes no lodo bruto, por ocasião de cada aplicação de lodo no solo, não foram proporcionais, isto é, a porcentagem de cada nutriente, no lodo bruto, a cada aplicação, era diferente em concentração.

Talvez, a situação acima, possa dificultar a aplicação de lodo no solo para uma determinada cultura, devido à necessidade de balanceamento dos nutrientes, isto é, da relação N:P, impondo a aplicação de valores diferentes em cada situação comprometendo em, conseqüência, a técnica de manejo. Assim a cada taxa a ser aplicada deve ser revisto em cada situação uma vez que no lodo bruto há uma grande variação da relação C:N:P.

6.4 – Líquido infiltrado no solo na profundidade de 0,75 metro

O nitrogênio total kjeldahl não foi encontrado no líquido infiltrado a 0,75 metro, tanto para solos de pH natural como os de pH neutralizado (FIGURAS 5.5 e 5.10). As concentrações encontradas até a quarta aplicação de lodo mantiveram-se abaixo das do solo controle.

Após a quinta aplicação de lodo esta espécie não foi mais encontrada, considerando o limite mínimo de detecção do método analítico. Provavelmente, o nitrogênio total kjeldahl tenha sido transformado a nitrato auxiliado pela estabilidade dos solos nas cubas que podem ter favorecido as transformações, pela retenção do nitrogênio orgânico.

No líquido infiltrado no solo de pH natural, o nitrogênio amoniacal só foi encontrado na quarta aplicação de lodo. Isso foi possível devido à alta concentração

encontrada no lodo bruto, antes da aplicação no solo (FIGURA 5.6). A estabilidade dos solos nas cubas também podem ter favorecido as transformações, semelhante ao nitrogênio total Kjeldahl.

No líquido infiltrado no solo de pH neutralizado (FIGURA 5.11), o nitrogênio amoniacal foi encontrado, em concentrações superiores as do solo controle, após a terceira, quinta e sexta aplicação de lodo. O pH do solo neutralizado parece ter favorecido a presença do nitrogênio na forma de amônia, em contrariedade ao teórico esperado, visto que a amônia tende a se volatilizar em meio de pH básico.

O nitrogênio na forma de nitrito (FIGURA 5.5) praticamente não foi encontrado no lodo bruto, mesmo na quarta e quinta caracterização do lodo, onde as concentrações dos outros parâmetros se encontraram elevados. Isso justifica-se pela facilidade do nitrito se converter a nitrato ou devido ao lodo não estar totalmente digerido.

No líquido infiltrado no solo de pH natural, as concentrações de nitrito foram mais evidentes. (FIGURAS 5.8 e 13) Quando comparadas às taxas de 5,0 tds/ha, verificou-se que para o solo de pH natural o nitrito foi encontrado em concentrações menores. O solo de maior pH, provavelmente favoreceu a nitrificação. A taxa de 7,5 tds/ha, lixiviou mais nitrito. Para os solos de ambos pHs o nitrito foi encontrado em concentrações decrescentes a cada aplicação de lodo.

O nitrogênio na forma de nitrato (FIGURAS 5.7 e 5.12) foi encontrado no líquido infiltrado, tanto no solo de pH natural como no solo de pH neutralizado. As concentrações de nitratos se mostraram elevadas em relação ao solo controle. As concentrações encontradas no solo de pH natural parecem ser proporcionais as taxas aplicadas, isto é, quanto maior for a taxa de aplicação, maior será a concentração de nitratos lixiviada. Para a taxa de 7,5 tds/ha a concentração de nitrato é superior (a dez vezes) a do solo controle.

Até a quinta aplicação de lodo no solo de pH natural, as concentrações de nitratos mantiveram-se abaixo de 10 mgN/L.

Em solo de pH natural a concentração de nitrato tende a aumentar com o tempo para todas as taxas investigadas. Quando aplicada à taxa de 5,0 tds/ha, em solo de pH natural e neutralizado verificou-se que a produção de nitrato, nas mesmas situações de campo, que as concentrações no solo neutralizado são significativamente maiores do que as do solo natural.

A nitrificação é muito mais intensa no solo de pH neutralizado, numa mesma situação climática, demonstrando que o aumento da alcalinidade do meio favorece a nitrificação. O solo de pH natural aparentemente não favorece a nitrificação e conseqüentemente a presença de nitratos.

Sugere-se que os solos que recebam a aplicação de lodo não tenham o pH neutralizado e que sejam avaliadas as taxas entre 2,5 e 50 tds/ha. Esta afirmação é contraditória a maioria dos pesquisadores que recomendam a correção de pH do solo, como uma ação benéfica (atividade microbiana e solubilidade de metais). No entanto, avaliações mais específicas são necessárias, não podendo descartar a necessidade de um balanço de massa dos nutrientes.

Literaturas consultadas indicam que a presença de nitratos em excesso no lodo bruto, é mais preocupante quando, o mesmo, é aplicado ao solo, na forma líquida. A contaminação, por nitratos pode ser evitada fazendo-se um balanço entre a quantidade de nitrogênio aplicado ao solo, prontamente disponível para as plantas, e as quantidades do nitrogênio necessárias a uma cultura, em questão (**Da ROS et al. 1993**). Assim, a desidratação do lodo ou a aplicação, do mesmo, com taxas baseadas em N, poderia minimizar a lixiviação do nitrato no solo.

O fósforo total foi encontrado no líquido infiltrado, tanto para o solo de pH natural como o de pH neutralizado. Foram encontradas baixas concentrações de

fósforo total no líquido infiltrado, quando comparadas às do solo controle (FIGURA 5.9 e 5.14). No líquido infiltrado no solo de pH neutralizado (taxa 5,0 tds/ha) o fósforo total só foi encontrado a partir da quinta aplicação de lodo em concentrações inferiores a 0,5 mg/L.

Quando aplicadas às taxas de 5,0 tds/ha, em solo de pH natural e de pH neutralizado (FIGURAS 5.9 e 5.14), verificou-se que, na 5^a. e 6^a. o fósforo total foi encontrado em baixas concentrações. No entanto, recomenda-se a avaliação do fósforo na forma orgânica e inorgânica, no lodo, no líquido infiltrado e também quanto ao efeito do pH, após a aplicação de lodo de esgoto no solo.

6.4.1 – Coletas de líquido infiltrado nos solo entre as aplicações de lodo

Durante o experimento, entre as aplicações de lodo no solo, a ocorrência de precipitação pluviométrica contribuiu para a realização de duas coletas de líquido infiltrado no solo, isto é, houve a possibilidade de avaliar o líquido infiltrado por duas vezes, entre as aplicações de lodo, em duas situações.

Tais situações ocorreram, entre a quarta e a quinta e entre a quinta e a sexta aplicação de lodo no solo. Os resultados foram ilustrados, em forma de gráficos, no item 5.8.1 (FIGURAS, de 5.15 a 5.22) e no item 5.8.2 (FIGURAS, de 5.23 a 5.28). Portanto:

- entre a quarta e quinta aplicação de lodo, houve duas avaliações no líquido infiltrado. A primeira avaliação foi denominada de 1^a. análise. A segunda avaliação foi denominada de 2^a. análise; e,

- entre a quinta e a sexta aplicação de lodo, houve duas avaliações no líquido infiltrado. A primeira avaliação foi denominada de 1ª. análise. A segunda avaliação foi denominada de 2ª. análise.

Analisando os resultados (FIGURAS, de 5.15 a 5.28) verificou-se que após a aplicação de lodo de esgoto no solo, na primeira avaliação de líquido infiltrado, independentemente da taxa aplicada, as concentrações dos nutrientes encontradas na 1ª análise foram maiores, quando comparadas com a 2ª análise.

Verificou-se que houve um decréscimo em todas as concentrações, dos nutrientes, na 2ª análise, quando comparada com a 1ª análise.

A maior concentração de nutriente a ser lixiviada ocorreu na primeira infiltração de líquido, após a aplicação do lodo. No líquido infiltrado, houve uma tendência das concentrações de nutrientes a se igualarem as do solo controle, a medida que ocorreu a precipitação pluviométrica, antes do solo receber outra aplicação de lodo.

Vale salientar que pesquisas realizadas por **OLIVEIRA (1995)** demonstram que mesmo após um longo período (400 dias), após a aplicação do lodo no solo, em taxas superiores a 7,5 tds/ha, o nitrogênio nitrato ainda foi encontrado em solução do solo.

6.5 – pH do solo

Em relação ao pH do solo, após a aplicação de lodo, verificou-se que o solo de pH natural (4,5) foi o mais favorável a aplicação de lodo, principalmente pelas avaliações das concentrações de nitrogênio na forma de nitrato. Porém a

biodegradação do lodo, quando comparadas às taxas de 5,0 tds/ha, em ambos os solos, constatou-se que o comportamento foi semelhante na produção de CO₂.

Pesquisadores citados no Manual Técnico para Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto no Paraná (**SANEPAR, 1997**) recomendam a correção do pH do solo, quando o lodo é aplicado em culturas, pois o mesmo influencia na atividade microbológica (biodegradação do lodo), na absorção de nutrientes pela planta e na mobilidade dos cátions metálicos. Os pesquisadores salientam que quase todos os metais, exceto o selênio e o molibdênio, são mais solúveis em pH ácido. O solo com pH, entre 6,0 e 6,5, favorece a redução efetiva da absorção de metais pesados pelas plantas.

Em contra partida, para o solo estudado, sem vegetação, a neutralização do pH do solo, favoreceu a lixiviação do nitrato para zonas profundas do solo.

6.6 – Biodegradação do lodo

Verificou-se que as taxas de aplicação de lodo de 2,5 e 7,5 tds/ha, respectivamente, foram as mais eficientes na produção de CO₂ (TABELA B.1). No período de 42 dias, a biodegradação do lodo, foi superior a 30 % (valor recomendado pela ABNT) e só ocorreu com a taxa de aplicação de 7,5 tds/ha. Não houve diferença significativa entre o comportamento do solo de pH natural e de pH neutralizado no tocante a biodegradação, quando aplicadas às taxas de 5,0 tds/ha, nos dois tipos de solos.

A biodegradação do lodo, para a taxa de 7,5 tds/ha, foi a mais eficiente, talvez devido a maior quantidade de matéria orgânica e nutriente envolvidos no sistema, comportamento em conformidade com (**NUVOLARI, 1996**).

Com as sucessivas aplicações verificou-se que, para um mesmo período, a eficiência da biodegradação do lodo diminui com as reaplicações, isto é, a cada aplicação de lodo, o tempo necessário para a biodegradação, tende a aumentar.

De acordo com a literatura consultada, para o caso do lodo de esgoto doméstico, pela sua constituição (matéria orgânica, carbono, nutrientes, etc.) a biodegradação, quando monitorada, não é um parâmetro preocupante. Sempre ocorre a biodegradação do lodo no solo. Verifica-se que a biodegradação do lodo está em função da taxa de aplicação e do tempo necessário para ocorrer o processo. Logicamente, a relação dos componentes de um lodo, pode facilitar ou dificultar o processo da biodegradação. A questão é de verificar qual taxa é a mais eficiente, o período correto para as reaplicações do lodo em questão a viabilidade do uso desta alternativa (no tocante ao volume de produção de lodo, área agrícola necessária para ser aplicada) e alternativas para disposição.

7 – CONCLUSÃO

Considerações iniciais

No tocante ao tema pesquisado, a aplicação de lodo de esgoto, tipicamente doméstico, foi em solos: de pH natural (4,5) e de pH neutralizado (7,0). A aplicação do lodo foi efetuada em solo sem nenhum tipo de vegetação, avaliando-se apenas o comportamento do líquido infiltrado a 0,75 metro, quanto aos nutrientes (espécies químicas de nitrogênio e fósforo total) e a biodegradação do lodo.

Nesta situação concluiu-se que:

A eficiência de remoção de nitrogênio e fósforo, no sistema piloto, foi bem acentuada, próximo a 100 %, em baixas concentrações, dos mesmos, quando avaliado o líquido infiltrado no solo. Porém, mesmo em baixas concentrações, principalmente o nitrogênio na forma de nitrato, deve ser levado em consideração devido ao seu comprometimento da qualidade sanitária da água subterrânea (**PORTARIA 36/GM, 1990**).

A eficiência de remoção de nitrogênio e fósforo, no sistema piloto, não foi alterada com as freqüentes aplicações de lodo, quando comparadas às taxas de 5,0 e 7,5 tds/ha.

O solo de pH natural se mostrou mais eficiente para a remoção de nitrogênio, enquanto que o solo de pH neutralizado se mostrou mais eficiente para a remoção do fósforo.

Quanto às formas de nitrogênio e fósforo total:

O nitrogênio total kjeldahl esteve presente em altas concentrações no lodo bruto, porém não foi encontrado no líquido infiltrado, podendo, o mesmo ter sido convertido a nitrato.

O nitrogênio amoniacal foi encontrado no lodo bruto em altas concentrações, porém não influenciou no líquido infiltrado. Também pode ter sido convertido a nitrito e nitrato. A perda por volatilização pode ter ocorrido.

O nitrogênio na forma de nitrato lixiviou no líquido infiltrado principalmente no solo de pH neutralizado. Não foi possível avaliar a ocorrência da desnitrificação para perda do nitrogênio N na atmosfera na forma de N_2 , mas possivelmente elas ocorreram.

Para o solo de pH natural, quando submetido à taxa de 5,0 tds/ha, o líquido infiltrado apresentou a lixiviação de nitrato, até a quinta aplicação de lodo, em concentrações inferiores a 10,0 mgN/L (Valor Máximo Permitido pela Legislação para Água de Abastecimento). Porém, com a sexta aplicação de lodo, as concentrações de nitrato já foram superiores a 10,0 mg/L.

A taxa de 7,5 tds/ha propiciou a lixiviação de nitrato de forma crescente a cada aplicação de lodo, chegando a concentração de 34,0 mgN/L.

A taxa de 2,5 tds/ha, também propiciou, no líquido infiltrado no solo de pH natural, a lixiviação do nitrato em concentrações menores que 10 mgN/L até a 5ª.

aplicação. Na 6ª. aplicação, o nitrato também foi encontrado em concentrações superiores a 10 mg/L.

O nitrogênio na forma de nitrito, no líquido infiltrado no solo de pH natural, foi encontrado em baixas concentrações quando se aplicou taxas de 2,5 e 5,0 tds/ha mantendo-se em concentrações compreendidas entre 0,20 e 0,40 mgN/L, respectivamente.

No solo de pH neutralizado, onde se aplicou a taxa de 5,0 tds/ha, no líquido infiltrado, as concentrações de nitritos, estiveram abaixo das do solo controle, até a 5ª. aplicação de lodo. Na 6ª. aplicação às concentrações de nitrito, foram superiores às do solo controle.

O fósforo total foi encontrado em todas as amostras e suas concentrações estiveram abaixo de 2,0 mg/L. O solo de pH neutralizado foi o mais eficiente na remoção de fósforo total.

Quanto a biodegradação do lodo:

As taxas de 2,5 e 7,5 tds/ha foram as mais eficientes na produção de CO₂.

Os solos de pH natural e de pH neutralizado se comportaram de maneira semelhante, produzindo valores de CO₂ praticamente iguais. Portanto, não houve diferença significativa na biodegradação do lodo nos diferentes pHs dos solos.

A taxa de aplicação de lodo de 7,5 tds/ha foi a mais eficiente na produção de CO₂.

A cada reaplicação de lodo, o período necessário para a biodegradação, do mesmo (30 % em 42 dias, sugerido pela ABNT), tende a aumentar.

Considerações finais

Para as condições estudadas na pesquisa, a taxa de 5,0 tds/ha se mostrou favorável à aplicação de lodo de esgoto no solo de pH natural, até a 5ª aplicação, quanto às concentrações de nitratos lixiviadas.

Para a aplicação de lodo por maior período, recomenda-se a taxa de 2,5 tds/ha ou efetuar taxas intermediárias, entre 2,5 e 5,0 tds/ha, pois taxa superior a 5,0 tds/ha, o teor de nitrato na água de infiltração, fica acima dos valores permitidos pela Legislação, comprometendo a qualidade sanitária do lençol freático.

Com a mesma taxa de aplicação de lodo no solo, o tempo necessário para ocorrer a biodegradação, do mesmo, tende a aumentar com as reaplicações.

Em escala real, a biodegradação do lodo deve ser monitorada para a orientação quanto as reaplicações de lodo no solo.

8 – SUGESTÕES

Neste capítulo foram apresentadas algumas sugestões observadas durante este trabalho, tanto para melhorias de pesquisas futuras como falhas deste. Entre elas:

- a temperatura no solo das cubas, deveria ser monitorada devido à significativa diferença, dela, entre o solo acomodado no centro e o acomodado perto da parede. Também se recomenda o isolamento térmico dos reatores, a fim de minimizar este efeito.
- para montagem do experimento, em escala piloto, recomenda-se que o volume de solo seja maior (1 m^3). Recomenda-se um tempo (seis meses) para o solo se acomodar no reator. Também se recomenda o ensaio de compactação do solo a ser utilizado e, na montagem do reator compacta-lo, conforme ensaio, para o mesmo, chegar mais próximo da situação de onde ele foi retirado.
- montagem mais elaborada de estações de monitoramento para coleta de amostras de líquido de drenagem livre e intersticial, nas profundidades intermediárias do solo.

- avaliar o fósforo na forma orgânica e inorgânica, no lodo bruto e no líquido infiltrado e também quanto ao efeito do pH, após a aplicação de lodo de esgoto no solo.
- realizar a medição do volume do líquido percolado no fundo dos reatores a fim de possibilitar o balanço de massa dos nutrientes.
- montar reatores em triplicatas para cada taxa de aplicação de lodo.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Norma 01:603.06-007 (no prelo). **Determinação da Biodegradação em Solos – Método Respirométrico**. Jan 1993. NBR – 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação.;

ANDREOLI, C. V. et al, **Proposta Preliminar de Regulamentação para a Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto no Paraná** – Revista Técnica da SANEPAR, v.7, n.7 – 1997;

ANDREOLI, C. V. Et al, **Aceitabilidade Pública da Utilização do Lodo de Esgoto na Agricultura da Região Metropolitana de Curitiba** – Revista Técnica da SANEPAR, v. 12, n. 12 – 1999;

ANGLIAN WATER. **Manual of Good Practice for Utilization of Sewage Sludge in Agriculture** 2nd Rev. United Kingdom. Oct. 1991,53p.;

AISSE, M. M. et al, **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo** – PROSAB – pg. 271 a 299 – 1999;

AWWA - APHS - **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**, 19 th edition - New York - 1995;

Boaretto, A.E. **Uso de lodo de esgoto como fertilizante**. Botucatu: UNESP, 1986 - 185p;

BRAGA, F. S., **Disposição de Esgotos Sanitários por Infiltração Rápida sob Condições de Campo e de Laboratório, em Solo Arenoso de região Litorânea**, Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP – 1998;

BROWN, R. E. **Significance of Trace Metals and Nitrates in Sludge Soils**. Journal WPCF, v. 47, n. 12, p. 2863-2875, dec. 1975;

BURGE, W.D. et al. **Infectious Disease Hazards of Landspreading Sewage Wastes** - Journal of Environmental Quality - vol.7, nº1, p.1-9. 1978;

CAESB - COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTO DE BRASÍLIA - **O lodo de esgotos na agricultura**. Brasília – 1996;

CAMARGO, O.A. et alli – **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos** – Instituto Agrônomo de Campinas – IAC – pg. 03 – 1986.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações** - 6ª. ed., vol. 1 - Editora Livros Técnicos e Científicos - 1989;

Carvalho, P.de C.T. Utilização do lodo de esgoto na agricultura. In: Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do solo, Piracicaba, 1982. **Anais**. Piracicaba: CENA, 1982 - p.223-226;

CASEMORE, D.P. **The Epidemiology of Human Cryptosporidiosis and the Water Route of Infection** - Water. Science. and Technology - v.24, nº.2, p.157-164. 1991;

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Norma L5550, **Helminthos e Protozoários patogênicos**: contagem de ovos e cistos em amostras ambientais. São Paulo: CETESB, 1989. 22p.;

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. NT L5202, **Coliformes Totais e Fecais**. São Paulo: CETESB;

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Norma L6350, **Solos – Determinação da Biodegradação de Resíduos – Método Respirométrico de Bartha – Método de Ensaio**. São Paulo: CETESB, 1990;

CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE NETO, C. O.; NOUR, E. A. A.; ANDREOLI, F. N.; SOUZA, H. N.; MONTEGGIA, L. O.; SPERLING, M. V.; LUCAS FILHO, M.; AISSE, M. M.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R. – **Base Conceituais da Disposição Controlada de Águas Residuárias no Solo** – Livro: Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo – PROSAB, cap. 13 – 1999;

DAVIS, R.D., **The Impact of EU and UK Environmental Pressures on the Future of Sludge Treatment and Disposal** - Water and Environmental Management - v.10, Feb. p.65-69. 1996;

DOS SANTOS, H. F. **Aplicação do Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos em Solos Agrícolas**, Revista DAE, 122, p. 31-47, 1979;

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-USEPA- (1986) **Development of a Qualitative Pathogen Risk Assessment Methodology for Municipal Sludge Landfilling**. EPA/600/6-88/006. May 1986;

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-USEPA- (1992) **Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge**. Environmental Regulations and Technology- EPA/625/R-92/013. Dec. 1992;

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-USEPA- (1993) **Preliminary Risk Assessment for Pathogens in Landfilled Municipal Sewage Sludge**. EPA/600/R-94/110. Sep. 1993;

FERNANDES, F. **Lodo em estação de tratamento de água e esgoto**. Engenharia - Sanitária e Ambiental, v.2, n.1, p.169, jan./mar. 1997;

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. - SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - **Uso e Manejo do Lodo na Agricultura** - PROSAB – Rio de Janeiro, 1999;

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

HARTENSTEIN, R. **Sludge Decomposition and Stabilization**, In: SCIENCE, v. 212, n. 4496, p. 743-749, may 1981;

HAYS,B.D. **Potential for Parasitic Disease Transmission with Land Application of Sewage Plant Effluents and Sludge** - Water Research - vol11,p.583-595. 1977;

HEMPPHIL,B. **Rules and Options for Sludge Disposal** - Water Engineering & Managment - Feb. p.24-26. 1992;

HELMER,R., HESPANHOL,I., SALIBA,L.J. **Public Health Criteria for the Aquatic Envirnment: Recent WHO Guidelines and Their Application** - Water Science and Technology - v.24,nº2,p.35-42. 1991;

HO,B.S.W., TAM,T.Y., PRIMROSE, H, YAM, W.C. **Detection and Enumeration of Giardia Cysts in River Waters of Hong Kong by Flocculation- Percoll/Surcrose Gradient Immunofluorescence Method** - Water Science and Technology - v.31,nº5-6,p.431-434.1995;

- HORAK,P. **Helminth Eggs in the Sludge from Three Treatment Plants in Czechoslovakia** - Folia Parasitologica - v.30, p.153-157. 1992;
- HU,C.J. et al.. **Giardia and its Implications for Sludge Disposal** - Water Science and Technology - v.34,nº7-8.p.179-186. 1996;
- LUE-HING, C.; MATTHEWS, P.; NÀMER, J. et al. **Sludge management in highly urbanized areas**. In: MATTHEWS, P. (Ed.) **A global atlas of wastewater sludge and biosolids use and disposal**. London: IAWQ, p.7-12. 1997;
- JORGE, J. A. **Matéria Orgânica**, In: MONIZ, A. C. (ed) Elementos de Pedagogia - 2a. ed. cap. 13, p. 170-177, Rio de Janeiro - SP, 1975;
- KRAUSS, G.D.; PAGE, A.L. Wastewater, sludge and food crops. **BioCycle**, v.38, n.2, p.74-82, Feb. 1997.
- LIU,D. **The Effect of Sewage Land Disposal on the Microbiological Quality of Groundwater** - Water. Research - vol.16,p.957-961. 1982;
- MAGDOFF, F. R. AMADON, J. F. **Nitrogen Availability From Sewage Sludge**, J. Environ. Qual. p. 451-455 - 1980;
- MATTIAZZO, M. E.; ANDRADE, C. A. – **Aplicabilidade do Biossólido em Plantas Florestais: IV Lixiviação de N Inorgânico e Toxicidade de Metais Pesados** – Livro: Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto – EMBRAPA -2000
- METCALF & EDDY, **Wastewater Engineering; Treatment Disposal Reuse**, 3 ed. New York, Mc Graw-Hill - 1334p. – 1991;

MATTHEWS,P.J. **Sewage Sludge Disposal in the UK: A New Challenge for the Next Twenty Years** - Water and Environmental Management - vol.6 October,p.551-559. 1992;

NASCIMENTO, E. B., BOTEGA, J. C. **Utilização do Lodo de Esgoto na Propriedade Agrícola**, Projeto Interdisciplinar para Definição de Critérios Sanitários, Agronômicos e Ambientais para a Implantação da reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto - CURITIBA - PR - 1996;

NUVOLARI, A., CORAUCCI FILHO, B., FADINI, P. S., **Estudos Para Orientar o Aproveitamento de um Lodo Oriundo de um Valo de Oxidação na Melhoria de um Solo**. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais 19º ABES, Foz de Iguaçu, PR, comunicação eletrônica,1997;

OLIVEIRA, F. C., MATTIAZZO, M. E. **Lixiviação de Nitrogênio em Solos Tratados com Lodo de Esgoto**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP - Piracicaba - SP - 1995;

PILLAI,S.D., WIDMER,K.W., DOWD,S.E., RICKE,S.C. **Occurrence of Airborne Bacteria and Pathogen Indicators during Land Application of Sewage Sludge** - Applied and Environmental Microbiology - vol.62,nº1.p.196-299. Jan. 1996;

Portaria 36/GM — **Padrão de Potabilidade de Água para Consumo Humano** - Ministério da Saúde – 1990;

PRATT, P. F.; BROADBENT, F. E.; MARTIN, J. P. **Using Organic Wastes as Nitrogen Fertilizer**, p. 10-13 - Califórnia - 1973;

PROJECTUS. Consultoria Ltda. **Relatório resumo - bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí** - Plano HIDROPLAN. Piracicaba, 1997. 203p;

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1997. 96p.

SANIN, F.D., VESIIND, P.A., MARTEL, C.J.. **Pathogen Reduction Capabilities of Freeze/Thaw sludge Conditioning** - Water. Research - vol.28, nº11, p.2393-2398. 1994;

SANTOS, H.F.; TSUTIYA, M.T.; MIKI, M.K.; EBERT, R.; DELATORRE, C.; FURUKAWA, N.A.; MAYOR, M.S.; KAMIYAMA, H.; MACEDO, L.S.; MORAES, I.P.S. **Crítérios para o uso agrícola dos biosólidos de ETes da SABESP**. São Paulo: SABESP, 1997. 35p. (Relatório Interno);

SIVIERO, A. R., **Influência da Aplicação no Solo do Resíduo Líquido da Indústria Cítrica sobre Fungos e Bactérias e Avaliação da sua Toxicidade Sobre *Daphnia similis***, Dissertação de Mestrado - UNESP - Rio Claro - SP – 1995;

SIVIERO, A. R.; CORAUCCI FILHO, B., ALBUQUERQUE, A. F.; DE ANGELIS, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C.; HONÓRIO, E. F. – **Ensaio Respirométrico na Orientação para a Aplicação de Resíduos Industriais no Solo** – 1999;

SOMMERS, L.E.; BARBARICK, K.A. Constraints to land application of sewage sludge - In: RUNGE, E.C.A. (Ed.). **Utilization, treatment, and disposal of waste on land** - Madison: Soil Science Society of America, 1986. p.193-216;

STOLL, U., PARAMESWARAN, K. **Treatment and Disposal of Domestic Sewage Sludge and Nightsoil Sludge for Bangkok** - Water Science and Technology - v.34, nº11, p.209-217. 1996;

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – **Land Application of Biosolids** – Cincinnati, Ohio, p. 139-142, p. 339-404 - 1984;

VINCENT, A. J. e CRITCHLEY, R. F. **A Review of Sewage Sludge Treatment and Disposal in Europe**, In: BRUCE, A. (ed.) **Sewage Sludge Stabilization and Desinfection**. Chichester, V. K. p. 550-580, 1984; e,

WATSON,D.C., SATCHWELL,M., JONES,C.E. **A Study of the Prevalence of Parasitic Helminth Eggs and Cysts in Sewage Sludges Disposed of to Agricultural Land** - **Water Pollution Control** - p. 285-289, 1983.

ABSTRACT

The excess of nutrients as, nitrogen and phosphorus, coming of the sludge, after application in the soil, it can provoke the contamination of the soil and of the groundwater. Due to the need of treatment of the wastewater, the sludge generation tends to increase, being necessary researches to visualize its applications. In this work, six applications of sludge were accomplished, in soil of natural pH (4,5) and in soil of neutralized pH (7,0) for 620 days. In the experience it was used reactors in pilot scale contends volumes of soils of 0,2 m³, and were applied rates of: 0,0; 2,5; 5,0 and 7,5 tds/ha, respectively. They were appraised the forms of nitrogen and of total phosphorus in the infiltrated liquid, to the depth of 0,75 meter. The behavior of the nutrients was compared, in the soils of different pHs and still the efficiency of the biodegradation for both. The obtained results demonstrated that: it happened the accentuated removal of all the investigated parameters; the sludge biodegradation went more efficient for to rate of 7,5 tds/ha, due to larger production of CO₂, that in 42 days it was above 30%, that it is the minimum recommended by the norm, even so it propitiated significant leaching of the nitrate; the soils of different pHs, for the rate of 5,0 tds/ha, behaved in a similar way, in the amount of CO₂ generated and was shown promising for the application of the sludge in the soil, with natural pH, until the fifth application, for presenting concentrations of nitrate lower than 10 mgN/L, (Brazilian Legislation). Applications for larger period, the rate of 2,5 tds/ha is recommended.

Key Words: sludge; nitrogen and phosphorus; biodegradation.

ANEXO A

ANEXO A

Neste anexo foram descritos os métodos analíticos adaptados do Standart Methods for the Examination of Water na Wastewater, para os equipamentos espectrofotômetro DR 2000 e bloco digestor e destilador de nitrogênio, ilustrados na figura 4.7.

METODOLOGIA

1 - NITROGÊNIO AMONIACALEM N; (adaptado 4500-NH₃.B).

A amostra é tamponada em pH 9,5 com tampão de borato para reduzir a hidrólise de cianetos e de compostos orgânicos de nitrogênio, e permitir a evolução total de amônia durante a destilação. Em seguida é destilada e recolhida em ácido bórico. A amônia no destilado é determinada pelo espectrofotômetro, após nesslerização.

Coleta de Amostras:

Idem metodologia convencional

Material Necessário para o Ensaio:

a) equipamento

- medidor de pH;
- espectrofotômetro (420 nm); e,
- conjunto para destilação de nitrogênio para tubo micro/macro.

b) vidrarias

- tubo micro/macro;
- balão volumétrico de 100 mL;
- balão volumétrico de 250 mL;
- micropipetas de 0,1 - 0,5 - 1,0mL;
- pipeta graduada de 10mL;
- proveta de 50mL;
- erlenmeyer de 250mL;
- pérolas de vidro; e,
- etc.

c) reagentes

- tampão de borato: adicionar 88mL de solução NaOH 0,1N a 500mL da solução de borato de sódio 0,025M (5g de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ou 9,5g de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ a 1000mL de água destilada) e diluir a 1000mL de água destilada;
- arsenito de sódio: solução decolorizante: dissolver 1g de arsenito de sódio (NaAsO_2) a 1000mL de água destilada;
- hidróxido de sódio 0,1N: dissolver 0,4g de NaOH em água destilada e completar a 1000mL;
- hidróxido de sódio 1N: dissolver 4g de NaOH em água destilada e completar a 1000mL;
- Hidróxido de sódio 6N: dissolver 240g de NaOH em água destilada e completar a 1000mL;
- ácido sulfúrico 0,1N: diluir 2,8mL de H_2SO_4 em água destilada e completar a 1000mL;
- ácido bórico (H_3BO_3): dissolver 20g em 1000mL d água destilada.;
- reagente nessler (solução desenvolvedora de cor):
 I - iodeto de potássio (KI): dissolver 61,75g em 200mL de água destilada;
 II - hidróxido de potássio (KOH): dissolver 180g em 250mL de água destilada;

III - solução saturada de cloreto mercúrio (HgCl_2): $\cong 30\text{g}$ para 400mL de água destilada;

IV - iodeto de potássio: pesar separado 0,75g;

Adicionar (III) em (I) vagarosamente e com agitação até a precipitação do HgI_2 vermelho intenso. Dissolver o precipitado com (IV). Adicionar (II) quando frio e completar para 1000mL com água. Guardar em frasco âmbar.;

- cloreto de amônia (NH_4Cl): solução estoque: depois de seco a 105°C por duas horas, dissolver 3,819g e completar para 1000mL de água destilada; e,
- solução Padrão de Amônia: diluir 10mL da solução estoque e completar para 1000mL de água destilada.

A TABELA A.1 apresenta um exemplo de curva-padrão para a determinação do Nitrogênio Amoniacal.

TABELA A.1 – Exemplo de curva de calibração do nitrogênio amoniacal em N.

Concentração (mgN/L)	Volume da Solução Padrão a completar para 100mL de água destilada	*Absorbância
0,0	0,0	0,000
0,3	3,0	0,036
0,5	5,0	0,080
1,0	10,0	0,193
3,0	30,0	0,704
6,0	60,0	1,488
10,0	100,0	2,826

* a obter no espectrofotômetro. A cada troca de reagente ou qualquer mudança de procedimento, nova curva deverá ser inserida. Se a concentração de Nitrogênio Amoniacal da amostra a ser analisada for maior do que 10,0 mgN/L, deverá haver diluição prévia.

Procedimento Analítico:

- ajustar o pH da amostra em para 7,0;
- colocar 100mL da amostra no tubo macro contendo 3 pérolas de vidro;
- remover o cloro se necessário;
- adicionar 5mL de tampão de borato e ajustar o pH para 9,5;
- acoplar o tubo macro ao conjunto de destilação de nitrogênio, fazer a destilação recebendo o destilado num erlenmeyer de 250mL, contendo

50mL da solução de ácido bórico. A temperatura do condensador, do conjunto, não deverá ultrapassar 29°C. A ponta do condensador deverá estar imersa na solução de ácido bórico para evitar a perda de amônia;

- Interromper a destilação quando faltarem aproximadamente 10mL para completar o volume de 250mL;
- transferir o destilado para um balão volumétrico de 250mL e completar o volume com água destilada;
- agitar o balão, tomar 50mL, neutralizar o pH e adicionar 10mL do reagente nessler;
- aguardar 30 minutos e fazer a leitura no espectrofotômetro em 420nm.

A FIGURA A.1 apresenta o gráfico e a regressão linear para a determinação do Nitrogênio Amoniacal.

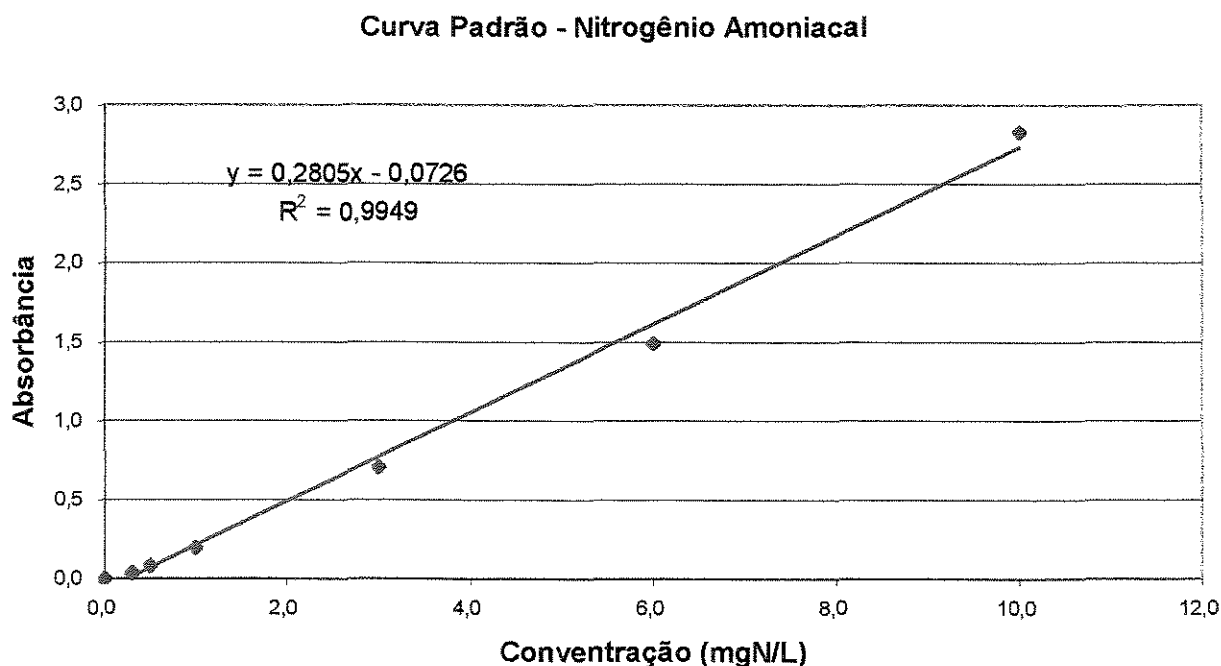


FIGURA A.1 – CURVA DE CALIBRAÇÃO DE NITROGÊNIO AMONICAL.

2- NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL; (adaptado 4500-ORG.B).

O nitrogênio da amostra é convertido em sulfato de amônio, sem prévia remoção da amônia, por digestão (bloco digestor Kjeldahl) com ácido sulfúrico, sulfato de potássio e sulfato mercúrio. O material é em seguida tratado com tiosulfato de sódio em meio alcalino e a amônia restante é destilada (conjunto de destilação de nitrogênio, tubo micro/macro) e recolhida em ácido bórico, tendo sua concentração determinada em espectrofotômetro através de curva-padrão.

Coleta de Amostra:

Idem metodologia convencional

Material Necessário para o Ensaio:

a) equipamento

- medidor de pH;
- espectrofotômetro (420nm);
- balança analítica;
- bloco digestor Kjeldahl com controlador de temperatura para tubo micro/macro; e,
- conjunto para destilação de nitrogênio para tubo micro/macro.

b) vidrarias

- tubo micro/macro;
- balão volumétrico de 100mL;
- balão volumétrico de 250mL;
- micropipetas de 0,1 - 0,5 - 1,0mL;
- pipeta graduada de 10mL;
- proveta de 50mL;
- erlenmeyer de 250mL;
- pérolas de vidro, etc.

c) reagentes

- ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4);
- sulfato de potássio (K_2SO_4);
- ácido sulfúrico 6N:
- sulfato mercúrio (solução): dissolver 2g de óxido de mercúrio vermelho (HgO) em 25mL de ácido sulfúrico 6N.;
- fenolftaleína:
- hidróxido-tiosulfato (solução): dissolver 500g de hidróxido de sódio (NaOH) e 25g de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) em 1000mL de água destilada. Geralmente usa-se 5mL para cada 1mL de ácido sulfúrico usado na digestão;
- ácido bórico (H_3BO_3): dissolver 20g em 1000mL d água destilada.;
- Hidróxido de sódio 6N: dissolver 240g de NaOH em água destilada e completar a 1000mL;
- reagente nessler (solução desenvolvedora de cor):
- I - iodeto de potássio (KI): dissolver 61,75g em 200mL de água destilada;
- II - hidróxido de potássio (KOH): dissolver 180g em 250mL de água destilada;
- III - solução saturada de cloreto mercúrio (HgCl_2): \cong 30g para 400mL de água destilada;
- IV - iodeto de potássio: pesar separado 0,75g;
- Adicionar (III) em (I) vagarosamente e com agitação até a precipitação do HgI_2 vermelho intenso. Dissolver o precipitado com (IV). Adicionar (II) quando frio e completar para 1000mL com água. Guardar em frasco âmbar.;*
- cloreto de amônia (NH_4Cl): solução estoque: depois de seco a 105°C por duas horas, dissolver 3,819g e completar para 1000mL de água destilada; e,
- solução Padrão de Amônia: diluir 10mL da solução estoque e completar para 1000mL de água destilada.

A TABELA A.2 apresenta um exemplo de curva-padrão para a determinação de Nitrogênio Total Kjeldahl.

TABELA A.2 – Exemplo de curva de calibração do nitrogênio total kjeldahl em N.

Concentração (mg/L)	Volume da Solução Padrão a completar para 100mL de água destilada	*Absorbância
0,0	0,0	0,000
0,3	3,0	0,112
1,0	10,0	0,169
3,0	30,0	0,477
6,0	60,0	0,948

* a obter no espectrofotômetro. A cada troca de reagente ou qualquer mudança de procedimento, nova curva deverá ser inserida. Se a concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl da amostra a ser analisada for maior do que 6,0 mg/L, deverá haver diluição prévia.

Procedimento Analítico:

- ajustar o pH da amostra em para 7,0;
- colocar 100mL da amostra no tubo macro contendo 3 pérolas de vidro;
- adicionar 2mL de ácido sulfúrico concentrado, 1,34g de sulfato de potássio e 0,3mL de solução de sulfato mercúrio;
- misturar, colocar o tubo no bloco digestor Kjeldahl e aquecer, aumentando a temperatura do bloco gradativamente até a formação de fumos brancos (a amostra deve ficar incolor ou amarelada e a temperatura chega até 350°C). *A temperatura deverá ser aumentada vagarosamente para evitar espirros de amostra para fora do tubo ou a quebra do mesmo;*
- digerir a amostra por mais 30 minutos. *Tomar o cuidado para não deixar secar a amostra no tubo;*
- deixar esfriar, transferir a amostra digerida para um balão volumétrico de 100mL e completar com água destilada;
- adicionar 3 gotas de fenolftaleína e agitar o balão;
- voltar a amostra ao tubo macro já contendo 10mL do reagente hidróxido-tiosulfato e se a solução não ficar rósea acrescentar mais hidróxido-tiosulfato;
- acoplar o tubo macro ao conjunto de destilação de nitrogênio, fazer a destilação recebendo portanto, o destilado num erlenmeyer de 250mL,

contendo 50mL da solução de ácido bórico. A temperatura do condensador, do conjunto, não deverá ultrapassar 29°C. A ponta do condensador deverá estar imersa na solução de ácido bórico para evitar a perda de amônia;

- Interromper a destilação quando faltarem aproximadamente 10mL para completar o volume de 250mL;
- transferir o destilado para um balão volumétrico de 250mL e completar o volume com água destilada;
- agitar o balão, tomar 50mL, neutralizar o pH e adicionar 2mL do reagente nessler;
- aguardar 30 minutos e fazer a leitura no espectrofotômetro em 420nm.

A FIGURA A.2 apresenta o gráfico e a regressão linear para a determinação do Nitrogênio Amoniacal.

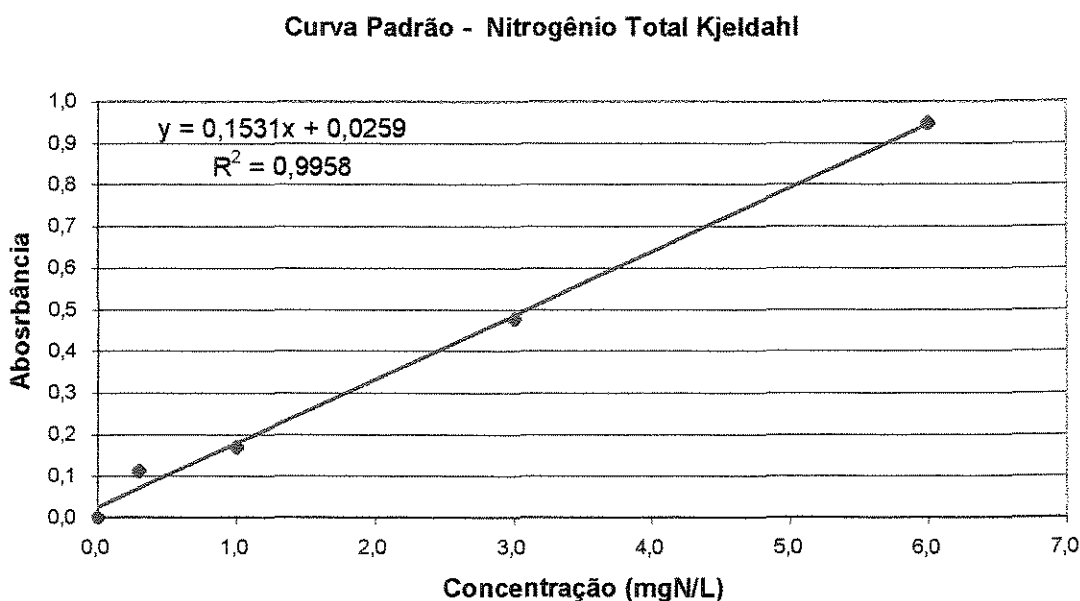


FIGURA A.2 – CURVA DE CALIBRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL.

3 - FÓSFORO TOTAL; (adaptado 4500-P.E).

O fósforo nas suas formas aparece na águas naturais e em efluentes domésticos e industriais, oriundo de várias fontes:

Nos sistemas de abastecimento os polifosfatos podem ser empregados como controladores de corrosão, para estabilizar o carbonato de cálcio. Nas instalações industriais são empregados para evitar incrustações em caldeiras. Os esgotos domésticos são naturalmente ricos em fósforo e a concentração vem aumentando, dado ao uso crescente de detergentes sintéticos, que contém fósforo. Os organismos envolvidos nos processos biológicos de tratamento de despejos domésticos e industriais requerem fósforo para a sua reprodução e síntese.

Esgotos domésticos contém fósforo em quantidade suficiente para a mineralização de matéria orgânica, tanto que aparecem em quantidades razoáveis. Em efluentes industriais, pode ser necessário adicionar fosfatos para tratamento biológico. Fosfatos acumulam-se ainda em sedimentos de fundo de águas e em lodos biológicos.

Coleta de Amostras:

Idem metodologia convencional

Material Necessário para o Ensaio:

a) equipamento

- espectrofotômetro (880nm);
- bloco digestor com controlador de temperatura (105°C); o mesmo do NTK; e,
- balança analítica.

b) vidrarias

- tubo macro;
- pipeta graduada de 10mL;
- erlenmeyer de 250mL;
- balão volumétrico de 100mL
- bureta de 50mL;

- micropipetas de 0,1 - 0,5 e 1,0mL;
- espátula;
- proveta de 50mL;
- pipeta volumétrica de 50mL;
- pérolas de vidro; e,
- etc.

c) Reagentes e Soluções:

- ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4);
- ácido nítrico concentrado (HNO_3);
- fenolftaleína;
- hidróxido de sódio 6N: dissolver 240g de NaOH em água destilada e completar para 1000mL;
- tartarato de antimônio e Potássio: diluir 1,3715 g para 500mL de água destilada (A);
- ácido sulfúrico 5N: diluir 70mL de H_2SO_4 concentrado para 500mL de água destilada (B);
- mobilidato de amônio: diluir 20g para 500mL de água destilada (C); e,
- ácido ascórbico 0,1M: dissolver 1,76g para 100mL de água destilada (D).
- reagente misto (desenvolvedor de cor): misturar 50mL de (B), mais 5mL de (A), mais 15mL de (C) e mais 30mL de (D);
- Solução Padrão: Parte de uma solução de KH_2PO_4 diluída de forma que 1,0 mL contenha 50 μg de P.

A TABELA A.3 apresenta um exemplo de curva-padrão para a determinação de Fósforo Total.

TABELA A.3 – Exemplo de curva de calibração de fósforo total.

Concentração (mg/L)	Volume da Solução Padrão a completar com de água destilada	*Absorbância
0,0	0,0 / 100mL	0,000
0,05	0,5 / 500mL	0,032
0,125	0,5 / 200mL	0,084
0,25	1,0 / 200mL	0,174
0,75	3,0 / 200mL	0,527
1,5	6,0 / 200mL	1,037

* a obter no espectrofotômetro. A cada troca de reagente ou qualquer mudança de procedimento, nova curva deverá ser inserida. Se a concentração de fósforo total da amostra a ser analisada for maior do que 1,5.mg/L, deverá haver diluição prévia.

Procedimento Analítico:

Observação: Toda vidraria a ser utilizada para a análise deverá ser lavada com ácido clorídrico diluído (1/10).

- pipetar 50mL da amostra;
- adicionar no tubo macro já contendo 3 pérolas de vidro;
- adicionar 1mL de ácido sulfúrico concentrado e 5mL de ácido nítrico concentrado;
- colocar o tubo no bloco digestor e digerir por 30 minutos a 105°C. Se o bloco estiver frio, ligá-lo a 105°C e deixar o tubo por 45 minutos.
- esfriar o tubo, transferir a amostra para um erlenmeyer de 250mL e adicionar 3 gotas de fenolftaleína;
- adicionar a amostra com auxílio da espátula algumas pedras de NaOH, agitar e esperar a dissolver;
- terminar a neutralização com NaOH 6N;
- transferir a amostra neutralizada para um balão volumétrico de 100mL;
- pipetar 50mL, adicionar 4mL do reagente misto. Fazer a leitura no espectrofotômetro à 880nm entre 10 e 30 minutos.

A FIGURA A.3 apresenta o gráfico e a regressão linear para a determinação do Fósforo Total.

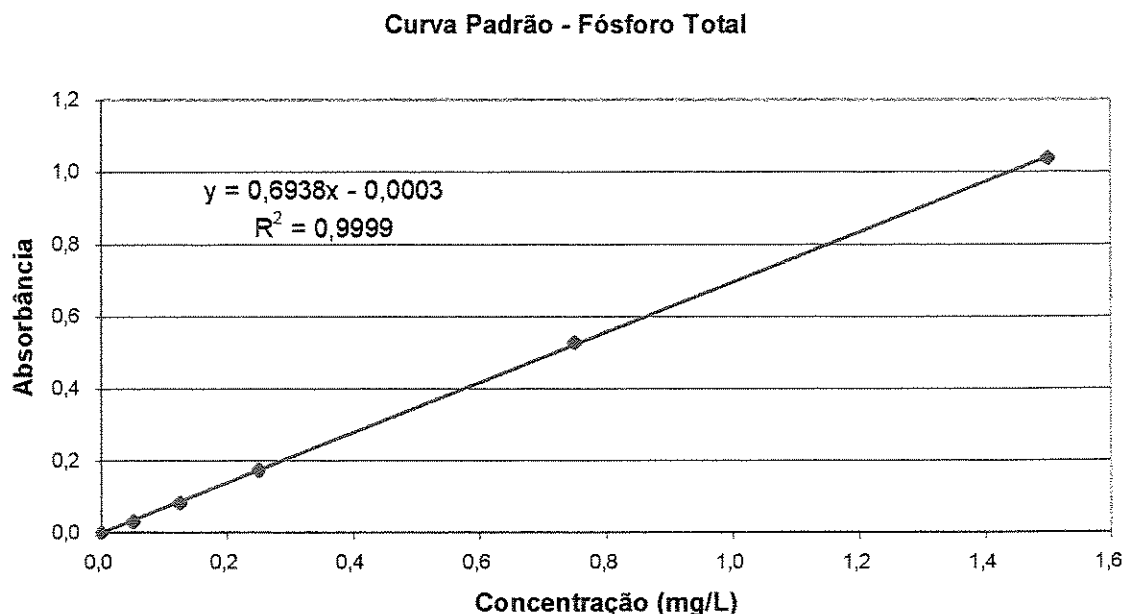


FIGURA A.3 – CURVA DE CALIBRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL

4 - NITROGÊNIO NITRATO; (adaptado 4500-NO₃-E).

A determinação do nitrogênio Nitrato será realizada pelo método do ácido fenoldissulfônico.

Dissolver 721,8 mg de KNO₃ em água destilada e diluir para 1000 mL.

Solução Padrão: Da solução anterior, diluir 20 mL para 1000 mL de água destilada.

A TABELA A.4 apresenta um exemplo de curva-padrão para a determinação de Nitrogênio Nitrato.

TABELA A.4 – Exemplo de curva calibração de nitrogênio nitrato em N.

Concentração (mgN/L)	Volume da Solução Padrão a completar a 100mL com de água destilada	*Absorbância
0,0	0,0	0,000
0,05	2,5	0,062
0,1	5,0	0,114
0,3	15,0	0,317
0,5	25,0	0,539
0,8	40,0	0,825
1,0	50,0	0,989

* a obter no espectrofotômetro. A cada troca de reagente ou qualquer mudança de procedimento, nova curva deverá ser inserida. Se a concentração de Nitrogênio Nitrato da amostra a ser analisada for maior do que 1,0 mgN/L, deverá haver diluição prévia.

A FIGURA A.4 apresenta o gráfico e a regressão linear para a determinação do Nitrogênio Nitrato (dados contidos na tabela 4.0).

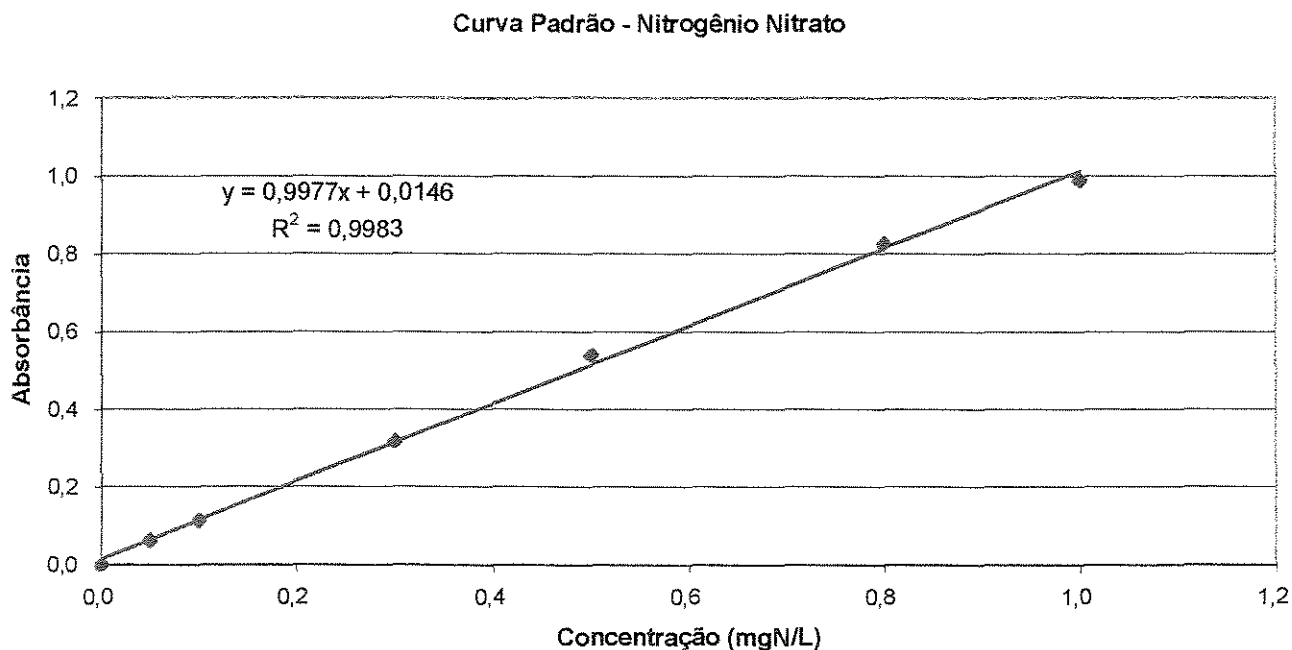


FIGURA A.4 – CURVA DE CALIBRAÇÃO DE NITROGÊNIO NITRATO

5 - NITROGÊNIO NITRITO; (adaptado 4500-NO₂-B).

A determinação do Nitrogênio Nitrito será realizada pelo método da Sulfanilamida e N-(1-Naftil) Etilenodiamina.

Preparar uma solução Padrão com o reagente NaNO₂ de tal maneira que 1 mL contenha 0,500 µg/L NO₂ em N.

A TABELA A.5 apresenta um exemplo de curva-padrão para a determinação de Nitrogênio Nitrito.

TABELA A.5 – Exemplo de curva de calibração de nitrogênio nitrito em N.

Concentração (mg/L)	Volume da Solução Padrão a completar a 100mL com de água destilada	*Absorbância
0,0	0,0	0,000
0,01	2,0	0,085
0,03	6,0	0,255
0,05	10,0	0,440
0,07	14,0	0,608
0,09	18,0	0,776
0,1	20,0	0,871

* a obter no espectrofotômetro. A cada troca de reagente ou qualquer mudança de procedimento, nova curva deverá ser inserida. Se a concentração de Nitrogênio Nitrito da amostra a ser analisada for maior do que 0,1 mgN/L, deverá haver diluição prévia.

A FIGURA A.5 mostra o gráfico e a regressão linear para a determinação do Nitrogênio Nitrito.

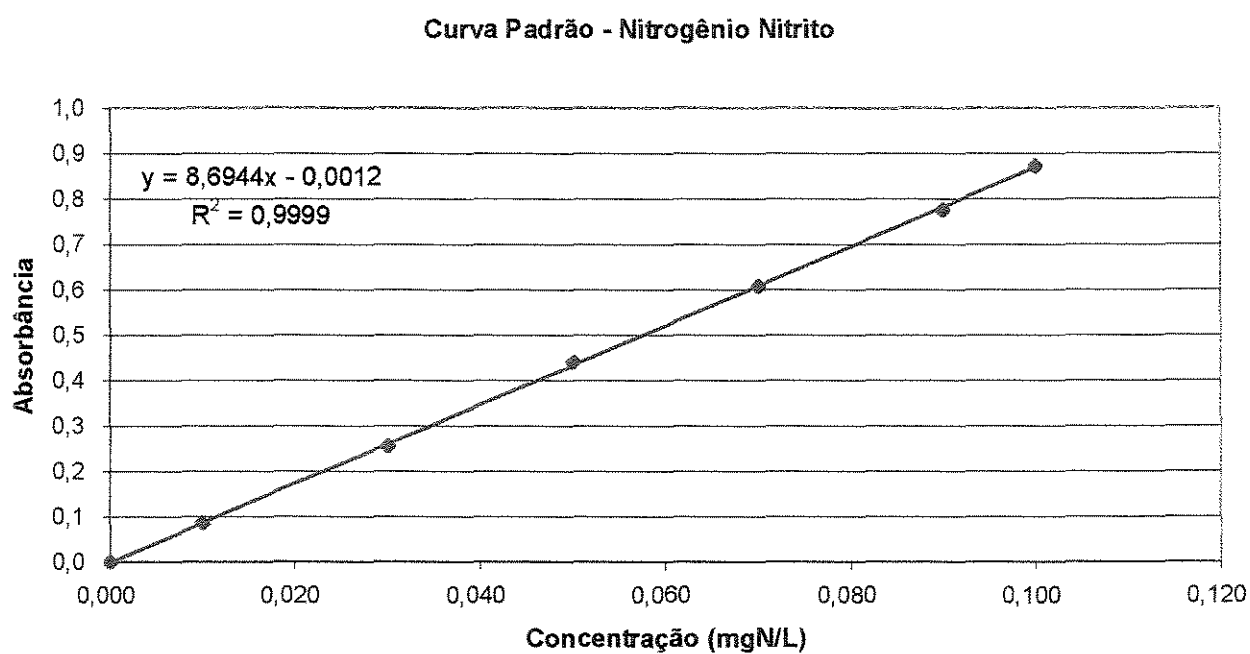


FIGURA A.5 – CURVA DE CALIBRAÇÃO DE NITROGÊNIO NITRITO.

ANEXO B

Neste anexo são apresentados a tabela e os gráficos referentes ao ensaio de biodegradação do lodo.

A TABELA B.1 mostra os dados de eficiência da biodegradação do período.

TABELA B.1 – Eficiência (%) da biodegradação do lodo (solo de pH natural e solo de pH neutralizado)

Taxa de Aplicação de lodo (tds/ha)	Dias Acumulados				
	43	100	240	425	620
2,5 solo pH natural	29,2	37,8	34,2	28,1	19,8
5,0 solo pH natural	26,6	33,4	32,6	19,8	14,3
5,0 solo pH neutralizado	25,0	33,5	31,9	19,7	15,9
7,5 solo pH natural	39,1	50,5	48,0	37,4	22,1

Calculado pela norma da ABNT

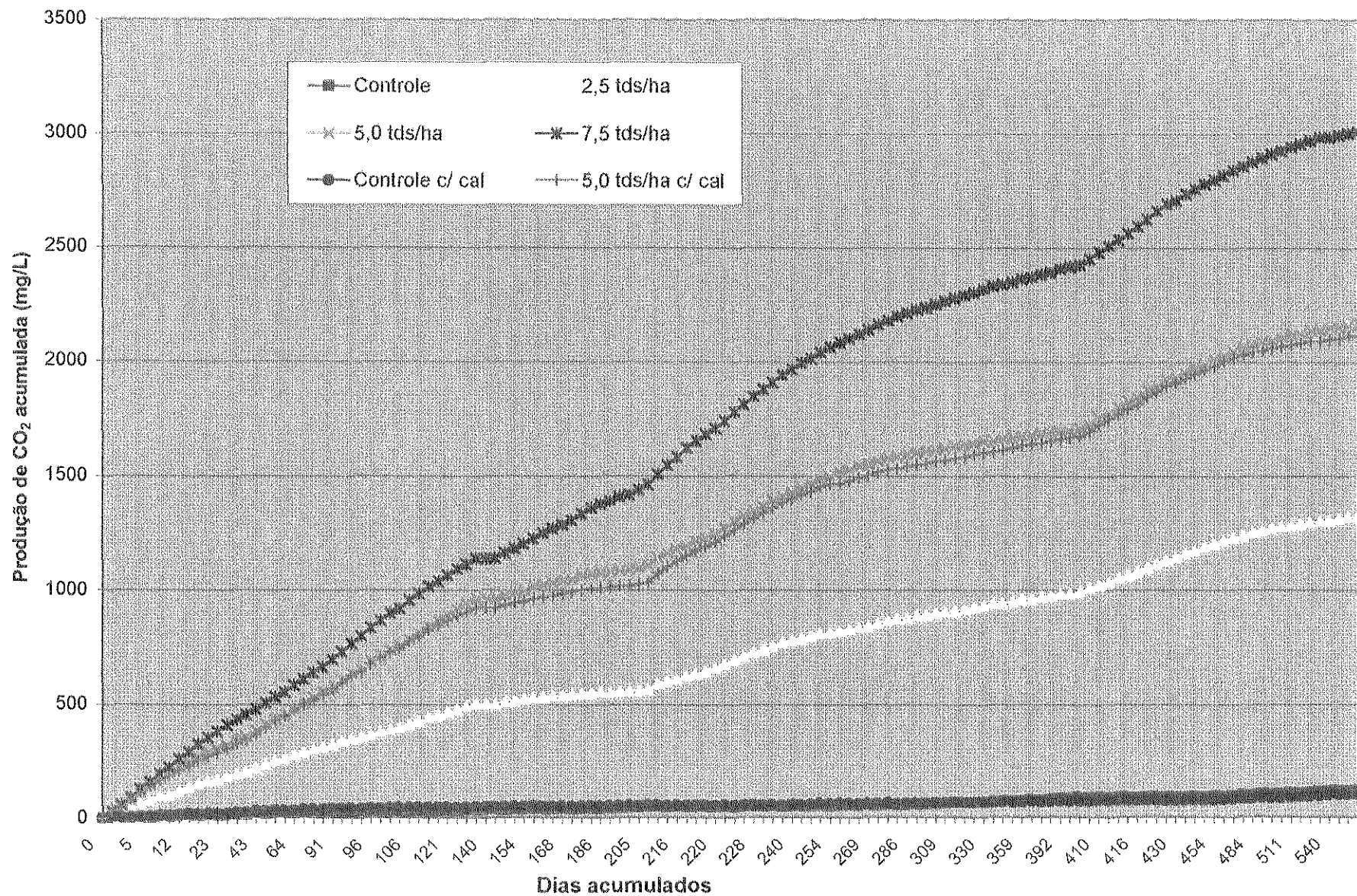


Figura B.1 - Produção de CO₂ Acumulada no Período de 616 dias

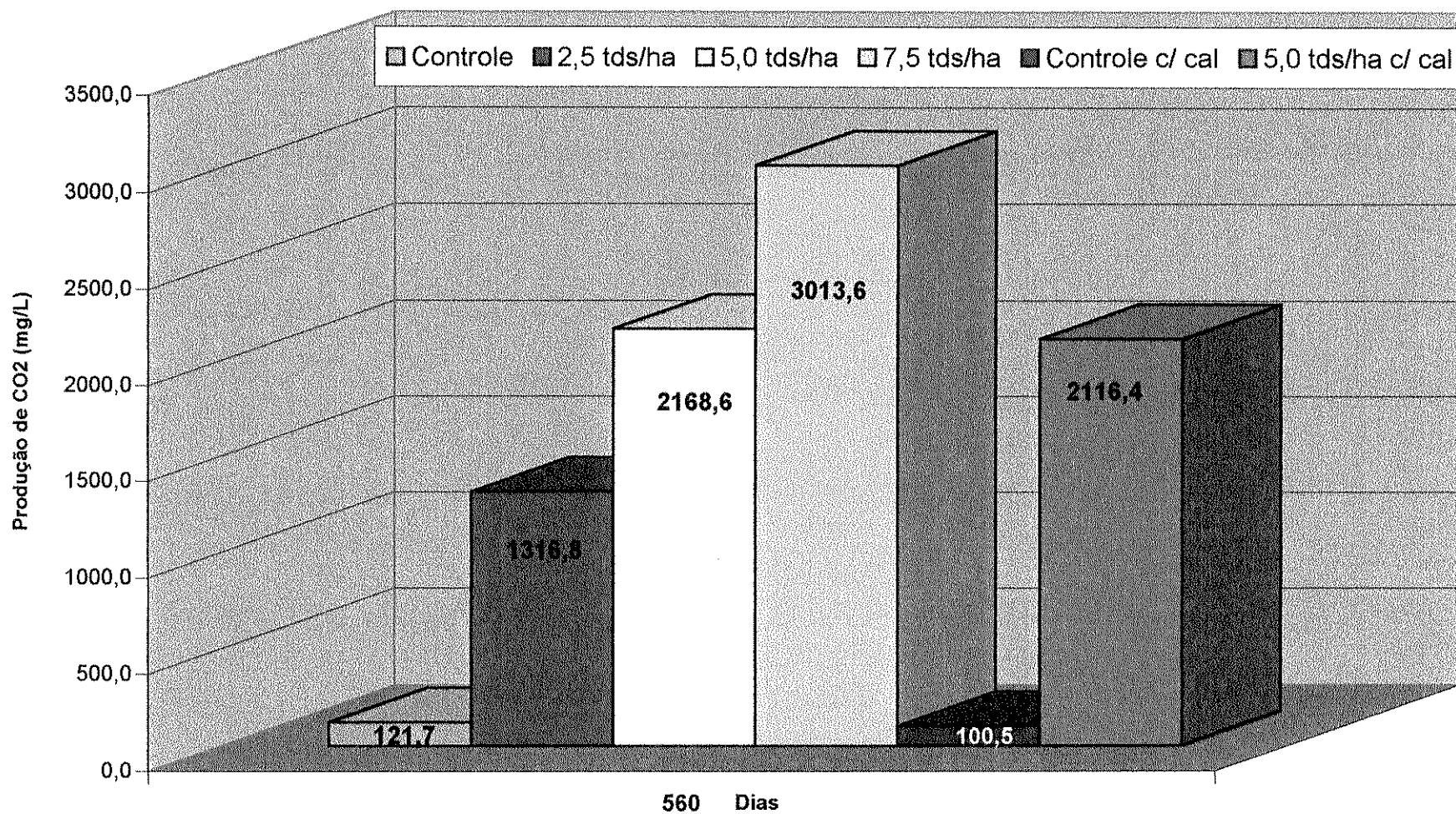


FIGURA B.2 - Produção de CO₂ Acumulada no Período de 616 Dias

ANEXO C

Neste anexo foram apresentadas as tabelas com os dados de precipitação pluviométrica do período da pesquisa.

TABELA C1 – Dados de precipitação pluviométrica do ano de 1997.

Latitude Sul: 23°33'		CENTRO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - CESET										Cod. DNAEE: 02247210	
Longitude Oeste: 47°26'		TOTAIS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO (mm)										Ano: 1997	
Altitude: 635,90 m		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1					18,00						8,5	22,8	
2											1,7		4,9
3			34,40		0,40								7,1
4				1,10			7,80					0,4	4,3
5							39,60						11,2
6				1,90			27,20		0,40	0,70		18,3	
7	3,50	1,30	0,50								26,8	1,6	
8												1,0	25,5
9	73,40			23,40									
10				21,70									
11	9,90	2,80								0,30			
12	7,40						12,00					1,0	
13	1,00												2,1
14		15,40								23,40		1,4	38,2
15	3,10						22,70			7,80		13,0	0,7
16	10,70	1,10				0,70	30,60				1,1	3,5	
17		24,70									8,1	25,2	
18	13,60	5,30			3,30							30,2	
19											0,2	63,0	0,5
20	31,00						2,80				2,1		
21	9,60				5,70		24,90	1,80		35,40	12,7		8,5
22	5,20					0,70		17,80				52,6	
23	12,00					6,20							
24	27,20	2,00							3,50			19,2	68,7
25	25,50					58,00				6,50		8,9	
26					4,80					1,80	4,7		2,8
27	19,70										28,3	26,1	
28	29,60					2,6						9,9	
29	39,60					4,20						0,4	12,7
30										4,90			
31	29,50												27,6
TOTAL MENSAL	351,50	87,00	48,60	32,20	72,40	167,60	19,60	3,90	80,80	94,20	298,50	214,80	
TOTAL ANUAL	1.471,10												

FONTE: CESET/UNICAMP

TABELA C2 – Dados de precipitação pluviométrica do ano de 1998.

Latitude Sul: 23°33' Longitude Oeste: 47°26' Altitude: 635,90 m		CENTRO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - CESET TOTAIS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO (mm)									Cod. DNAEE: 02247210 Ano: 1998	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1		2,80									1,40	
2		3,90		2,00								
3			15,70					5,40				
4			11,70		9,90					34,00		
5		2,12	41,20		17,40			12,70	2,80	0,70		43,50
6		4,50						2,60		13,20		60,90
7												
8	4,40	22,70							14,90	18,40		
9	19,80		23,10	6,70			6,50		15,70	16,30		
10	2,80			1,40				6,10				30,00
11		21,00									5,00	15,60
12		13,01								2,10		8,20
13	4,30	2,80										
14	3,80	15,60									13,30	14,20
15		9,90	3,00									6,10
16	2,30	39,40			1,30					3,40		
17	1,40	5,10			5,90					29,70		0,70
18	25,50			6,80						2,80		
19	13,50	0,30		2,80		10,90			58,20	0,50		
20						2,40	4,70		0,60			
21		52,40	1,70						6,40			
22			8,50									7,10
23			8,20									28,30
24												
25	50,90	31,20				6,10						7,80
26		16,20								23,40		
27		4,13			20,80					6,40	11,20	7,10
28		17,40		25,60					17,00	5,10	15,60	5,10
29	27,10		30,00	9,20	4,50				4,70			
30			7,60	8,40	33,1				3,50			
31										5,00		
TOTAL MENSAL	155,80	264,46	154,60	60,90	92,90	19,40	11,20	26,80	123,80	161,00	46,50	234,60
TOTAL ANUAL	1.351,96											

FONTE: CESET/UNICAMP

TABELA C3 – Dados de precipitação pluviométrica do ano de 1999.

Latitude Sul: 23°33' Longitude Oeste: 47°26' Altitude: 635,90 m		CENTRO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - CESET									Cod. DNAEE: 02247210 Ano: 1999	
		TOTAIS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO (mm)										
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1		29,7										
2	8,5		10,2									
3	2,8	0,1										2,40
4	33,9			1,0								21,40
5		4,4									1,70	14,20
6	54,2	1,0									2,70	
7	87,1	9,9			35,1	2,4						2,40
8	66,0	6,1								12,60		2,80
9	5,7								25,6		1,70	2,10
10	1,4	13,6							18,8		3,50	
11		3,8	68,0									30,20
12	12,5	39,9	34,6		2,0				12,7		3,00	11,30
13	3,8					8,5			13,3		19,80	2,40
14	3,8	1,4		0,6								39,90
15	100,0	2,8		27,6		17,0			2,8			0,60
16	17,0	1,7		26,8					6,8	0,60		1,60
17	7,8			6,1						5,70		
18										7,80		
19			0,8									
20						21,2						
21		4,9				31,4					3,30	
22		24,2										
23	4,7	2,9	1,7								8,80	12,30
24			38,8								11,00	
25	73,2	8,8									0,60	8,50
26	0,6										0,70	4,30
27	67,3	2,1								1,00	3,90	
28		5,7								0,70		
29			6,2									
30	9,1		22,0		10,2							
31	22,7											
TOTAL MENSAL	582,1	163,0	182,3	62,1	47,3	80,5	0,0	0,0	80,0	28,4	60,7	156,4
TOTAL ANUAL	1.442,8											

FONTE: CESET/UNICAMP