

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

AVALIAÇÃO SANITÁRIA E AMBIENTAL DE LODOS DE ETES

ANA BEATRIS SOUZA DE DEUS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Membros da Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Sérgio João de Luca

Profa. Dra. Maria Tereza Amazarray

Prof. Dr. Luiz Olinto Monteggia

Porto Alegre, 17 Dezembro de 1992

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Sérgio João de Luca da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Sérgio João de Luca, pela oportunidade de realização deste trabalho, e pela orientação.

À professora Carmen Maria Barros Castro, pela colaboração e incentivo constante.

Ao professor Carlos Nobuyoshi Ide, pelas sugestões, idéias, críticas e apoio tornando este trabalho adequado aos objetivos visados.

À FEPAM, pela cessão dos dados iniciais para a seleção das indústrias representativas no estado do Rio Grande do Sul.

À CORSAN, DMAE e à Indústria, que gentilmente abriram suas portas para a coleta do lodo de suas ETEs.

Às bibliotecárias, pessoal do laboratório e a Dona Ligia.

Ao amigo Eduardo Martins pela colaboração.

Ao Luis Carlos Brusa pelo carinho e dedicação.

Finalmente, meu sincero e terno agradecimento aos meus pais e irmãos, pelo carinho, apoio e incentivo.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VI
LISTA DE TABELAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS .....	XIII
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1 Características e composição dos lodos .....	4
3.2 Produção de lodo .....	7
3.3 Redução de volume .....	8
3.4 Qualidade dos lodos .....	11
3.4.1 <u>Nutrientes e metais nos lodos</u> .....	11
3.4.1.1 Influência ambiental dos metais e nutrientes .....	14
3.4.2 <u>Organismos patogênicos nos lodos</u> .....	20
3.4.3 <u>Pesticidas nos lodos</u> .....	25
3.5 Processos de tratamento .....	26
3.5.1 <u>Considerações gerais</u> .....	26
3.5.2 <u>Centralização e regionalização do tratamento do lodo</u> .....	31
3.5.3 <u>Gerenciamento de lodos</u> .....	32
3.5.3.1 Considerações gerais .....	32
3.5.3.2 Gerenciamento dos lodos (resíduos sólidos) - a experiência brasileira .....	33
3.5.3.3 Legislação .....	33
3.6 A disposição do lodo no solo .....	35
3.6.1 <u>Considerações gerais</u> .....	35
3.6.2 <u>Recomendações para disposição de lodo no solo</u> .....	40
3.6.3 <u>Experiências em alguns países</u> .....	47
3.7 Diagnóstico da situação no estado do Rio Grande do Sul .....	49
3.7.1 <u>Indústrias mais significativas geradoras de lodos</u> ..	51

4	METODOLOGIA .....	52
4.1	Considerações gerais .....	52
4.2	Levantamento preliminar de dados técnicos .....	52
4.2.1	<u>Planilha eletrônica do tipo Excel</u> .....	55
4.3	Descrição das estações de tratamento .....	55
4.3.1	<u>ETE DM</u> .....	55
4.3.2	<u>ETE CS</u> .....	57
4.3.3	<u>ETE IN</u> .....	58
4.4	Coleta e preservação das amostras de lodo .....	59
4.5	Análise das amostras .....	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES “.....	64
5.1	Dados obtidos junto à FEPAM/RS .....	64
5.1.1	<u>Análise comparativa com padrões da NBR - 10.004 -</u> <u>Resíduos sólidos: classificação</u> .....	66
5.2	Análise dos lodos coletados .....	69
5.2.1	<u>Verificação da precisão das técnicas analíticas</u> <u>utilizadas</u> .....	69
5.2.2	<u>Qualidade dos lodos amostrados</u> .....	80
5.2.3	<u>Análise comparativa com dados da revisão</u> <u>bibliográfica</u> .....	86
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	90
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93
8	ANEXOS .....	106

## RESUMO

Na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) no estado do Rio Grande do Sul, o tratamento e o destino de subprodutos de tratamento de esgotos domésticos e industriais tais como o lodo, tem-se tornado um grave problema, devido à crescente dificuldade de se encontrar locais seguros e adequados para sua disposição final.

Neste trabalho são apresentados:

1) o levantamento das características quali-quantitativas dos lodos de ETEs cadastradas e monitoradas pela FEPAM no estado do Rio Grande do Sul;

2) avaliação de ramos industriais que mais produzem lodos, de acordo com os dados obtidos na FEPAM;

3) adequação e estabelecimento de metodologia padrão para análises físicas, químicas e biológicas de caracterização de lodo e biossólidos de origem doméstica e industrial; e

4) organização dos dados em planilha eletrônica para melhor eficiência na análise dos resultados.

## ABSTRACT

Treatment and disposal of domestic and industrial sewage treatment by-products such as sludge have become a serious problem in the Metropolitan Area of Porto Alegre (RMPA-Região Metropolitana de Porto Alegre), state of Rio Grande do sul, Brazil, due to the increasing difficulty in finding safe, adequate sites for final disposal.

In this paper are presented:

- 1) the survey of qualitative and quantitative characteristics of sludges in Sewage Treatment Plants which have been listed and monitored by FEPAM (the state department of the environment), in Rio Grande do Sul;
- 2) the assessment of which industries produce the greatest amount of sludge according to data obtained from FEPAM;
- 3) the standard methodology to be adapted and introduced for physical, chemical and biological assays of the characteristics of sludges and biological solids from domestic and industrial sources; and
- 4) the arrangement of data in an electronic spreadsheet for the greatest efficiency in analysing the results.

## LISTA DE TABELAS

3.1	Características de lodos gerados em processo convencional .....	5
3.2	Características físico-químicas do lodo doméstico bruto e digerido .....	6
3.3	Composição dos lodos de curtimento ao cromo e tanino em matéria seca .....	7
3.4	Eficiência dos processos de adensamento e secagem na redução do volume e da umidade .....	10
3.5	Nutrientes presentes na fase líquida do lodo doméstico digerido .....	12
3.6	Potencial tóxico dos metais pesados para animais e plantas .....	13
3.7	Concentrações de metais comumente encontrados em lodos domésticos e industriais .....	14
3.8	Persistência de organismos patogênicos no solo .....	21
3.9	Efeitos da aplicação do lodo de Denver-EUA na sobrevivência de quatro grupos de organismos (cinco semanas após a aplicação do lodo).....	23
3.10	Temperatura e tempo para destruição dos patogênicos e parasitas mais comuns .....	24
3.11	NMP de patogênicos associados aos lodos .....	24

3.12	NMP de bactérias ou ovos viáveis de helmintos por 100 g de matéria seca .....	25
3.13	Concentrações de compostos organoclorados no lodo ...	25
3.14	Conteúdo médio de nutrientes presentes no lixo e no lodo .....	28
3.15	Processos de tratamento empregados em efluentes e lodos de curtumes no estado do Rio Grande do Sul ....	30
3.16	Metais encontrados no lodo e as quantidades máximas de aplicação em solos agrícolas segundo a CTC .....	36
3.17	Taxa de aplicação de lodo doméstico digerido no solo.....	38
3.18	Concentrações de elementos tóxicos no lodo e a taxa máxima de aplicação no solo .....	41
3.19	Características dos lodos e locais para a sua aplicação .....	42
3.20	Concentrações máximas de metais pesados no lodo considerado aceitável para a aplicação em solos agrícolas (mg/kg-matéria seca).....	44
3.21	Quantidades máximas de metais para a aplicação no solo .....	45
3.22	Concentrações normais e máximas permitidas de metais pesados em solos agrícolas em mg/kg.....	46

3.23	Concentrações de metais no lodo doméstico e industrial e no solo em mg/kg .....	47
4.1	Relação dos parâmetros analisados, técnicas utilizadas e referências bibliográficas .....	61
4.2	Adaptações nas técnicas utilizadas .....	62
4.3	Percentagem de diluição dos lodos de ETEs .....	63
5.1	Ramo industrial em SISAUTO .....	64
5.2	Disposição final dos lodos gerados pelas indústrias em SISAUTO .....	65
5.3	Percentagem de atendimento aos padrões de lixiviação e solubilização da NBR 10.004/87 - Resíduos sólidos: classificação - pelas indústrias em SISAUTO.....	68
5.4	Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos lodos amostrados .....	72
5.5	Faixas ideal e rejeição para resultados discrepantes	74
5.6	Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de metais totais em mg/kg dos lodos amostrados .....	77
5.7	Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de metais lixiviados em mg/l dos lodos amostrados .....	77

5.8	Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de metais solubilizados em mg/l dos lodos amostrados .....	78
5.9	Faixa ideal e rejeição para resultados discrepantes de metais .....	79
5.10	Percentagem de metais lixiviados e solubilizados dos lodos amostrados .....	83
5.11	Padrões de lixiviação e solubilização da NBR 10.004/87 e concentrações médias de metais nos lodos amostrados .	85

## ANEXOS

A.1 a A.15	Caracterização dos lodos industriais ....	A3 a A17
A.16	Caracterização dos lodos amostrados .....	A18
A.17	Parâmetros analisados nos lodos amostrados com cinco repetições - ETE DM .....	A20
A.18	Concentrações de metais totais analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE DM .....	A21
A.19	Concentração de metais lixiviados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE DM .....	A21
A.20	Concentrações de metais solubilizados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE DM ..	A22
A.21	Parâmetros analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE IN .....	A23

A.22	Concentrações de metais totais analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE IN .....	A22
A.23	Concentrações de metais lixiviados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE IN .....	A24
A.24	Concentrações de metais solubilizados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE IN ..	A24
A.25	Parâmetros analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE CS .....	A25
A.26	Concentrações de metais totais analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE CS .....	A26
A.27	Concentrações de metais lixiviados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE CS .....	A26
A.28	Concentrações de metais solubilizados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições - ETE CS ..	A27

## LISTA DE FIGURAS

3.1	Redução do volume de lodo em função do volume de água .....	10
3.2	Destino dos metais em processos convencionais .....	12
3.3	Persistência de estroptococo fecal (EF) e coliforme fecal (CF) no solo .....	22
4.1	Fluxograma geral do tratamento dos despejos da ETE IN .....	59
5.1	Critério para a rejeição de um resultado discrepante .	71

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Curtume
C.V.	Coeficiente de variação
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgotos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETEs	Estação de Tratamento de Esgotos
ETE DM	Estação de tratamento de esgotos do IAPI-DMAE
ETE CS	Estação de tratamento de esgotos de Santa Maria
ETE IN	Estação de tratamento de esgotos do curtume- Indústria.
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
NMP	Número mais provável
MS	Matéria seca
SISAUTO	Sistema de Auto Monitoramento
SDT	Sólidos dissolvidos totais

SDF	Sólidos dissolvidos fixos
SDV	Sólidos dissolvidos voláteis
SS	Sólidos suspensos
SSF	Sólidos suspensos fixos
SSV	Sólidos suspensos voláteis
ST	Sólidos totais
STF	Sólidos totais fixos
STV	Sólidos totais voláteis
ST.METHODS	Standard Methods

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, a disposição de lodos de ETEs - Estações de Tratamento de Esgotos ou de Efluentes Industriais - não foi objeto de regulamentações específicas, seja a nível federal, ou a nível estadual, contando apenas com normas de resíduos sólidos de caráter genérico que, no entanto, têm servido de apoio à atuação dos órgãos ambientais.

Devido as várias atividades e diferentes graus de sofisticação tecnológica, as indústrias geram lodos com as mais diversas características. Estes lodos gerados podem, em alguns casos, atingir quantidades bastante significativas e, como consequência da concentração industrial, verifica-se uma crescente necessidade de locais para a sua disposição.

O lodo disposto inadequadamente, sem qualquer tratamento, pode poluir o solo e os recursos hídricos, alterando suas características físicas, químicas e biológicas, constituindo-se num problema de ordem estética e, ainda pior, uma séria ameaça à saúde pública e ambiental. Por essas razões, a eliminação imediata dos problemas com o lodo de esgoto doméstico ou industrial desde a sua origem, seguida do tratamento e destino final, não é somente desejável mas, mais do que necessária para a sociedade.

Entre os problemas de maior gravidade na utilização do lodo está a possível presença de organismos patogênicos, metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos e óleos&graxas, independente se são lodos brutos ou gerados no tratamento de efluentes.

No estado do Rio Grande do Sul a disposição dos lodos domésticos ou industriais é feita em aterros sanitários, na maioria dos casos.

Neste trabalho são abordados certos aspectos do estudo das características, tratamento e disposição dos lodos de ETEs no estado do Rio Grande do Sul, esperando trazer alguma contribuição aos órgãos de controle ambiental.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são:

- realizar um levantamento das tecnologias existentes no estado do Rio Grande do Sul, para tratamento e disposição do lodo de ETEs de indústrias cadastradas e monitoradas pela FEPAM;

- realizar um levantamento das quantidades e qualidade dos lodos produzidos pelas ETEs das indústrias;

- fornecer subsídios à FEPAM para implantação de um banco de dados sobre a qualidade e quantidade de lodos através do uso de Planilhas eletrônicas tipo EXCEL;

- adequar e estabelecer uma metodologia padrão para análises físicas, químicas e biológicas de lodos de ETEs, testando um esquema amostral e analítico; e

- analisar três diferentes amostras de lodo de ETEs, sendo uma de lodo industrial (curtume) e duas de lodos domésticos, investigando a sua qualidade.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Características e composição dos lodos

O lodo é resultante de sólidos acumulados e separados dos líquidos, de águas residuárias durante seus processos de tratamento.

As características dos lodos variam, entre outros, em função da origem do esgoto (doméstico ou industrial), do processo e da eficiência de tratamento (LOEHR et al., 1979; METCALF et al., 1977).

O lodo primário apresenta uma cor castanha, odor ofensivo, pH médio de 6, alcalinidade média de 500 a 1500 mg/l, 60 a 80 % dos sólidos totais corresponde a sólidos totais voláteis, de fácil digestão e teor de óleos&graxas de 6 a 30 mg/l (METCALF et al., 1977).

O lodo digerido, que é o produto final da digestão anaeróbia possui uma cor negra e um odor semelhante ao húmus, sendo de fácil desaguamento, com água intersticial clara e sem mau cheiro. O teor de umidade é da ordem de 95 % (AZEVEDO NETTO, 1977).

Segundo GERBER (1990), o lodo primário é mais facilmente concentrado e desaguado; já o lodo do tratamento secundário contém finas partículas dispersas dificultando o desaguamento. O lodo terciário quando existir, torna-se um problema mais sério que o secundário.

A quantidade e a natureza do lodo gerado relaciona-se com as características do lodo e do processo de tratamento empregado (JORGENSEN, 1979).

A tabela 3.1 demonstra uma comparação de lodos típicos de processos convencionais.

TABELA 3.1 - Características de lodos gerados em processo convencional.

TIPO DE LODO	CARACTERÍSTICAS DO LODO	DIGESTÃO	% DE SÓLIDOS (1)
Lodo primário	Cinzento, viscoso, odor desagradável	Facilmente digerido	F - 2,50 a 5,00 A - 7,50 a 10,00 D - 9,00 a 15,00
Filtro biológico	Castanho, floculento, forte odor	Lenta	F - 5,00 a 10,00 A - 7,00 a 10,00
Lodo ativado	Castanho escuro, floculento, quase séptico, odor inofensivo, grande quantidade de gás	Facilmente digerido	F - 0,50 a 1,20 A - 2,50 a 3,50 D - 2,00 a 4,00
Lodo de precipitação química	Preto, viscoso, gelatinoso, odor desagradável, presença de gás	Difícil	F - 1,50 a 5,00 D - 7,00 a 10,00

Fonte: METCALF et al., 1977; (1) JORGENSEN, 1979.

F - Lodo fresco.

A - Lodo adensado.

D - Lodo digerido.

A composição química do lodo é de grande importância na recomendação da quantidade de lodo a ser aplicado no solo. Estas são baseadas no valor da fertilização (N, P, K), levando-se em consideração as concentrações de metais pesados e organismos patogênicos presentes no lodo (SOMMERS, 1977).

Nos lodos industriais a composição química é muito variável. Há celulósicos e lenhosos, com teores de nitrogênio variáveis entre 0,50 e 2 %; outras possuem teores mais elevados de proteínas, apresentando de 3 a 5 % de nitrogênio; finalmente, há os que contém alto teor de proteínas, geralmente de origem animal, alcançando em média de 5 a 10 % de nitrogênio. Os conteúdos de fósforo e potássio quase não variam, oscilando entre 0,50 a 2 % em média (KIEHL, 1985).

Os dados apresentados na tabela 3.2 demonstram a composição química de lodos brutos e digeridos.

TABELA 3.2 - Características físico-químicas do lodo doméstico bruto e digerido.

PARÂMETROS	LODO BRUTO		LODO DIGERIDO		
	FAIXA (1)	TÍPICO (1)(3)	FAIXA (1)	TÍPICO (1)(4)	DMAE (2)(5)
Sólidos totais (%)	2,0 - 7,0	4,0	6,0 - 12,0	10,0	11,80
Sólidos voláteis (%)	60,0 - 80,0	65,0	30,0 - 60,0	40,0	5,50
Óleos&graxas (%ST)	6,0 - 30,0	-	5,0 - 20,0	-	0,165
Proteínas (%ST)	20,0 - 30,0	25,0	15,0 - 20,0	18,0	-
Nitrogênio (%ST)	1,5 - 4,0	2,5	1,6 - 6,0	3,0	3,08
Fósforo (%ST)	0,8 - 2,8	1,6	1,5 - 4,0	2,5	3,12
Potássio (%ST)	0,0 - 1,0	0,4	0,0 - 3,0	1,0	0,165
Ferro (%ST)	2,0 - 4,0	2,5	3,0 - 8,0	4,0	-
pH	5,0 - 8,0	6,0	6,5 - 7,5	7,0	7,40
Alcalinidade (mg/l)	500,0 - 1500,0	600,0	2500,0 - 3500,0	3000,0	3760,00
Ácidos orgânicos (mg/l)	200,0 - 2000,0	500,0	100,0 - 600,0	200,0	300,00
Conteúdo térmico (kcal/kg)	3792,0 - 5568,0	4224,0	1512,0 - 3792,0	2160,0	-

FONTE: (1) METCALF et al., 1977; (2) DMAE, 1983.

(3) Conteúdo térmico baseado em 65% de sólidos voláteis.

(4) Conteúdo térmico baseado em 40% de sólidos voláteis.

(5) Valores médios da ETE do IAPI.

Os dados apresentados na tabela 3.3 foram obtidos por SELBACH et al. (1991), MAZUR, KOC (1980) e DE DEUS et al. (1992). A média de curtumes do RS foi obtida a partir dos dados fornecidos pela FEPAM.

TABELA 3.3 - Composição dos lodos de curtimento ao cromo e tanino em matéria seca.

PARÂMETROS	LODO (1)		LODO DE CROMO (2)		CURTUMES RS
	TANINO	CROMO	MÉDIA	FAIXA	MÉDIA (3)
Carbono (%)	66,00	21,00	-	-	14,36
Nitrogênio (%)	5,04	3,10	T:3,78 A:0,25	1,97 - 5,67	2,07
Fósforo (%)	0,21	0,20	0,25	0,09 - 0,49	0,05
Potássio (%)	0,17	0,08	0,09	0,04 - 0,21	0,07
Cálcio (%)	8,68	17,90	3,83	1,00 - 7,51	11,88
Magnésio (%)	0,21	14,00	0,27	0,01 - 0,94	-
Enxofre (%)	1,35	1,47	2,86	1,22 - 5,45	-
Sódio (%)	3,41	1,50	1,39	0,13 - 6,37	-
Zinco (ppm)	93,00	129,00	-	-	-
Cobre (ppm)	28,00	22,00	-	-	-
Ferro (ppm)	3570,00	1410,00	9500,00	10,00 - 1,252 E5	-
Manganês (ppm)	2680,00	5430,00	-	-	-
Boro (ppm)	14,00	16,00	-	-	-
Cádmio (ppm)	1,00	12,00	-	-	-
Chumbo (ppm)	23,00	120,00	-	-	-
Cromo (ppm)	34,00	8040,00	12900,00	3,4 E3 - 2,8 E5	-
Níquel (ppm)	136,00	15,00	-	-	-
pH	7,10	9,40	-	6,90 - 9,70	8,09
Sólidos 60°C (%)	87,00	79,00	-	-	-
Sólidos 105°C (%)	81,00	73,00	-	-	58,06
Cromo VI (ppm)	(4)	(4)	(4)	(4)	-
Densidade específica	-	-	1,07	1,00 - 1,20	-
Óleos&graxas (%)	-	-	26,00	-	1,64

FONTE: (1) MAZUR, KOC, 1980; (2) SELBACH et al., 1991; (3) DE DEUS et al., 1992.

(4) Não detectado.

T - Nitrogênio total.

A - Nitrogênio amoniacal.

### 3.2 - Produção de lodo

A produção de lodos tende a aumentar na medida em que mais estações de tratamento a nível secundário se tornam necessárias em todo o mundo, devido ao crescimento populacional e industrial.

A quantidade de lodo gerado na degradação da matéria

orgânica, a ser processada na fase sólida do tratamento, é decorrente, principalmente, da remoção de matéria orgânica degradada nos efluentes líquidos. Este lodo necessita de tratamento para que se estabilize e o volume a ser disposto seja reduzido (SANTOS, 1979).

Nas ETEs o lodo é o principal subproduto, cuja quantidade produzida está na dependência das características do efluente, tipos de estações de tratamento e o método de processamento do lodo (PUOLANNE, 1983; BRUCE, CAMPBELL, 1983).

Muitos fatores afetam a quantidade de lodo produzido. Para o sistema de lodos ativados que remove de 70 a 80 % da DBO, a produção é de 0,70 a 0,80 kg de sólidos secos por kg de DBO aplicada; já para os sistemas anaeróbios a produção é muito pequena (BRAILE et al., 1979).

O volume de lodos produzidos pode ser aumentado quando da adição de substâncias que visam elevar a eficiência de remoção dos sólidos em suspensão. Vários compostos são utilizados como precipitadores, tais como:  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeSO_4$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  e polieletrólitos (EPA, 1979; IMHOFF, 1986).

De acordo com PUOLANNE (1983) as substâncias químicas podem ser adicionadas tanto no tratamento primário como após o tratamento secundário ou simultaneamente, no processo de lodo ativado.

### 3.3 - Redução de Volume

O volume ocupado pelos lodos depende principalmente da quantidade de água presente e do grau de desaguamento, variando pouco com as características da matéria sólida.

Uma ETE doméstica produz em média 2,50 litros de lodo hab/dia, com um conteúdo de matéria seca separável por filtração de 20 g/l. O volume de lodo representa menos de 1 % de água residual bruta, pois sua concentração em matéria seca é da ordem de 100 vezes maior (DIEGO, [19--]).

A redução de volume exige consideráveis despesas no condicionamento do lodo bruto por aquecimento ou condicionamento químico, tais como, sais de ferro ou alumínio, cal ou polieletrólitos (BRAILE et al., 1979).

A redução de volume do lodo pode ser feita através de técnicas naturais (leitos de secagem) e mecânicas (centrifugação, filtro prensa, filtro à vácuo) (EPA, 1979).

O sistema de transporte e condicionamento do lodo poderá ser fixado considerando-se a relação entre o teor de sólidos, grau de umidade e a redução do volume (Figura 3.1).

De acordo com BRAILE et al. (1979), a redução do volume do lodo é grande através da secagem mecânica e incineração, por exemplo, uma tonelada de lodo com 4 % de sólidos secos proveniente de 25m<sup>3</sup> de um despejo industrial orgânico. A secagem desse lodo após o condicionamento químico com cal seguido por incineração, resultará na redução de 98 % do volume.

Após a digestão o lodo ainda contém uma grande quantidade de água, freqüentemente acima de 95 % e o seu desaguamento poderá reduzir substancialmente o seu volume que passará a ocupar uma fração muito pequena da quantidade original. Conforme o tipo de lodo e a técnica de secagem, podendo haver uma redução para um terço, ou menos ainda, do volume original (AZEVEDO NETTO, 1977).

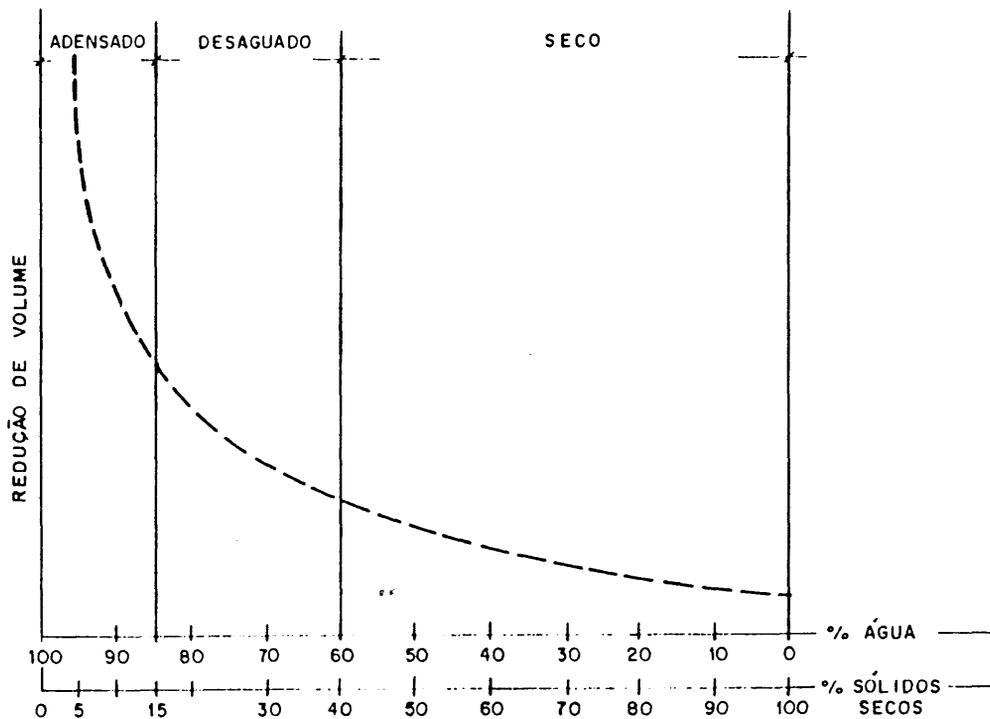


FIGURA 3.1 - Redução do volume de lodo em função do volume de água.

FONTE: EPA, 1979.

A tabela 3.4 demonstra a eficiência dos processos de tratamento do lodo na redução de volume.

TABELA 3.4 - Eficiência dos processos de adensamento e secagem na redução do volume e da umidade.

PROCESSO	UMIDADE (%)
Adensamento por gravidade	85-90
Filtros à vácuo	70-75
Leitos de secagem natural	65-70
Centrífugas	60-65
Telas Vibratórias	60-65
Filtros prensas	40-50

FONTE: AZEVEDO NETTO, 1977.

### 3.4 Qualidade dos lodos

A qualidade do lodo produzido é influenciada pelas características do esgoto. O lodo proveniente do tratamento de esgotos, pode ser fonte apreciável de nitrogênio, fósforo e potássio para as plantas, tendo entretanto, às vezes, altos teores de metais, pesticidas, organismos patogênicos e compostos tóxicos.

#### 3.4.1 Nutrientes e metais nos lodos

O uso do termo metais pesados na literatura tem sido mais comumente empregado para designar os metais com densidade superior a cinco. Alguns, dependendo da concentração, são inclusive considerados micronutrientes e benéficos às plantas, tais como boro, manganês, zinco, cobre, molibdênio e o ferro (EPA, 1976b).

KIEHL (1985) classifica os compostos do lodo como: macronutrientes primários (nitrogênio, fósforo e potássio); macronutrientes secundários (cálcio, magnésio e enxofre); e os micronutrientes (boro, cloreto, ferro, cobre, manganês, molibdênio, zinco e o cobalto).

Na tabela 3.5 são apresentados alguns nutrientes e suas concentrações presentes na fase líquida do lodo doméstico digerido, importantes para o crescimento das plantas.

De acordo com LOEHR et al. (1979) 80 % dos elementos potencialmente tóxicos são removidos com o tratamento secundário, e os 20 % restantes removidos com o terciário; ou seja, menos de 1 % dos elementos tóxicos são encontrados no efluente líquido terciário. Portanto a presença dos elementos tóxicos é maior no

lodo do que no líquido. A figura 3.2 mostra o destino dos metais no tratamento do esgoto e no lodo.

TABELA 3.5 - Nutrientes presentes na fase líquida do lodo doméstico digerido.

ELEMENTO	FAIXA(mg/kg)	MÉDIA
Nitrogênio total	340 - 3900	2100
Nitrogênio amoniacal	120 - 2700	1700
Fósforo	50 - 2800	1200
Potássio	40 - 400	170
Magnésio	20 - 780	140
Cálcio	570 - 6600	2200

FONTE: JAMIESON, 1980.

Segundo BOSWELL (1975), os lodos domésticos podem conter elevado teor de metais e quando aplicados ao solo dependendo do tipo de solo, pH, concentração do metal e a espécie da planta esses metais podem ser transferidos aos animais através da cadeia alimentar, sendo as plantas transmissoras.

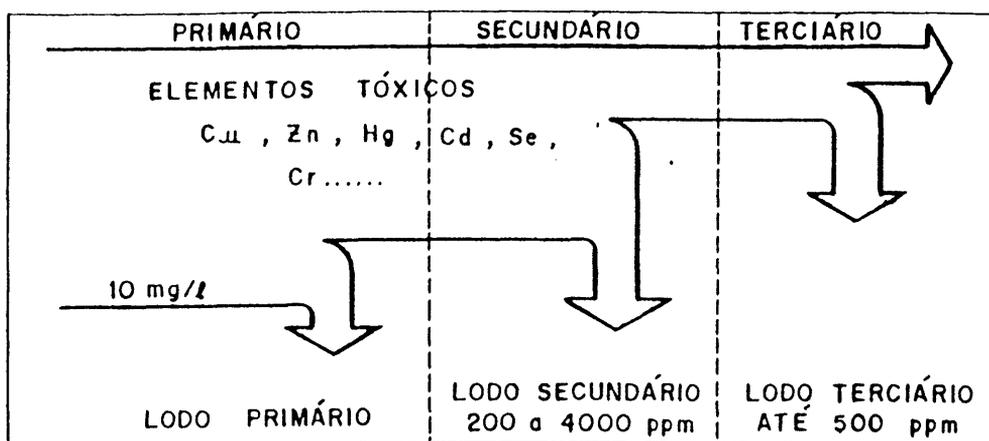


FIGURA 3.2 - Destino dos metais em processos convencionais.

FONTE : LOEHR et al., 1979.

TABELA 3.7 - Concentrações de metais comumente encontrados em lodos domésticos e industriais.

ELEMENTO	LODO mg/kg MS		LODO mg/kg MS (1)	
	DOMÉSTICO	INDUSTRIAL	DOMÉSTICO	MISTO
Cádmio	1 - 10	15 - 100	7,0	10
Chumbo	50 - 200	300 - 1250	218,0	317
Cobre	30 - 200	290 - 3550	123,0	514
Cromo	10 - 35	90 - 3200	42,0	163
Mercúrio	-	4 - 20	5,2	33
Níquel	10 - 60	20 - 1350	120,0	33
Zinco	40 - 650	850 - 7000	1380,0	3665

FONTE: JAMIESON, 1980; (1) JORGENSEN, 1979

Misto = Doméstico + Industrial

MS = Matéria seca

Os elementos cálcio, magnésio, sódio, ferro, alumínio e enxofre, apresentam uma grande variação nos lodos das estações de tratamento de esgotos, já que substâncias químicas contendo estes elementos, podem ser acrescentadas a fim de favorecer a coagulação, sedimentação e complexação dos constituintes do efluente (SOMMERS et al., 1976).

Uma pesquisa efetuada por SOMMERS (1977), sobre a composição de 250 amostras de lodos de aproximadamente 150 estações de tratamento nos EUA, indicaram que as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio variavam pouco, enquanto que as de chumbo, zinco, cobre, níquel e cádmio eram extremamente variáveis.

#### 3.4.1.1 Influência ambiental dos metais e nutrientes

##### a) METAIS

Alumínio, ferro e manganês são elementos abundantes na maioria dos solos. A adição destes elementos no solo através da aplicação do lodo não muda substancialmente a sua concentração.

Em concentrações altas, o arsênio (semi-metal), é moderadamente tóxico a plantas e altamente tóxico a mamíferos. O comportamento do arsênio no solo assemelha-se ao comportamento químico dos fosfatos (ISKANDAR, 1981). Conforme STANDING (1981), o conteúdo médio de arsênio no solo é de cerca de 5 mgAs/kg, com uma variação de 0,10 a 40 mgAs/kg.

Os solos com pH superior a 6 em geral contêm altas concentrações de cálcio e magnésio, sendo estes íons retidos em maior proporção pelas cargas negativas do solo, que constituem a capacidade de troca de cátions (CTC) (LIGO, 1988).

Os teores de carbonato e hidróxido de cálcio e magnésio presentes no lodo podem aumentar o pH do solo, dependendo da quantidade aplicada e do poder tampão do mesmo. Este efeito é em parte neutralizado pela acidificação devido à nitrificação do ion  $\text{NH}_4^+$  liberado na mineralização dos compostos orgânicos e pela oxidação de sulfetos (TEIXEIRA, 1981).

Cálcio e magnésio são encontrados nos lodos de curtumes, provenientes do caleiro (depilagem), presentes na forma de sais pouco solúveis, sendo responsáveis pela alcalinidade dos resíduos (SELBACH et al., 1991; TEIXEIRA, 1981).

Cádmio é facilmente absorvido do solo e assimilado pelas plantas e a maior via de entrada para o homem é através da alimentação com cereais e vegetais (STANDING, 1981).

STANDING (1981) recomenda uma adição máxima permissível da aplicação de lodos concentrados com cádmio de 5 kgCd/ha por um período de 30 anos. Concentrações de cádmio ocorrem no solo com um teor de 0,05 a 1,50 mgCd/kg com um valor típico de 0,30 mgCd/kg (ISKANDAR, 1981).

Concentrações de cobre em solos variam de 2 a 100 mgCu/kg, com um valor típico de 40 mgCu/kg. Sendo um elemento essencial para o crescimento das plantas, ocorrendo nas plantas com concentrações de 5 a 20 mgCu/kg (ISKANDAR, 1981).

EPA (1976b) recomenda que adições de cobre no solo através do lodo não deve exceder a 125, 250 e 500 kgCu/ha em solos com CTC de < 5, 5 - 15 e > 15 meq/100 g, respectivamente.

O zinco, embora essencial para a vida das plantas, pode ser fitotóxico em quantidades excessivas, sendo facilmente absorvido do solo pelas plantas, com toxicidade relativamente baixa para animais e o homem (STANDING, 1981). O teor típico de zinco em solos é de 50 mg/kg. O limite sugerido para a disposição do lodo com zinco em solos é de 250, 500 e 1000 kgZn/ha para solos com CTC de < 5, 5 - 10 e > 15 meq/100g, respectivamente (ISKANDAR, 1981).

O chumbo é um elemento não essencial que exhibe uma baixa toxicidade às plantas e um alto grau de toxicidade para os animais (LIGO, 1988). A toxicidade do chumbo é quase completamente reduzida quando aplicado a taxas corretas nos solos. Ocorrendo no solo com uma concentração média de 15 mgPb/kg (ISKANDAR, 1981).

Quando o chumbo é equilibrado no solo ele tende a tornar-se muito insolúvel não sendo facilmente absorvido e transportado pelas plantas e nem considerado fitotóxico para elas, porém é tóxico e cumulativo para animais e o homem. Para a aplicação de lodo com teor de chumbo no solo o valor recomendado é de 2000 mgPb/kg podendo ser aplicado em pradarias, jardins e parques (STANDING, 1981).

O mercúrio é altamente tóxico e cumulativo para o homem, nas

plantas o efeito é bem menor, devendo ser restringida a adição do lodo com concentrações de mercúrio (DMAE, 1981; STANDING, 1981). Segundo ISKANDAR (1981), a concentração de mercúrio no solo é de 0,10 a 0,30 mgHg/kg.

O conteúdo natural de níquel em solos varia de 10 a 4000 mgNi/kg com um valor típico de 40 mgNi/kg (ISKANDAR, 1981). O teor de níquel no lodo é usualmente baixo, exceto em lodos originários de despejos com elevado teor de níquel. Ele é muito mais tóxico para as plantas do que ao homem, para os mais sensíveis a ele é oito vezes mais tóxico que o zinco (STANDING, 1981).

A fitotoxicidade do níquel representa em parte a proteção da cadeia alimentar, uma vez que os teores no tecido das plantas considerados tóxicos são toleráveis na dieta dos animais (LIGO, 1988).

O cromo está geralmente no estado de oxidação +6, como cromato ou dicromato, nessa forma o cromo é tóxico às plantas, porém no solo em condições aeróbias ocorre facilmente a conversão da forma +6 para +3 e na forma trivalente o cromo é pouco disponível às raízes (OVERSCASH, PAL, 1981; EPA, 1976a).

De acordo com ISKANDAR (1981), o cromo total nos solos varia de 5 a 3000 mgCr/kg com um valor médio de 100 mgCr/kg. O cromo presente naturalmente no solo é bastante imóvel. A maioria das plantas cresce em solos que apresentam altos níveis de cromo; concentrações típicas de cromo nos tecidos das plantas estão entre 0,20 e 2,90 mgCr/kg.

A forma trivalente insolúvel é a predominante nos lodos. A solúvel hexavalente dificilmente é encontrada em concentrações significativas no lodo bruto, sendo logo reduzida para a forma

trivalente durante a digestão aeróbia (STANDING, 1981).

## b) NUTRIENTES

Só mais recentemente o cloro foi reconhecido como um micronutriente essencial às plantas, sendo que as raízes assimilam-no na forma de ânion cloreto. É o nutriente mais facilmente lixiviado, apesar de ser um micronutriente, raramente se conhecem casos de deficiências, pois as plantas podem assimilá-lo em quantidades superiores aos outros micronutrientes e macronutrientes (KIEHL, 1985).

O enxofre é um elemento mineral encontrado em altas concentrações nos resíduos de curtumes, tanto na forma de sulfeto (utilizado na depilação) e de sulfato (usado na acidificação das peles) (SELBACH et al., 1991; TEIXEIRA, 1981).

O sulfato no solo pode ser precipitado pela formação de sais pouco solúveis, por exemplo  $\text{FeSO}_4$ , em condições de anaerobiose ocorre toxidez para as plantas por  $\text{H}_2\text{S}$  (TEIXEIRA, 1981).

Devido a sua característica aniônica e a solubilidade da maior parte de seus sais a lixiviação de sulfeto é, geralmente, grande. Entretanto, esta perda varia com a textura dos solos, sendo maior em solos arenosos (TEIXEIRA, 1981; LUND, 1974).

O potássio é um cátion mais móvel do que o fosfato no solo, sendo absorvido pelas plantas em quantidades semelhantes ou até maiores que o nitrogênio. A perda imediata do íon potássio acrescentado como fertilizante é retardada porque os íons  $\text{K}^+$  deslocam outros cátions do complexo de troca do solo, resultando na sua retenção. Em condições de alta disponibilidade no solo, as plantas absorvem potássio além das necessidades fisiológicas, o que é caracterizado como consumo de luxo (LIGO, 1988; TEIXEIRA,

1981; TEDESCO et al., 1985).

O teor de potássio nos lodos é baixo, sendo insuficiente para atender as exigências das plantações (COKER, 1966; SABEY, 1980).

Os teores médios são em geral inferiores a 0,50 % de potássio dependendo do processo de tratamento do lodo (SOMMERS, 1977).

O fósforo é um elemento pouco móvel no solo, devido a formação de compostos insolúveis e à adsorção nos minerais de argila. A pequena mobilidade às vezes observada pode ser devida à migração de formas orgânicas solúveis no perfil do solo (LIGO, 1988). O fósforo adicionado ao solo por fertilizantes é maior do que o absorvido pelas culturas, sendo preferencialmente retido pelo solo (LIGO, 1988; SOMMERS et al., 1976).

Devido a alta retenção do fósforo no solo, este é pouco lixiviado e as concentrações na água de lixiviação são baixas.

O fósforo, ao contrário do nitrogênio, está relacionado principalmente com a porção inorgânica do lodo. O teor de fósforo total varia entre 1,20 e 3 %, sendo que a forma inorgânica representa 64 a 84 % do fósforo total (EPA, 1979; SOMMERS et al., 1976).

Contido nos resíduos de curtume o fósforo encontra-se, preferencialmente, na forma orgânica, devido a pequena utilização de sais fosfatados no processo de curtimento (SELBACH et al., 1991).

Na maioria dos solos, o nitrogênio inorgânico encontra-se na forma de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ . Geralmente o  $\text{NO}_2^-$  ocorre em quantidades muito pequenas; em solos alcalinos pode-se encontrar  $\text{NO}_2^-$  em níveis

tóxicos para as plantas após uma aplicação de adubos amoniacais (TEDESCO et al., 1985).

O nitrogênio é um dos principais nutrientes que limitam a produção de uma cultura, principalmente em solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica. Porém, a aplicação de quantidades excessivas de resíduos orgânicos cria um problema de contaminação do lençol freático pela lixiviação de nitrato (LIGO, 1988; TEIXEIRA, 1981).

A proporção de nitrogênio solúvel apresenta uma variação de 5 a 70 %, sendo representado principalmente pelo íon  $\text{NH}_4^+$  que pode participar com mais de 90 % da porção inorgânica do nitrogênio (SOMMERS, 1977).

O teor de nitrogênio amoniacal no lodo pode apresentar altas concentrações, principalmente no lodo anaeróbico ou mesmo em outros tipos de lodo, conforme o tempo de estocagem. Essa forma de nitrogênio é facilmente nitrificada no solo, podendo estar prontamente disponível às plantas (LIGO, 1988).

A concentração média de nitrogênio total no lodo varia de 2 a 6 %, apresentando uma variação de 0,10 a 17,60 % (SOMMERS et al., 1976).

De acordo com SELBACH et al. (1991) o nitrogênio é o macronutriente encontrado em maior quantidade no resíduo de curtume.

#### 3.4.2 Organismos patogênicos nos lodos

Organismos patogênicos são microrganismos ou parasitas capazes de infectar o homem, animais ou plantas podendo causar doenças. Pode-se citar como organismos patogênicos as bactérias,

vírus, protozoários e vermes parasitas (JAMIESON, 1980).

De acordo com SANTOS (1979) e HAVELAAR (1983), os riscos de contaminação dos solos com organismos patogênicos diminuem com a adoção das precauções: armazenamento do lodo por 30 dias, o que tem reduzido de 99,90 % o NMP de bactérias coliformes; pasteurização a 70 °C por 30 minutos o que elimina organismos patogênicos, vírus, cistos, ovos de vermes e oocistos (ovos); adição de cal para elevar o pH acima de 12; e o emprego do cloro para estabilização e desinfecção do lodo.

A maioria dos organismos patogênicos apresentam baixa sobrevivência no solo, como é mostrado na tabela 3.8, porém, algumas espécies sobrevivem por maiores períodos. Muitos fatores afetam a persistência de organismos patogênicos nos solos, incluindo energia, temperatura, aeração, tipo de solo, pH e competição entre espécies (SABEY, 1980).

TABELA 3.8 - Persistência de organismos patogênicos no solo.

ORGANISMOS	LOCAL	TEMPO (dias)
Coliformes (1)	Superfície do solo	38
Estreptococos	Solo	35-63
Estreptococo fecal	Solo	26-77
Salmonela	Solo	15-280
<i>Salmonella typhi</i>	Solo	1-120
<i>Tubercle bacilli</i>	Solo	> 180
<i>Leptospira</i>	Solo	15-43
<i>Entamoeba histolytica</i>	Solo	6-8
Enteroviroses	Solo	8
Ovos de ascaris	Solo	até 7 anos
Larvas de ancilostomídeos	Solo	42

FONTE: PARSONS et al., 1975 apud SABEY, 1980.

(1) Indicador de poluição fecal

BARBIER et al. (1990) descreve os riscos da aplicação do lodo no solo, avaliando as técnicas de redução dos principais

parasitas, especialmente ovos de *Taenia saginata*.

Embora haja um rápido decréscimo com o tempo dos patogênicos adicionados ao solo, alguns organismos tem a capacidade de sobreviver no solo pela formação de esporos ou outros mecanismos de proteção (SABEY, 1980; ENVIRONMENTAL, 1989).

A tabela 3.9 mostra algumas espécies de organismos encontrados nos lotes onde o lodo de esgoto de Denver-EUA havia sido aplicado.

Na figura 3.3 estão representados a sobrevivência do coliforme fecal e estreptococo fecal no solo no verão e no inverno.

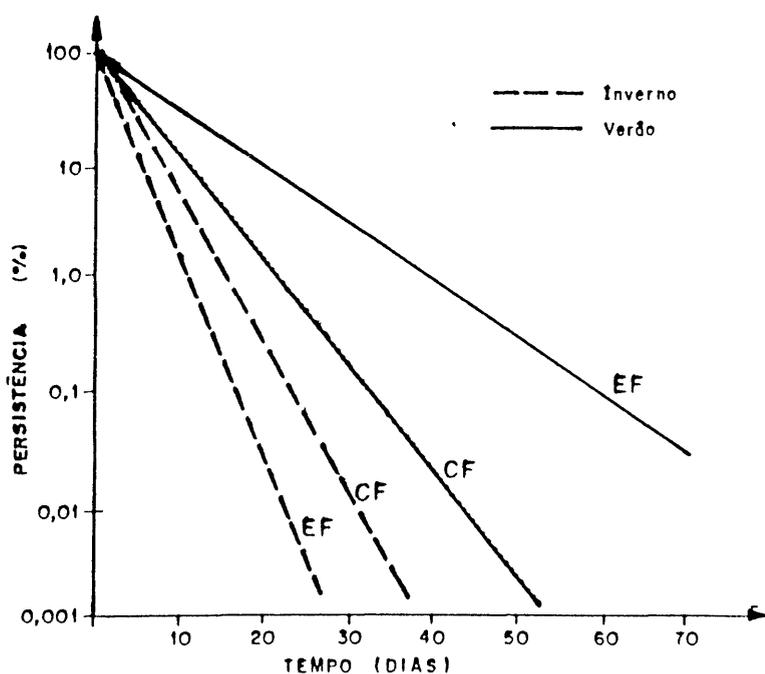


FIGURA 3.3 - Persistência de estreptococo fecal (EF) e coliforme fecal (CF) no solo.

FONTE: VAN DONSEL et al., 1967 apud SABEY, 1980.

TABELA 3.9 - Efeitos da aplicação do lodo de Denver-EUA na sobrevivência de quatro grupos de organismos (cinco semanas após a aplicação do lodo).

LODO APLICADO (t/ha de MS)	PROFUNDIDADE	ORGANISMOS (NMP/g de SOL SECO)			
		BACT. AERÓBIA	COLIFORME		ESTREPTOCOCO
		TOTAL	TOTAL	FECAL	FECAL
Sem plantação					
0	0,00 a 6,30	3,3 E6	2,2 E3	< 1000	100
55	0,00 a 6,30	24,0 E6	6,9 E3	< 1000	320
Com plantação					
0	0,00 a 3,10	4,0 E6	1,4 E3	< 100	< 100
11	0,00 a 3,10	13,0 E6	0,3 E3	< 100	< 1300
55	0,00 a 3,10	14,0 E6	3,0 E4	< 100	< 100

FONTE: SABEY, 1980.

A persistência de organismos patogênicos é favorecida por baixas temperaturas, pH alcalino, alto teor de matéria orgânica e proteção contra radiação ultra-violeta, sendo que em climas frios é favorecido o desenvolvimento destes, porém raramente excede 3 a 4 meses (ENVIRONMENTAL, 1989).

O movimento de bactérias, vírus, ovos de helmintos e cistos de protozoários independe do material do lodo e sim da movimentação da água através do lodo (ENVIRONMENTAL, 1989).

EPA (1979) apresentou um relatório sobre o tempo de inativação de organismos presentes no lodo a uma dada temperatura. Os resultados estão resumidos na tabela 3.10.

O lodo proveniente do tratamento primário, geralmente, contém maior concentração de coliformes e outros organismos que o lodo do tratamento secundário (KIEHL, 1985).

TABELA 3.10 - Temperatura e tempo para destruição dos patogênicos e parasitas mais comuns.

ORGANISMOS	TEMPO (minutos)	TEMPERATURA P/ DESTRUIÇÃO(°C)
<i>Salmonella typhosa</i>	instantâneo	55-60
	30	46
<i>Salmonella sp</i>	15-20	60
	60	55
<i>Shigella sp</i>	60	55
<i>Escherichia Coli</i> (1)	5	70
	15-20	60
	60	55
<i>Entamoeba histolytica</i> (cistos)	instantâneo	68
<i>Taenia Saginata</i>	5	71
<i>Trichinella spiralis</i> (larvas)	instantâneo	62-72
	60	50
<i>Necator americanus</i>	50	45
<i>Brucella abortus</i>	50	45
Estreptococo fecal (1)	60	70
Coliforme fecal (1) (2)	60	70
Ovos de ascaris (1)	60	55
	7	60

FONTE: (1) EPA, 1979; KIEHL, 1985.

(2) Indicador de poluição fecal

A tabela 3.11 apresenta o número de organismos patogênicos presentes no lodo primário, secundário e misto e a tabela 3.12 para o lodo digerido e centrifugado.

TABELA 3.11 - NMP de patogênicos associados aos lodos.

ORGANISMOS	PRIMÁRIO	SECUNDÁRIO	MISTO
Coliforme total (1)	1,20 E8	7,10 E8	1,10 E9
Coliforme fecal (1)	2,00 E7	8,30 E6	1,90 E5
Estreptococo fecal	8,90 E5	1,70 E6	3,70 E6
<i>Salmonella sp</i>	4,10 E2	8,80 E2	2,90 E2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2,80 E3	1,10 E4	3,30 E3
Parasitas ovos/cistos (total)	2,10 E2	Não avaliado	5,00 E1
<i>Ascaris sp</i>	7,20 E2	1,40 E3	2,90 E2

FONTE: WATER, 1984.

(1) Indicador de poluição fecal

TABELA 3.12 - NMP de bactérias ou ovos viáveis de helmintos por 100 g de matéria seca.

ORGANISMOS	LODO	
	DIGERIDO	CENTRIFUGADO
Coliforme fecal	4,1 E10	2,7 E9
Estreptococo fecal	1,4 E7	1,1 E7
<i>Salmonella sp</i>	1305,0	304,0
<i>Ascaris lumbricóides</i>	4560,0	8920,0
<i>Ancylostomidae</i>	2,0	Ausente
<i>Hymenlepis diminula</i>	83,0	1120,0
<i>Enterobius vermicularis</i>	2,0	Ausente
Total de ovos de helmintos	4745,0	10277,0

FONTE: SANTOS, 1984.

### 3.4.3 Pesticidas nos lodos

Os pesticidas atuam causando grandes prejuízos ecológicos no meio ambiente. Estes são empregados como fungicidas, algicidas, herbicidas, inseticidas e raticidas. Todos estes são altamente tóxicos e podem possuir elevada ação residual. Entre os inseticidas mais perigosos estão o DDT (diclorodifeniltricloroetano) e o endrin.

Na tabela 3.13 são apresentadas as concentrações de compostos organoclorados nos lodos amostrados no Reino Unido.

TABELA 3.13 - Concentrações de compostos organoclorados no lodo.

COMPOSTO	FAIXA (mg/Kg MS)
Aldrin	0,00 - 16,20
Dieldrin	0,03 - 2,20
PCBs	0,00 - 352,00
Clordane	3,00 - 32,00
DDT	0,10 - 1,10
BHC	0,16 - 0,50

FONTE: JAMIESON, 1980.

Pouca ênfase tem sido dada em relação ao efeito dos pesticidas sobre o sistema solo-planta-homem para limites de aplicação de lodo contendo níveis traços desses elementos (DICK, 1978; ENVIRONMENTAL, 1989; SABEY, 1980).

### 3.5 Processos de tratamento

#### 3.5.1 Considerações gerais

Os processos de tratamento de lodos começaram a ser efetuados e pesquisados no fim do século passado na Inglaterra e nos EUA. Ainda hoje certos processos não apresentam a sua mecânica completamente conhecida e desmistificada.

A maioria dos tratamentos produzem lodos e se estes forem lançados "in natura" ao destino final, na maioria dos casos poderão agredir o meio ambiente e os seres vivos.

O tratamento dos lodos é um processo complexo que requer a combinação de diferentes alternativas técnicas e econômicas que permitam adotar uma decisão viável para cada condição específica (BARLOW, 1973).

A escolha da forma adequada de descarte de lodos depende das características dos lodos e solos, topografia, clima, profundidade do lençol freático, disponibilidade de áreas, custos operacionais e de investimentos, teores de metais, organismos patogênicos e da legislação ambiental vigente no local (VESILIND, 1982).

No tratamento de esgotos domésticos o volume de lodo produzido é de cerca de 0,60 % do volume de esgoto tratado, sendo que o tratamento e a disposição de lodo justificam cerca de 40 %

do custo total, segundo WALTERS, WINT (1981), esta é a principal causa da disposição do lodo ser tão negligenciada.

Estudos efetuados por PESCOD (1971) no Asian Institute of Technology demonstram os métodos de disposição de lodos considerados apropriados às condições existentes em países tropicais em desenvolvimento, recomendando o uso da digestão anaeróbia, lagoas de lodos e leitos de secagem. Técnicas sofisticadas, utilizando equipamentos importados de operação complexa não deveriam ser usadas devido ao alto custo.

Segundo MININI et al. (1983), na Itália, a legislação ambiental aceita como alternativas para o descarte de lodo os aterros sanitários, a utilização na agricultura e a incineração.

O adensamento do lodo tem por finalidade o aumento da concentração de sólidos no lodo para posterior digestão ou desaguamento. O adensamento dos lodos primários, secundários e terciários pode ser feito em conjunto ou separadamente por gravidade em equipamentos chamados adensadores, que são dispositivos similares aos decantadores primários, com o fundo mais inclinado tendo como objetivo a obtenção de um lodo mais concentrado (JORGENSEN, 1979).

A estabilização tem como principal objetivo a redução dos microrganismos patogênicos e de odor desagradável, tornando o lodo menos putrescível (BRUCE, CAMPBELL, 1983; EPA, 1979; METCALF et al., 1977).

EPA (1979) discute as várias técnicas de estabilização, dentre as quais estão a digestão anaeróbia e aeróbia, estabilização com  $\text{Ca(OH)}_2$  e cloretos.

A estabilização somente é usada em lodos que contenham

resíduos orgânicos como é o caso do lodo de curtumes e domésticos, e consiste em evitar que a matéria orgânica nele contida se putrefaça no destino final.

Outro processo de estabilizar o lodo é a chamada compostagem que consiste em uma estabilização aeróbia, em pilhas de lodo misturado com serragens, capim ou lixo doméstico (SANTOS, 1979). Normalmente quando se faz compostagem utiliza-se lixo doméstico, já que o lixo apresenta baixo teor de umidade, e o lodo possui umidade em excesso, sendo a combinação ideal para a compostagem.

Pela observação da tabela 3.14, nota-se que os lodos possuem maior teor de nutrientes, do que o lixo, podendo-se afirmar que este produto se enriquecerá com a adição dos lodos.

TABELA 3.14 - Conteúdo médio de nutrientes presentes no lixo e no lodo.

NUTRIENTES (%)	LIXO	LODO
Carbono	20,97	28,00
Nitrogênio	1,23	2,30
Fósforo	0,40	0,85
Potássio	0,20	0,30

FONTE: COMLURB, 1977.

O composto produzido utilizando-se o lodo doméstico pode estar contaminado por metais pesados quando a estação de tratamento recebe águas residuais provenientes de zonas densamente industrializadas (BRUCE, CAMPBELL, 1983).

KIEHL (1985) observou que o preparo de compostos com 30 e 70 % de lodo digerido mostrou-se eficaz na destruição de microrganismos patogênicos (salmonela, por exemplo) e ovos de helmintos, pois foi obtida sua eliminação total no produto final.

O condicionamento é um conjunto de operações que, normalmente, preparam o lodo para uma operação subsequente. Geralmente o lodo é condicionado para secagem, modificando as características do lodo de forma a facilitar a utilização de uma operação de secagem (JORGENSEN, 1979).

O condicionamento químico consiste na adição de um produto químico podendo ser cal, sulfato de cobre e polieletrólitos tendo como objetivo flocular os sólidos aumentando o tamanho das partículas facilitando a operação de desaguamento ou mesmo o espessamento (CALLELY et al., 1976).

O desaguamento pode ser definido como um processo de remoção de água do lodo, reduzindo o volume e a quantidade de produtos químicos requeridos para o condicionamento e secagem do lodo por causa do aumento da concentração dos sólidos, diminuindo os custos de tratamento devido a economia com produtos químicos (BARLOW, 1973; BARNES et al., 1987).

O desaguamento é utilizado como processo intermediário, eliminando grande parte do líquido do lodo, facilitando a sua queima e/ou a redução do volume a ser transportado, quer seja para o aterro sanitário ou outra disposição (LIMA, 1983).

Os processos comumente empregados para desaguar o lodo utilizam equipamentos mecânicos (filtros prensa e a vapor, centrífugas), cujas características básicas envolvem tratamento eficiente em área reduzida, ou leitos de secagem, apenas para pequenas estações, pois exigem grandes dimensões em termos de área, geralmente não disponíveis (ALMEIDA, MUJERIEGO, 1977; DICK, 1978).

O destino final do lodo poderá ser em aterros sanitários, no mar, lagoas de lodos, como condicionador do solo ou reaproveitado, por exemplo, como material de construção.

ALMEIDA et al. (1975) sugere ser o aterro sanitário a solução mais simples e econômica, devendo-se avaliar a disponibilidade de áreas; distância da estação à área selecionada; e inconvenientes resultantes da disposição do lodo no solo tais como odores, moscas, doenças oriundas do contato humano com o material, poluição do lençol freático (lixiviação de metais para as águas superficiais e subterrâneas).

A solução empregada para o tratamento do efluente e do lodo, o desaguamento e a disposição de lodos de curtumes no estado do Rio Grande do Sul estão apresentadas na tabela 3.15.

TABELA 3.15 - Processos de tratamento empregados em efluentes e lodos de curtumes no estado do Rio Grande do Sul.

TIPO DE TRATAMENTO	NÚMERO DE CURTUMES			CURTUMES (%)
	TRATAMENTO EFLUENTE	DESAGUAMENTO LODO	DISPOSIÇÃO LODO	
Decantação	2			2,32
Lagoa aerada	25			29,06
Lagoa anaeróbia	2			2,32
Lagoa estabilização	12			13,95
Lodo ativado	14			16,28
Lodo ativado+lagoa	1			1,16
Sem ETE	3			3,49
Trat. fís. químico	8			9,30
Valo de oxidação	1			1,16
Leito de secagem		58		67,44
Filtro prensa		9		10,47
Incineração		1		1,16
Centrifugação		1		1,16
Sem tratamento		3		3,49
Aterro sanitário			36	41,86
Vala			11	12,79
Lixo municipal			9	10,47
Agricultura			10	11,62
Doação			1	1,16
Sem informação	18	14	19	-

Obs.: Dados fornecidos pela FEPAM/RS, outubro de 1991

Em cidades urbanizadas, a falta de locais para aterros sanitários e as preocupações com o meio ambiente, tem aumentado o interesse na reciclagem e reuso do lodo. Vários pesquisadores têm realizado estudos acerca da utilização do lodo de esgoto como material de construção. Devido aos problemas de disposição e o aumento do custo dos materiais de construção, tais como o cimento, pesquisas têm sido feitas em laboratórios a fim de examinar a possibilidade de substituir o cimento pelo lodo de esgoto. HWA-TAY, YEOW SHOW (1992) apresentam os resultados das pesquisas do uso de lodo desaguado misturado com cal para a produção de cimento.

COSTA, FERREIRA (1986) conduziram testes químicos, testes de imersão e de lixiviação e testes físicos, para avaliar a utilização de lodos com alto teor de metais na fabricação de tijolos de cerâmica.

YEOW SHOW, HWA-TAY (1991) descrevem as propriedades do cimento feito de lodo, sua utilização na construção civil, apresentando uma solução para as ETEs que tenham problemas com o lodo gerado, transformando o lodo em um material de alto valor e de grande demanda no mundo todo.

### 3.5.2 Centralização e regionalização do tratamento do lodo

Em muitas cidades, particularmente as das regiões metropolitanas, o tratamento e a disposição é um grande problema, principalmente devido a crescente dificuldade de encontrar locais seguros e adequados. Para resolver este problema, as cidades usam de vários artifícios. A centralização ou a regionalização é considerada ser uma das soluções para este problema. O termo centralização refere-se ao tratamento do lodo centralizado em um único município e a regionalização refere-se ao tratamento de

lodo centralizado cobrindo vários municípios (OSHIMA, 1990).

De acordo com BRINSKO (1989) entre as vantagens do tratamento do lodo centralizado estão a economia no custo da construção das instalações, nos custos de operação e manutenção, facilidade de obtenção de operadores especializados, estabilidade e aperfeiçoamento no tratamento, segurança dos locais para tratamento e disposição, melhoria na qualidade do tratamento, e como desvantagens o aumento do custo de transporte e a grande variação das propriedades do lodo produzido.

O tratamento regionalizado do lodo é vantajoso quando há dificuldades para o município em obter locais para a disposição; havendo uma redução dos custos de tratamento e a expansão de mercados quando o processamento do lodo destina-se a produção de fertilizantes ou materiais de construção (HAHN, 1987).

A centralização do lodo é praticada por 60 % das cidades japonesas (OSHIMA, 1990). KANEKO, SHIMOMURA (1991) relatam as experiências da primeira cidade japonesa, Yokohama, a adotar a forma de tratamento de lodo centralizado.

### 3.5.3 Gerenciamento de lodos

#### 3.5.3.1 Considerações gerais.

A escolha de um método para destino final do lodo requer a comparação de muitas alternativas baseadas nas considerações econômicas e políticas, energéticas e de reação pública. Assim sendo, requer uma avaliação das consequências desses fatores. Por exemplo, todos os métodos terão algum inconveniente, porém quais destes inconvenientes podem ser controlados? Se uma alternativa permite melhor tratamento, porém custa mais caro, quanto se

pagaria pelo melhor tratamento? Como um município determina que uma solução envolve maior risco potencial para o meio ambiente do que a outra? Estas questões e outras tornam-se difíceis de serem respondidas devido à falta de dados sobre tratamento e disposição, de saúde pública - riscos ao homem, orientação para a utilização do lodo no solo, aceitação pública e custo efetivo, sendo um empecilho ao gerenciamento (DICK, 1978; CASSEL, JONHSON, 1988).

### 3.5.3.2 Gerenciamento dos lodos (resíduos sólidos) - a experiência brasileira.

Define-se como resíduos no estado sólido aqueles resultantes de atividades de comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, serviços de varrição e agrícola. Estão incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e outros gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviáveis, seu lançamento na rede de esgotos, corpos de água ou exijam para isto soluções técnica e economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível no momento (ABNT, 1987a).

### 3.5.3.3 Legislação

No que se refere à legislação sobre resíduos sólidos, muito pouco pode ser dito no momento, uma vez que o tratamento, armazenamento, transporte e disposição final ainda não foram objeto de uma regulamentação específica. Entretanto para a poluição das águas, já foram fixados critérios, padrões e normas a serem obedecidas em todo o território nacional.

Uma política de manejo e gerenciamento de resíduos sólidos,

no país e a nível de estado, datam de poucos anos.

A legislação vigente no país, é a Portaria 53/79 do Ministério do Interior determinando, em seu item I, que os projetos específicos de tratamento e disposição de resíduos sólidos, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção ficam sujeitos a aprovação do órgão estadual de controle de poluição (ORTH, 1986).

Os principais instrumentos utilizados no país para a classificação e definição de critérios para destinação dos resíduos sólidos são as normas:

- NBR 10.004 - Resíduos Sólidos: classificação;
- NBR 10.005 - Lixiviação de Resíduos: procedimento;
- NBR 10.006 - Solubilização de Resíduos: procedimento; e
- NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos - procedimento.

Com relação à destinação final de resíduos sólidos, a ABNT já aprovou quatro normas sobre aterros de resíduos sendo a:

- NBR 8849 - Apresentação de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos;
- NBR 8418 - Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos: procedimento;
- NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimentos; e
- NBR 10157 - Aterros de resíduos perigosos - critérios para projeto, construção e operação.

### 3.6 A disposição do lodo no solo.

#### 3.6.1 Considerações gerais

Dentro da filosofia do reaproveitamento do lodo, a disposição no solo é considerada a solução mais econômica.

A utilização do solo como meio de disposição é possível devido à multiplicidade de reações e/ou processos de natureza físico-química-biológica que decompõe os lodos aplicados e/ou inativam os compostos de natureza tóxica, por diversos mecanismos (LIGO, 1988). Porém, a falta do entendimento das reações físico-química-biológica no solo causa dificuldades na recomendação de taxas corretas de aplicação de lodo no solo (SABEY, 1980).

A capacidade do solo de reter elementos-traços depende das propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo, bem como da composição do lodo aplicado (ISKANDAR, 1981).

TEDESCO, STAMMEL (1986) recomenda que o solo ideal para a disposição de resíduos é aquele bem drenado, profundo, de textura franca, com pH levemente ácido, alta CTC e matéria orgânica, pequena declividade, cobertura vegetal de gramíneas e próximo à fonte do resíduo. Efetuando com frequência o monitoramento da quantidade e qualidade do resíduo adicionado ao solo.

Conforme KIEHL (1985) a quantidade máxima de metais pesados adicionados ao solo depende da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo. Na tabela 3.16 são apresentados alguns metais e a taxa de aplicação de lodos em função da CTC.

TABELA 3.16 - Metais encontrados no lodo e as quantidades máximas de aplicação em solos agrícolas segundo a CTC.

METAL	CTC em meq/100 g (1)		
	QUANTIDADE MÁXIMA DO METAL em kg/ha		
	0 a 5	5 a 15	Acima de 15
Chumbo	500	1000	2000
Zinco	250	500	1000
Cobre	125	250	500
Níquel	50	100	200
Cádmio	5	10	20

FONTE: KNEZEK, MILLER, 1976.

(1) Determinado com acetato de amônio a pH 7,0

SIMON, TEDESCO (1986) alêrtam que a adoção de critérios para a disposição do lodo no solo utilizados em outros países podem trazer problemas, devido ao critério de CTC do solo.

A disposição do lodo no solo, para fins agrícolas ou não, torna-se cada vez mais problemática e merecedora de estudos, sendo que o valor econômico do lodo como condicionante de solos agrícolas é o de suplementação e não de competição com os fertilizantes (SANTOS, 1979).

AZEVEDO NETTO (1977) relata que a disposição do lodo no solo é normal em inúmeros locais. Em alguns casos, o solo serve como um solo de vazamento para lodo, enquanto que em outros casos é aplicado e misturado, como um fertilizante ou condicionador do solo.

ALMEIDA et al. (1982) descrevem o processo das fazendas de lodo, utilizado na CETREL (Ba) - Central de Tratamento de Efluentes Líquidos S.A., que consiste na aplicação de lodo líquido na superfície do solo, ou na subsuperfície seguido da mistura do lodo com o solo, tendo como finalidade permitir a oxidação aeróbia dos compostos orgânicos por parte de microrganismos presentes.

A alternativa de disposição no solo tem a vantagem de aproveitar as fontes de nutrientes para a agricultura e recuperação de solos, porém, metais pesados e os organismos patogênicos presentes nos lodos, podem ser indesejáveis (ALMEIDA et al., 1975).

A prática mais comum da utilização de lodos, especialmente os de origem doméstica, após devidamente tratados, é a sua disposição em áreas agrícolas, aproveitando-os como fonte de nutrientes e como condicionador do solo na utilização agrícola.

Os lodos de ETEs, segundo SANTOS (1979) possuem maior poder de fertilização quando adicionados ao solo sem digestão prévia, uma vez que os lodos perdem uma grande quantidade de nutrientes após sua digestão, principalmente nitrogênio, porém não é recomendada a utilização de lodos brutos, sem tratamento.

A decomposição do lodo é lenta, propiciando assim condições favoráveis para o crescimento de organismos desejáveis no solo agrícola, melhorando a fertilidade física do solo e, de forma limitada, sua fertilidade química (WATER, 1976).

METCALF et al. (1977), SABEY (1980) sugerem que os lodos digeridos aumentam a fertilidade física do solo mais do que a química, devido a capacidade de reter a umidade, formação de uma camada capaz de reduzir ou eliminar a erosão pelo vento e chuva, melhoria da estrutura do solo devido as condições de aeração (aumento do volume de vazios), redução nas perdas de nutrientes, (pela maior dificuldade no escoamento superficial), e condições favoráveis para a proliferação de micro e macrorganismos desejáveis na agricultura, por exemplo as minhocas.

DIEGO ([19--]) recomenda que plantações destinadas a serem consumidas cruas pela população, não devem ser cultivadas em

solos que recebam lodo, entretanto plantações de grãos ou frutas que não possuem contato direto com o solo, e portanto com o lodo aplicado, podem ser cultivadas, sob o ponto de vista sanitário.

O lodo é uma fonte de matéria orgânica e de micronutrientes, entretanto pode conter metais pesados, originários de indústrias. Os metais podem estar presentes no lodo em quantidades superiores às permitidas, tendendo a acumular e alcançar concentrações elevadas no solo, causando um efeito adverso nas culturas.

As taxas de aplicação de lodo digerido no solo são extremamente variáveis. A tabela 3.17 registra valores de 5 a 240 t/ha para o lodo doméstico digerido.

TABELA 3.17 - Taxa de aplicação de lodo doméstico digerido no solo.

TIPO DE LODO	TEOR DE SÓLIDOS(%)	TAXA APLICAÇÃO t/ha/ano (1)
Primário e ativado	4,00	6,20
Digerido primário (2)	6,50	24,00 - 240,00
Digerido primário (3)	4,10	7,50
Primário e ativado ou Filtro biológico (3)	-	5,00
Primário e ativado digerido (4)	6,00	150,00

FONTE: AZEVEDO NETTO, 1977.

(1) Refere-se à tonelada de sólidos em suspensão em matéria seca.

(2) De San Diego - EUA.

(3) Da Pensilvânia - EUA.

(4) De Illinois - EUA.

GIROVICH (1990) destaca que os metais constituem um risco potencial na aplicação dos lodos em solos agrícolas, e os elementos tóxicos mais significativos provenientes dos lodos domésticos são o zinco, cobre, níquel, cádmio e o boro.

De acordo com EPA (1976a) a taxa de aplicação de lodo, desde que este não apresente alta concentração de metal pesado, pode

ter como base a quantidade necessária para suprir uma plantação com adequado teor de nitrogênio e/ou fósforo.

Estudos efetuados por CHANEY (1973) recomendam que a concentração máxima de cádmio no lodo para aplicação em solos agrícolas não poderia exceder a 0,50 % da concentração máxima de zinco (2000 ppm). CHANEY, GIORDANO (1977) alteraram estes valores para 1 % da concentração máxima de zinco (2500 ppm).

Em seu trabalho, BERON (1984) sugeriu que para a utilização do lodo na agricultura é necessário o conhecimento dos organismos patogênicos presentes no lodo e os riscos à saúde humana.

WOLMAN (1977) descreve os organismos patogênicos, metais pesados, pesticidas e os riscos da aplicação do lodo na agricultura; devendo a sua disposição ser cuidadosa, eficiente e continuamente monitorada.

SABEY (1980) recomenda o uso do lodo como uma fonte de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre para plantas e manutenção das propriedades físicas do solo.

A capacidade do solo em receber resíduos depende da concentração do elemento contido no material a ser descartado, propriedades químicas e físicas e o uso posterior deste solo. Valores de pH próximos a neutralidade são recomendados para a inativação de metais como cobre, zinco e cádmio (TEDESCO, STAMMEL, 1986).

TEIXEIRA (1981) destaca o valor agrícola dos resíduos de curtume, como fonte de nitrogênio e enxofre para as plantas e corretivo da acidez do solo (1 tonelada do resíduo substitui 200 kg de calcáreo).

Grande parte do valor do lodo para aplicação no solo está no conteúdo fertilizante, sendo que as taxas de aplicação deveriam ser baseadas no nitrogênio ou fósforo disponível para as plantações (EPA, 1989).

MATTHEWS (1983) recomenda que para a utilização do lodo na agricultura sejam observados alguns fatores importantes tais como: qualidade química - concentração de metais pesados, consequências para o solo, planta, homem, águas superficiais e subterrâneas; qualidade microbiológica - espécies de patogênicos, natureza do lodo, tipo de tratamento; qualidade estética - aspecto visual e odor; valor dos nutrientes (N,P,K).

Uma comunidade com 10.000 habitantes produz o equivalente a 1 tonelada de lodo digerido anaeróbico seco por dia, se 3,30 % desse lodo é de nitrogênio seriam produzidas 11 t de nitrogênio por ano, que poderiam ser utilizada como fertilizante de 40 a 100 ha de solos agrícolas (SABEY,1980).

### 3.6.2 Recomendações para disposição de lodo no solo

A principal consequência da disposição do lodo sem critérios técnicos adequados no solo é, sem dúvida, a inevitável contaminação dos mananciais superficiais e, indiretamente, dos subterrâneos. Alguns elementos tóxicos lançados no solo podem atingir a cadeia alimentar através da assimilação por cereais e hortaliças ou mesmo pelo leite, via pastagens (BARLOW, 1973).

STANDING (1981) recomenda que os solos deveriam ser analisados, após o lodo ser adicionado para a taxa de aplicação máxima permissível, em intervalos regulares.

A tabela 3.18 apresenta a adição máxima permissível de

elementos tóxicos contidos no lodo, com a finalidade de não contaminar o solo não-calcáreo por um período de 30 anos ou mais.

TABELA 3.18 - Concentrações de elementos tóxicos no lodo e a taxa máxima de aplicação no solo.

ELEMENTO	CONCENTRAÇÃO (mg/l)	TAXA APLICAÇÃO <sup>(3)</sup> (kg/ha/ano)
Zinco	2,50 (1)	560,00
Cobre	5,00 (1)	280,00
Níquel	1,00 (1)	70,00
Zinco equivalente	20,50 (1)	560,00
Boro	1,00 (1)	4,50 (1ºano) 3,50 (após)
Cromo	100,00 (2)	1000,00
Cádmio	1,00 (2)	5,00
Chumbo	50,00 (2)	1000,00
Mercúrio	< 0,10 (2)	2,00
Arsênio	5,00 (2)	10,00

FONTE: STANDING, 1981.

(1) Metais extraídos por EDTA, boro por água quente.

(2) Metais total extraídos por ácido forte, boro por água quente.

(3) Taxas de aplicação para metais total.

Obs: Adição de zinco, cobre e níquel condicionados ao zinco equivalente.

O resumo dos limites de aplicação recomendado pelo DOE/NWC/ Standing Committee no Reino Unido está apresentado na tabela 3.19.

As alternativas de disposição do lodo, segundo a legislação na Itália, são a utilização na agricultura, aterros sanitários e incineração com a disposição das cinzas nos aterros sanitários. Dados de disposição publicados por MININI et al. (1983), destacam a utilização na agricultura (30 %), aterros sanitários (50 %) e incineração (20 %).

COLIN (1983) destaca a necessidade e objetivos da caracterização dos lodos; foram analisados 27 parâmetros de 8

diferentes indústrias, desenvolvendo a padronização de métodos de análises.

TABELA 3.19 - Características dos lodos e locais para a sua aplicação.

TIPO DE LODO	SILVICULTURA, RECUPERAÇÃO DE ÁREAS, PLANTAÇÕES	BATATA	PASTAGEM	PLANTAÇÕES CONSUMIDAS CRUAS	CANTEIROS, PARQUES, FLORES	POMAR
Líquido bruto	+	x	C	x	x	x
Líquido bruto - 2 semanas	+	x	C	x	x	D
Digerido anaeróbio frio	+	x	AB	E	+	+
Lagoas - 2 anos	+	x	AB	E	+	+
Digerido anaeróbio mesofílico	+	+	AB	E	+	+
Processado quente	+	+	AB	E	+	+
Torta de lodo sem cal	+	x	C	x	x	D
Torta de lodo sem cal - 1 ano	+	x	AB	E	+	+
Torta de lodo com cal estabilizado	+	x	C	E	+	+
Tratamento biológico completo	+	x	C	E	+	D
Tratamento biológico parcial	+	x	C	x	x	D

FONTE: STANDING, 1981.

+ - Aceitável.

x - Não aceitável.

A - 3 semanas de intervalo, mais 5 semanas para o gado leiteiro, pastagem consumida sem pasteurizar.

B - 6 meses de intervalo para pastagens consumidas por porcos.

C - Intervalo nas pastagens para porcos e gados de 6 meses, outros animais como A.

D - Não usar em frutas ou plantações, plantação de gramas após 3 meses da aplicação do lodo.

E - Não pode ser usado após 3 meses da aplicação.

A utilização agrícola de lodos deveria ser regulamentada minimizando a contaminação de metais pesados no solo. Diretrizes para o uso do lodo têm sido adotadas em muitos países, para a aplicação no solo, porém informações sobre a quantidade admissível máxima apresenta resultados diversos (LOGAN, CHANEY, 1983; WEBER et al., 1983; EPA, 1976b).

Segundo LOOGAN, CHANEY (1983), o estabelecimento de concentrações máximas de metais pesados no lodo possibilita um monitoramento, além de encorajar o controle das fontes poluidoras de metais pesados.

As quantidades máximas da aplicação de lodo com metais pesados no solo podem ser regulados pela CTC (EPA, 1976a; SOMMERS, 1980).

Em COUNCIL (1986) são discutidas: a avaliação das propriedades agronômicas do lodo, aplicação do lodo como condicionador do solo e na agricultura, limites da concentração de metais tóxicos ao homem e plantas, proibição do uso do lodo com alto teor de metais, quantidade a adicionar no solo por ano e o período de aplicação do lodo, tratamento do lodo antes de sua utilização, riscos para a saúde do homem e animais e a necessidade do monitoramento da qualidade dos lodos e solos.

A concentração máxima permissível de metais pesados em lodos a serem aplicados em solos agrícolas é expressa na tabela 3.20.

A tabela 3.21 demonstra as quantidades máximas recomendadas de metais pesados adicionadas ao solo através do lodo em alguns países. As normas americanas consideram a CTC do solo.

A tabela 3.22 apresenta os teores de metais pesados normalmente encontrados em solos agrícolas.

TABELA 3.20 - Concentrações máximas de metais pesados no lodo considerado aceitável para a aplicação em solos agrícolas (mg/kg - matéria seca).

ELEMENTO	BÉLGICA	CANADÁ	FINLÂNDIA	FRANÇA	ALEMANHA	PAÍSES BAIXOS	NORUEGA	INGLATERRA (1)
Arsênio	10	75				10		
Cádmio	10	20	30	20	20	10	10	20 - 40
Cobalto	20	150	100				20	
Cromo	500		1000	1000	1200	500	200	(2)
Cobre	500		3000	1000	1200	600	1500	1000 - 1750
Mercúrio	10	5	25	10	25	10	7	16 - 25
Manganês	500		3000				500	
Níquel	100	180	500	200	200	100	100	300 - 400
Chumbo	300	500	1200	800	1200	500	300	750 - 1200
Zinco	2000	1850	5000	3000	3000	2000	3000	2500 - 4000

FONTE: WEBBER et al., 1983; (1) COUNCIL, 1986.

Canadá - valores aplicados aos lodos e produtos comerciais na base de lodo contendo < 5,00 % de N.

Reino Unido - Lodo para distribuição pública não deve conter mais que 20 mg de Cd/kg (peso seco). Lodo aplicado em solos de pastagens não deve conter mais que 3500 mg F/kg (peso seco) e aplicado em pastagens, jardins e áreas recreacionais não deve conter mais que 2000 mgPb/kg (peso seco).

EUA - Lodo aplicado em culturas frutíferas e hortaliças não deve conter mais que 25 ppm de cádmio, 1000 ppm de chumbo e 10 ppm de PCB's (peso seco).

(2) Não está fixado o valor limite para o cromo.

TABELA 3.21 - Quantidades máximas de metais para a aplicação no solo.

PARÂMETROS	CANADÁ	FINLÂNDIA	FRANÇA	ALEMANHA	PAÍSES BAIXOS
pH mínimo do solo	-	-	6	-	-
Quant. máx. lodo (t/ha)	200	20	-	167	200
Anos de aplicação	45	5	-	100	100
Metais no solo (kg/ha)					
Arsênio	15 (0,33)	-	-	-	2 (0,02)
Cádmio	4 (0,09)	0,10 (0,02)	5,40 (0,06)	8,40 (0,03)	2 (0,02)
Cobalto	30 (0,67)	-	-	-	-
Cromo	-	-	360 (3)	210 (2)	100
Cobre	-	-	210 (3)	210 (2)	120 (1)
Fluor	-	-	-	-	-
Mercúrio	1 (0,02)	-	2,70 (0,03)	5,70 (0,04)	2 (1,20)
Manganês	-	-	-	-	(0,02)
Níquel	36 (0,80)	-	60 (0,60)	60 (0,33)	20 (0,20)
Chumbo	100 (0,08)	-	210 (2,40)	210 (2)	100 (1)
Zinco	370 (8,20)	-	750 (9)	750 (5)	400 (4)

PARÂMETROS	NORUEGA	REINO UNIDO	ESTADOS UNIDOS	INGLATERRA(1)
pH mínimo do solo	-	6,50	6,50	-
Quant. máx. lodo (t/ha)	20	-	-	-
Anos de aplicação	10	30	-	10
Metais no solo (kg/ha)				
Arsênio	-	10 (0,33)	a b <sup>-</sup> c	-
Cádmio	0,20 (0,02)	5 (0,17)	5, 10, 20	(0,15)
Cobalto	0,40 (0,04)	-	-	-
Cromo	4 (0,40)	1000 (33)	-	-
Cobre	30 (3)	280 (9,30)	125 <sup>a</sup> , 250 <sup>b</sup> , 50 <sup>c</sup>	(12)
Fluor	-	600	-	-
Mercúrio	0,14 (0,01)	2 (0,07)	-	(0,10)
Manganês	10 (1)	-	-	-
Níquel	2 (0,20)	70 (22,30)	50 <sup>a</sup> , 100 <sup>b</sup> , 200 <sup>c</sup>	(3)
Chumbo	6 (0,60)	1000 (33)	500 <sup>a</sup> , 1000 <sup>b</sup> , 2000 <sup>c</sup>	(15)
Zinco	60 (6)	560 (18,60)	250 <sup>a</sup> , 500 <sup>b</sup> , 1000 <sup>c</sup>	(30)

FONTE: WEBBER et al., 1983; (1) COUNCIL, 1986.

- Número entre parênteses expressa a quantidade de lodo aplicada (kg/ha/ano).
- Nos EUA a quantidade máxima permitida é regulada pela CTC do solo dividida em 3 classes:

a: < 5 meq/100 g;  
b: 5 - 15 meq/100 g;  
c: > 15 meq/100 g.

TABELA 3.22 - Concentrações normais e máximas permitidas de metais pesados em solos agrícolas em mg/kg.

ELEMENTO	FRANÇA	ALEMANHA		REINO UNIDO		INGLATERRA (1)
	P	N	P	N	P	P
Arsênio				5,00	10,00	
Boro				1,00	3,50	
Cádmio	2	0,20	3	1,00	3,50	1,00 - 3,00
Cromo	150	30,00	100	100,00	600,00	
Cobre	100	30,00	100	5,00	140,00	50,00 - 140,00
Flúor				200,00	500,00	
Mercúrio	1	0,10	2	<0,10	1,00	1,00 - 1,50
Níquel	50	30,00	50	1,00	35,00	30,00 - 75,00
Chumbo	100	30,00	100	50,00	550,00	50,00 - 300,00
Zinco	300	50,00	300	2,50	280,00	150,00 - 300,00

FONTE: WEBBER et al., 1983 ; (1) COUNCIL, 1986

- Concentrações totais no solo, exceto no Reino Unido onde os elementos cobre, zinco e níquel são extraídos por EDTA e o boro por água quente.

P - Concentração permitida

N - Concentração normal

Inglaterra - pH 6 a 7

EPA (1989) esclarece a nova proposta para padrões de disposição do lodo estimulando o uso do lodo como benéfico. Descreve a atual necessidade do governo em gerenciar o uso e a prática de disposição do lodo até que a regulamentação das técnicas sejam promulgadas na forma final.

KUCHENRITHER (1989) traduz as preocupações de um grupo com o problema de disposição do lodo tais como a escassez de regulamentos, uso de dados inapropriados para padrão, local não específico de disposição, aplicação do lodo no solo e taxa de aplicação máxima.

O Departamento de Agricultura dos EUA (USDA) estabeleceu recomendações para aplicações de lodos contendo zinco, cobre e níquel, tal que a fitotoxicidade não ocorra, sendo que a aplicação anual de cádmio não deve exceder a 2 kg/ha de lodo desaguado ou compostado ou 1 kg/ha de lodo líquido, lodos com

teor de cádmio maior que 25 ppm não devem ser aplicado a não ser que a relação Cd/Zn seja menor que 0,015 e se a relação Cd/Zn exceder a 0,015 deve-se iniciar um programa para a redução de cádmio no lodo. Lodos com teores de cádmio não podem ser aplicados em plantações consumidas cruas (ENVIRONMENTAL, 1989).

A tabela 3.23 apresenta as concentrações de metais no lodo industrial, doméstico e no solo.

TABELA 3.23 - Concentrações de metais no lodo doméstico e industrial e no solo em mg/kg.

ELEMENTO	LODO INDUSTRIAL			LODO DOMÉSTICO	TÍPICO SOLO
	MÍNIMO	MÁXIMO	TÍPICO	MÁXIMO	
Cádmio	1	3410	10	0,10	25
Cádmio/Zinco	1000	1,10 E6	8000	-	1,50 E4
Cobre	84	1,70 E4	800	15	1000
Cromo	10	9,90 E4	500	25	1000
Ferro	1000	1,54 E5	1,70 E4	2,00 E4	4,00 E4
Mercúrio	0,60	56	6	-	10
Manganês	32	9870	260	500	-
Níquel	2	5300	80	25	200
Chumbo	13	2,60 E4	500	25	1000
Zinco	101	4,90 E4	1700	50	2500

FONTE: ENVIRONMENTAL, 1989.

### 3.6.3 Experiências em alguns países

DALTON et al. (1968) descreve a utilização de lodos na recuperação de áreas, sem causar poluição no solo, ar, água e efeito adverso sobre os seres vivos. O lodo de esgoto foi utilizado na recuperação de diversas áreas, tais como:

- Melbourne, Austrália - irrigação de pastagens com lodo bruto;
- Maple Lodge, Inglaterra - fazendas e pastagens com irrigação de lodo digerido;

- Jerusalém, Israel - irrigação e fertilização de plantas e solos com lodo digerido;
- San Francisco, California - recuperação de parques, com lodo bruto;
- University Park, Pensylvania - irrigação de árvores e culturas com lodo digerido;
- Tucson, Arizona - lodo ativado utilizado para irrigação de culturas;
- Leipzig, Alemanha - irrigação de pastagens e vegetação com lodo primário;
- Springfield, Illinois - irrigação com lodo digerido;
- Canton, Ohio - irrigação;
- New York - utilização de lodo digerido em grama de parques; e
- Orlando, Florida - irrigação de frutas com lodo digerido líquido.

Conforme SZAFRANEK et al. (1973) apud MAZUR, KOC (1980), a primeira pesquisa realizada sobre o valor fertilizante do lodo de curtume foi conduzida em vasos concluindo que o lodo de curtume aumentava a produção de cevada, trigo e girassol. O lodo bruto e o compostado com cal também foram estudados. O lodo compostado com cal apresentou melhor efeito fertilizante sobre as plantações do que o bruto, e o lodo com alto teor de cromo inibiu o crescimento das plantas.

BAXTER et al. (1983a) analisaram o teor de elementos traços e compostos orgânicos persistentes no solo onde foram aplicados lodos do esgoto da Estação Metro Denver - EUA. As concentrações de zinco, cobre, níquel, cádmio, chumbo e mercúrio aumentaram no solo e, nas plantas, houve um aumento no teor de zinco, cobre, cádmio e níquel, entretanto, esses metais não apresentaram elevado teor para a fitotoxicidade ou concentrações acima das que deveriam ser consideradas tóxicas para o tecido das plantas.

BAXTER et al. (1983b) analisaram tecidos de rins, fígado e ossos de gado colocados para pastar em locais onde haviam sido aplicados lodos e em locais de controle (sem a aplicação do lodo). O gado exposto ao lodo possuía concentrações maiores de cádmio e zinco nos tecidos do rim e chumbo nos tecidos dos ossos do que os gados de controle, entretanto, a concentração de metal encontrada não era superior ao da taxa considerada normal para gados dessa idade.

EPA (1985) cita exemplos de comunidades que utilizam o lodo gerado no solo. Entre elas destacam-se Hannibal, MO (19.000 hab.), Madison, WI (250.000 hab.), Seattle, WA (11 milhões de hab.) e Washington, DC (3 milhões de hab.), Virginia aplicou 37000 t de lodo seco em 7000 acres de agricultura e a Pensylvania usa o lodo gerado na Philadelphia para recuperar 3000 acres de áreas devastadas.

YASUDA (1991) relaciona as alternativas de utilização de lodos em Tokyo, o lodo é estabilizado, digerido, desaguado e incinerado. A produção em 1989 de lodo desaguado, em Tokyo, foi de 3300 m<sup>3</sup>/dia sendo que 78 % deste lodo foi incinerado.

### 3.7 Diagnóstico da situação no estado do Rio Grande do Sul

O estado do Rio Grande do Sul vem sofrendo um acelerado processo de expansão industrial, aliado à explosão demográfica dela decorrente. Este processo tem acarretado um aumento considerável na produção de esgotos, particularmente a nível industrial.

A maioria dos sistemas de tratamento de esgotos geram lodos, sejam eles de origem doméstica ou industrial.

O tratamento e a disposição final inadequados dos lodos de esgotos industriais contribuem para o agravamento dos problemas ambientais e uma parcela significativa dessa situação resulta no tratamento e disposição não sanitária desses lodos, os quais variam em quantidade e qualidade.

No estado do Rio Grande do Sul, o destino dado aos lodos de esgoto tem sido a disposição em aterros sanitários. Em relação aos lodos de esgotos industriais, a sua disposição geralmente é feita no solo, citando-se como exemplo a do Pólo Petroquímico do Sul, cuja disposição ocorre por injeção subsuperficial no solo com posterior plantação de gramíneas.

Com base no Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (1990) estimou-se, para o ano de 1989, que se todo o esgoto fosse tratado no estado do Rio Grande do Sul geraria cerca de 174.000 toneladas de lodo de esgoto doméstico, e só em Porto Alegre seriam 36.500 toneladas. Representando, baseado nos teores médios publicados por SOMMERS et al. (1976) - para nitrogênio de 2 a 6 % e fósforo de 1,20 a 3 % da produção total de lodos -, no estado 3.480 a 10.440 toneladas de nitrogênio, 2.088 a 5.220 toneladas de fósforo, além de metais pesados, outros nutrientes, organoclorados, fosforados e patogênicos.

Como a solução dos problemas causados pela falta de uma política de conscientização, com relação ao lodo disposto sem condições sanitárias, incide diretamente nas condições de vida do homem e de seu meio ambiente, esta não deve ser mais adiada sob pena de causar grandes prejuízos ao estado. Sendo assim, torna-se urgente a implantação de uma política, pelo governo, que objetive equacionar o problema, visando dar incentivo para o tratamento e disposição do lodo.

### 3.7.1 Indústrias mais significativas geradoras de lodo

Em 1991, foi iniciado um estudo dos dados de produção e qualidade disponíveis de indústrias cadastradas e monitoradas pela FEPAM que nos permitiram caracterizar as principais indústrias geradoras de lodos no estado do Rio Grande do Sul.

De acordo com BORGES (1987), os lodos de indústrias podem não ser tóxicos, por exemplo, os lodos originários de cervejarias, indústrias alimentícias, matadouros e laticínios. Os lodos tóxicos são aqueles de indústrias de preservação de madeira, pigmentos inorgânicos, pesticidas, refinarias, curtumes, ferro e aço (galvanoplastia): Entre as indústrias que apresentam maior produção de lodos estão as do ramo metalúrgico, papel/papelão, e curtume.

O setor coureiro calçadista do estado do Rio Grande do Sul processa em média, de acordo com SELBACH et al. (1991), 100.000 toneladas de peles bovinas/ano e segundo DÓRIA (1961), cada pele pesa aproximadamente 30 kg e a produção de lodo seco é de 0,10 kg/kg pele, portanto o setor coureiro gera em decorrência do tratamento dos efluentes líquidos do processamento industrial, cerca de 150.000 toneladas por ano de lodo seco.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Considerações Gerais**

Este trabalho foi realizado em duas etapas.

1ª Etapa: Levantamento preliminar de dados técnicos.

Foram obtidas informações sobre os sistemas de tratamento e disposição final existentes. Esta atividade compreendeu a pesquisa bibliográfica, contato com órgãos de saneamento e meio ambiente FEPAM, DMAE e CORSAN, os quais possuíam informações e dados de lodos de ETEs. Implantou-se os dados coletados em Planilha Excel for Windows.

2ª Etapa: Coleta das amostras de lodos de ETEs.

Realizou-se análises físicas, químicas e biológicas das amostras de lodo coletadas nas ETEs selecionadas. O laboratório de Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS foi utilizado para este fim. Os parâmetros que não puderam ser analisados no IPH foram realizados no Centro de Ecologia/UFRGS. Os parâmetros determinados tiveram como base as metodologias preconizadas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 17th, com algumas adaptações. As análises feitas serviram para a verificação da eficiência da técnica analítica utilizada e também para o conhecimento das características do lodo.

### **4.2 Levantamento preliminar de dados técnicos**

Nos meses de outubro e novembro de 1991 realizou-se o levantamento, junto a FEPAM, das 263 indústrias em SISAUTO.

O levantamento dos dados técnicos consistiu em uma coleta de informações efetuadas nos arquivos da FEPAM, procurando-se dados que fornecessem informações gerais sobre as indústrias tais como matéria prima, características e volume de lodo produzido, processo de tratamento e disposição final do lodo obtendo-se dessa forma um diagnóstico preliminar da indústria.

Para determinar a produção, qualidade, tratamento e disposição do lodo nas indústrias, na 1ª etapa, adotou-se o seguinte procedimento:

- 1) levantamento das indústrias em SISAUTO, na FEPAM;
- 2) seleção das indústrias significativas para o trabalho, desconsiderando-se as menos significativas;
- 3) estudo detalhado das indústrias selecionadas em (2), avaliando-se a produção, qualidade, tratamento e disposição do lodo. Na caracterização dos lodos, procurou-se agrupar as atividades industriais que apresentassem, entre si, a maior identidade possível, optando-se por aquelas que possuíssem maior número de parâmetros.
- 4) análise dos dados obtidos;
- 5) tratamento estatístico dos dados; e
- 6) estabelecimento de correlações entre os dados de literatura e os obtidos.

Concluída a 1ª etapa, fêz-se a escolha das indústrias para a amostragem do lodo, dando-se prioridade àquelas localizadas próximo a Porto Alegre e com produção significativa de lodo.

Antes do início da 2ª etapa tomou-se as seguintes providências:

1) das indústrias selecionadas apenas uma seria escolhida para a coleta do lodo, devido a falta de recursos para a pesquisa, dando-se preferência aos curtumes, já que apresentam grande importância econômica e principalmente social (devido a geração de empregos) no estado do Rio Grande do Sul, sendo estes altamente poluidores, pois exibem altos teores de cromo, sulfeto, DBO, DQO e material putrescível;

2) em vista da existência de uma certa reação por parte das indústrias, quanto à autorização da coleta do lodo, uma carta foi enviada solicitando a permissão e explicando a finalidade deste trabalho, mencionando-se a natureza confidencial das informações obtidas, por ocasião das análises de laboratório;

3) relacionou-se, com base na literatura existente, os parâmetros julgados importantes para a caracterização do lodo amostrado;

4) adequação da experiência adquirida no assunto por outros países à realidade brasileira;

5) selecionou-se as técnicas de amostragens, as quais poderiam ser utilizadas para os lodos;

6) adaptação do laboratório e do pessoal técnico para a amostragem do lodo;

7) preparação dos reagentes utilizados nas análises; e

8) marcação da data da coleta do lodo, tendo assim o início da 2ª etapa.

Duas estações de tratamento de esgotos domésticos também foram selecionadas, gerenciadas pela CORSAN e DMAE, respectivamente, seguindo-se o mesmo procedimento feito em relação à indústria.

As ETEs objeto deste trabalho localizam-se em Porto Alegre (ETE DM), Estância Velha (ETE IN) e Santa Maria (ETE CS).

#### 4.2.1 Planilha eletrônica do tipo Excel

É uma aplicação do Microsoft Windows, significa dizer que ela é aplicável em ambiente Windows, especificamente do Windows 3.0 (ou versões posteriores), Windows/ 286 ou Windows/386.

O Microsoft Excel incorpora um dos programas de planilhas mais sofisticadas com funções de banco de dados e gráficos, podendo competir com qualquer programa especializado.

O Microsoft Excel permite criar, editar, manipular planilhas e bancos de dados num único arquivo ou separadamente; criar e personalizar gráficos; unir e manter atualizadas as planilhas, os bancos de dados e gráficos, bem como trocar dados entre si e realizar macros - seqüências de instruções pré-definidas que o Microsoft Excel executa ao comando.

### 4.3 Descrição das estações de tratamento

#### 4.3.1 ETE DM

A ETE pertence ao conjunto residencial IAPI, a qual trata o esgoto doméstico oriundo de um sistema isolado, do tipo separador absoluto, que foi implantado em 1949 para atender inicialmente

1832 residências, sendo em 1958 transferida para o município de Porto Alegre, atendendo, nesta época, 2532 residências (DMAE, [198-]; DMAE, 1983).

O tratamento na ETE IAPI é feito através do processo biológico constituído das seguintes unidades, segundo DMAE ([198-]); DMAE (1983).

- Grade de retenção: composta de duas unidades com 2,5 cm de espaçamento entre as barras, com inclinação de 60 °C e largura de 0,40 m;

- Caixa de areia: constituída de duas unidades, sendo a velocidade média igual a 0,2 m/s, com tempo de detenção de 41 segundos, à vazão de 36 l/s;

- Poço de acumulação: com capacidade de 30 m<sup>3</sup>;

- Poço de bombas: constituído por três grupos de motores bombas com capacidade de 24 l/s cada;

- Dois tanques IMHOFF cada um com câmara de digestão de 225 m<sup>3</sup>;

- Uma unidade de filtro biológico, aero-filtro, tipo fechado, com capacidade de filtração igual a 12,7 m<sup>3</sup> de esgoto por m<sup>2</sup> por dia;

- Leito de secagem do lodo formado por 4 unidades, com dimensão total de 24,0 x 7,5 m, o fundo dos leitos de secagem é de concreto simples com 0,10 m de espessura, paredes em talude natural revestida de concreto simples e no centro de cada unidade corre uma calha de concreto pré-moldado, coberta por pequenas lages justapostas. O lodo seco retirado dos leitos de secagem é usado como adubo e o restante é disposto em aterro sanitário.

O efluente líquido do aero-filtro biológico é lançado no arroio São Gonçalo, afluente da margem direita do Rio Gravataí, próximo à foz.

#### 4.3.2 ETE CS

Localizada ao sul da zona urbana da cidade de Santa Maria, a ETE lança o efluente tratado no Arroio Cadena, o qual é contribuinte do Rio Vacacaí (CORSAN, [199-]).

O esgoto afluyente à estação é submetido a duas etapas de tratamento, o tratamento primário e o secundário (lodo ativado).

De acordo com CORSAN ([199-]) o tratamento biológico é feito pela ETE de Santa Maria através do processo lodo ativado, constituindo-se das seguintes partes:

- Elevatória de esgoto bruto em dois estágios, composta cada uma de duas bombas parafuso tipo Arquimedes com vazão de 500 l/s/bomba, altura de elevação máxima de 6,67 m, ângulo de inclinação de 30°, comprimento de 12,55 m e diâmetro de 1,50 m;

- Remoção dos sólidos grosseiros: por meio de grade de barras mecanizadas, com espessura de 1,25 cm e abertura de 2,5 cm;

- Remoção da areia através da caixa de areia tipo canal de velocidade constante com remoção mecanizada do material retirado por meio de ponte móvel;

- Tanque de aeração: largura interna 38 m, comprimento interno 95 m, profundidade útil 6,40 m, tempo de detenção 24 h e 45 min, 10 aeradores de superfície com 75 Hp/unidade, a vazão do excesso de lodo removido do tanque de aeração é de 772 m<sup>3</sup>/dia;

- Adensamento do excesso de lodo: o excesso de lodo removido do tanque de aeração é adensado por gravidade, em adensador circular mecanizado, com diâmetro de 15 m e profundidade de 3 m, com tempo de detenção de 16 h e 13 min;

- Secagem do lodo adensado: feita em leitos de secagem, com uma área de secagem de 11.000 m<sup>2</sup>, tempo de secagem em condições ambientais médias de 21 dias;

- Decantação final: através de decantadores finais retangulares com remoção de lodo por sifão flutuante e removedor de espuma, sendo dois decantadores finais por módulo com largura interna de 12 m, comprimento interno de 75 m, profundidade útil de 2 m e tempo de detenção de 3 h e 50 min.

O lançamento do efluente da ETE é feito no Arroio Cadena.

#### 4.3.3 ETE IN

Este curtume, localizado em Estância Velha, iniciou suas atividades com pequenas instalações. Entretanto, com o desenvolvimento do setor coureiro, é atualmente um dos maiores do estado.

O número de peles convertidas em couro é de 3200 peles/dia, ou seja, aproximadamente 100 t/dia. Baseado nos dados propostos por DÓRIA (1961), de que cada pele pesa aproximadamente 30 kg e a produção de lodo seco é de 0,1 kg/kg de pele temos que a produção de lodo seco do curtume em estudo é de cerca de 9,6 t/dia.

Este curtume gasta aproximadamente 100.000 US\$ para tratar 60.000 m<sup>3</sup> por mês de efluente líquido, ou seja, 1,67 US\$/m<sup>3</sup>.

Os insumos utilizados para o tratamento do efluente da ETE são o sulfato de alumínio e os polieletrólitos, tendo como finalidade flocular os sólidos aumentando o tamanho das partículas facilitando a operação de desaguamento ou a do adensamento.

O lodo gerado é desaguado em centrífugas, agregando as partículas e aumentando o seu tamanho facilitando a remoção da

água após é disposto em plantações de acácias.

A figura 4.1 apresenta as unidades de tratamento do curtume em questão.

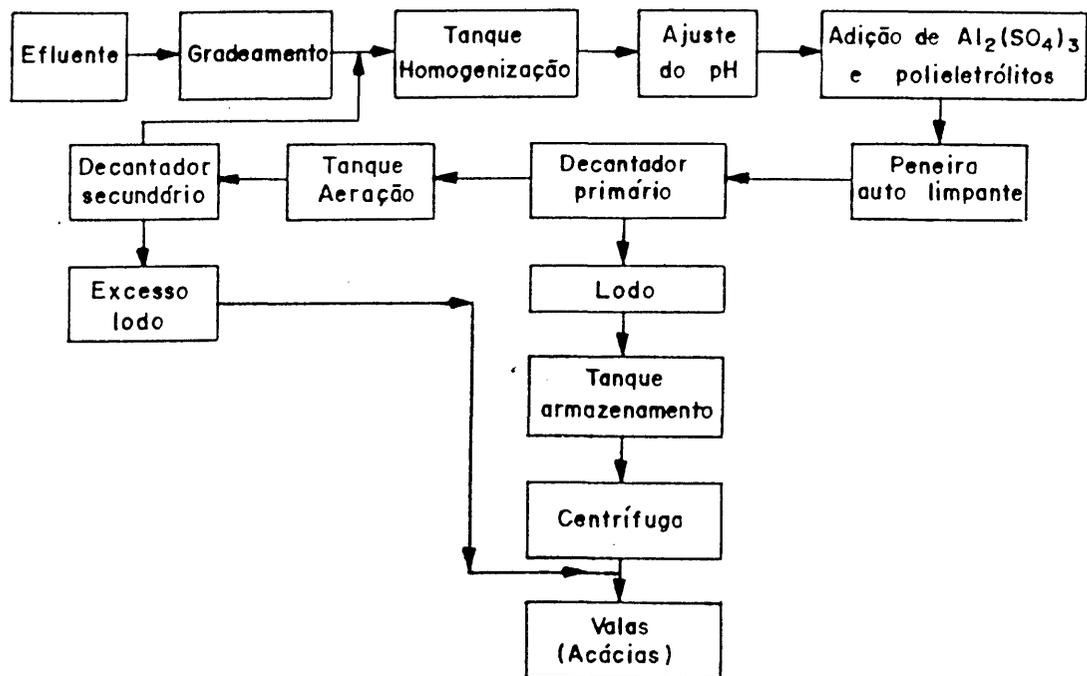


FIGURA 4.1 - Fluxograma geral do tratamento dos despejos da ETE IN.

#### 4.4 Coleta e preservação das amostras de lodo

O plano de amostragem foi esquematizado em função das seguintes características:

- 1 - propósito do trabalho;
- 2 - disponibilidade de recursos e tempo;
- 3 - disponibilidade de pessoal técnico; e
- 4 - disponibilidade de vidrarias, equipamentos e reagentes.

A influência dos recursos e tempo determinaram que apenas um ponto fosse amostrado por ETE, porém a amostra no laboratório sofreu uma divisão em cinco partes, ou seja, a análise foi repetida cinco vezes para cada parâmetro.

Os pontos e as datas das campanhas da coleta das amostras estão descritas abaixo:

- ETE DM - saída do tanque IMHOFF em 30/06/92.
- ETE IN - após o decantador primário em 28/07/92.
- ETE CS - após o decantador primário em 10/08/92.

Durante a coleta foi observada a existência de lançamentos de resíduos indesejáveis como óleos&graxas, detergentes, corantes e altas temperaturas; no ponto de captação do lodo, a existência de algum problema visível; e verificação do estado de conservação da ETE.

Os parâmetros temperatura do ar e do lodo foram medidos no campo no momento da coleta.

As amostras de lodo foram preservadas a 4 °C em refrigerador, as análises imediatas eram efetuadas logo na chegada ao laboratório, quando possível, o que não aconteceu no caso da amostra da ETE CS, devido a distância.

#### 4.5 Análises das amostras

As análises das amostras de lodo foram realizadas no laboratório de Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas e no Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Antes da retirada das amostras de lodo para a análise o lodo

no tambor plástico foi homogeneizado através de forte agitação.

A tabela 4.1 apresenta a relação dos parâmetros analisados e a técnica utilizada e a referência de onde foi retirada a técnica, uma vez que não existem técnicas padrões para a análise de lodo de esgotos.

Na tabela 4.2 estão descritas as adaptações realizadas nas técnicas utilizadas e na tabela 4.3 são apresentadas as diluições dos lodos amostrados.

TABELA 4.1 - Relação dos parâmetros analisados, técnicas utilizadas e referências bibliográficas.

PARÂMETRO	TÉCNICA UTILIZADA	REFERÊNCIA
Alcalinidade	Titulação com pH determinado	STANDARD (1989)
Amônia	Destilação e titulação com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	STANDARD (1989)
Carbono orgânico	Walkley-Black com calor externo	TEDESCO et al. (1985)
Cloreto	Argentométrico	STANDARD (1989)
Coliforme total e fecal	Tubos múltiplos	STANDARD (1989) e CETESB (1985)
Condutividade	Condutimétrica	STANDARD (1989)
DBO	Manométrica	CETESB (s.d.)
Densidade específica	Comparativo	STANDARD (1989)
DQO	Refluxo com dicromato	STANDARD (1989)
Dureza	Complexométrico do EDTA	STANDARD (1989)
Fenol	Bromato brometo de potássio	STANDARD (1989)
Fósforo	Cloreto estanoso	STANDARD (1989)
Lixiviação	Lixiviação de resíduos	ABNT (1987 c)
Metais	Espectrofotometria de absorção atômica	STANDARD (1989)
Nitrato	Ácido fenoldissulfônico	STANDARD (1989)
Nitrogênio orgânico	Destilação e titulação com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	STANDARD (1989)
Óleos & graxas	Extração com SOXLET	STANDARD (1989)
pH	Potenciométrica-pHmetro	STANDARD (1989)
Resistência específica	Resistência específica	ALMEIDA et al. (1991a e 1991b)
ST	Evaporação e secagem a 103 °C	STANDARD (1989)
STF	Secagem a 550°C	STANDARD (1989)
STV	Diferença entre ST e STF	STANDARD (1989)
SDT	Filtração, evaporação, secagem a 103°C	STANDARD (1989)
SDF	Secagem a 550°C	STANDARD (1989)
SDV	Diferença entre SDT e SDF	STANDARD (1989)
SS	Diferença entre ST e SD	STANDARD (1989)
Solubilização	Solubilização de resíduos	ABNT (1987 c)
Sulfato	Precipitação com BaCl <sub>2</sub>	STANDARD (1989)
Sulfeto	Acetato de zinco	DMAE (1979)
Surfactantes	Azul de metileno	STANDARD (1989)
Temperatura	Termômetro de mercúrio	STANDARD (1989)

TABELA 4.2 - Adaptações nas técnicas utilizadas.

PARÂMETRO		ADAPTAÇÕES NA TÉCNICA
Alcalinidade	(1)	titulação com $H_2SO_4$ 0,1 N
Amônia	(1)	1g de lodo úmido; ajuste a pH 9,5 com NaOH 6 N; titulação com $H_2SO_4$ 0,1 N
Cloretos e Nitratos	(2)	adicionou-se 6 ml de $Al(OH)_3$ para decorar a amostra
Dureza	(3)	adicionou-se 20 ml de HCl 1 N para dissolver o resíduo de lodo; ajuste a pH 7 com NaOH 6 N
Fosfato total	(2)	adicionou-se NaOH 6 N para desenvolver a coloração rosada
Nitrogênio total	(1)	titulação com $H_2SO_4$ 0,1 N
Óleos&graxas	(4)	10 g de lodo úmido e 12,5 g de sulfato de magnésio monohidratado
Sólidos totais	(5)	30 g de lodo homogeneizado
Sulfato	(6)	100 ml de amostra evaporando até 5 ml na chapa de aquecimento
Solubilização	(7)	50 g de lodo base úmida e 200 ml de água deionizada

(1) Para acelerar a velocidade de reação utilizou-se um ácido mais concentrado.

(2) Devido a coloração intensa das amostras.

(3) A destruição da matéria orgânica é um tratamento requerido na análise de dureza. Evaporou-se a amostra até a secagem no banho maria e após coloca-se na mufla a 550 °C até a completa oxidação resultando um resíduo. Para dissolver o resíduo usa-se HCl 1 N.

(4) Utilizou-se metade da amostra recomendada pela técnica, devido ao tamanho dos cartuchos.

(5) Adotou-se o valor médio dos propostos pela técnica.

(6) Usou-se uma amostra com volume maior a fim de facilitar a observação da evaporação para 5 ml.

(7) Utilizou-se uma amostra de volume menor devido a restrição de material (vidraria).

TABELA 4.3 - Percentagem de diluição dos lodos de ETEs.

PARÂMETRO	ETE DM	ETE IN	ETE CS
Alcalinidade	20	10	20
Cloreto	20	1	20
DBO	-	5	-
DQO	1	1	1
Dureza	20	10	20
Fenol	20	10	10
Fosfato total	1	5	5
Nitrato	10	10	10
Sulfato	20	20	20
Sulfeto	20	5	20
Surfactantes	1	1	1

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item é feita uma análise comparativa dos dados obtidos junto à FEPAM/RS com os padrões da NBR 10.004 - Resíduos sólidos: classificação, com relação as análises dos lodos coletados é verificada a precisão das técnicas analíticas utilizadas, a qualidade dos lodos amostrados e é realizada uma análise comparativa com dados da revisão bibliográfica.

### 5.1 Dados obtidos junto à FEPAM

Este trabalho de dissertação teve início com a seleção das indústrias mais significativas no estado do Rio Grande do Sul. A FEPAM forneceu-nos uma relação das indústrias e suas matérias primas dando início ao trabalho propriamente dito.

A FEPAM possui cerca de 263 indústrias em SISAUTO. Na tabela 5.1 é apresentado os principais ramos industriais cadastrados no SISAUTO, até outubro de 1991.

TABELA 5.1 - Ramo industrial em SISAUTO.

RAMO INDUSTRIAL	Nº INDÚSTRIAS	%
Curtume	83	31,56
Metalúrgica	41	15,59
Acabamento de couros	22	8,37
Matadouro/frigorífico	20	7,60
Abatedouro de aves	10	3,80
Bebidas (sucos)	8	3,04
Beneficiamento fibras	7	2,66
Papel, cartonagem	7	2,66
Derivados do leite	5	1,90
Refino óleos vegetais	5	1,90
Outros	55	20,92

As indústrias, devido a diversidade de atividades e diferentes graus de sofisticação tecnológica, geram lodos com as mais diversas características, podendo aparecer em suas composições desde nutrientes até substâncias altamente agressivas ao meio ambiente e à saúde pública.

Os lodos gerados podem atingir quantidades bastante significativas, como ocorre com algumas indústrias em SISAUTO, por exemplo os curtumes com uma produção média de 176 t/mês; metalúrgicas com 55 t/mês; fábricas de tintas com 4,90 t/mês; e lanifícios com 4 t/mês.

Analisando-se os dados obtidos junto à FEPAM verificou-se as formas de tratamento final dadas aos lodos gerados, sendo que os resultados encontram-se na tabela 5.2.

TABELA 5.2 - Disposição final dos lodos gerados pelas indústrias em SISAUTO.

DISPOSIÇÃO	RAMO INDUSTRIAL (%)			
	BEBIDAS	CURTUMES	METALÚRGICAS	OUTROS
Adubo/fertilizante	20			
Agricultura	30	6,95		8,67
Aterro sanitário	25	25,00	23,80	33,34
Desconhecido (1)		0,70		
Leitos de secagem (2)		40,27	38,10	41,66
Prefeitura (3)		6,25	4,76	8,33
Reciclagem			4,74	
Reflorestamento			4,70	
Tonéis	25			
Valas		7,64	4,76	8,00
Sem informação		13,19	19,14	

(1) Retirados por terceiros com destino desconhecido.

(2) Utilizado no desaguamento do lodo.

(3) Locais administrados pela Prefeitura Municipal.

Com o objetivo de diagnosticar-se a situação atual do tratamento, disposição e utilização do lodo gerado nos curtumes do estado do Rio Grande do Sul e propiciar subsídios para uma

discussão de propostas e elaboração de diretrizes para o gerenciamento e práticas de disposição de lodos no estado, selecionou-se para este trabalho 75 curtumes.

#### 5.1.1 Análise comparativa com padrões da NBR 10.004 Resíduos sólidos: classificação

Neste item será abordado a situação e os resultados das análises dos curtumes no estado do Rio Grande do Sul. Estes dados estão apresentados nas Planilhas em Excel, no Anexo 1. Algumas conclusões podem ser retiradas dessas tabelas:

1 - O levantamento de dados mostra que 24 % dos curtumes são oriundos do município de Estância Velha; seguido dos municípios de Novo Hamburgo (20 %); Portão (8 %); Ivoti (6,65 %); São Leopoldo e Teutônia (4 %); Campo Bom, Lajeado e Pelotas(2,65 %); e outros (25,40 %).

2 - Com relação a produção de lodos observa-se que 20 % dos curtumes geram menos do que 5 t/mês; 13,34 % de 8 a 16 t/mês; 14,66 % de 22 a 35 t/mês; 13,34 % de 36 a 50 t/mês; 12 % de 60 a 90 t/mês; 12 % de 100 a 250 t/mês; 5,33 % de 300 a 450 t/mês; 4 % maior do que 1000 t/mês; e 5,33 % dos curtumes não possuem informação sobre produção de lodo.

3 - A densidade do lodo dos curtumes varia entre 1,0 e 1,678; 52 % dos curtumes têm densidade menor ou igual a 1,25; 10,67 % de 1,35 a 1,678; e 37,33 % dos curtumes não apresentam informação sobre a densidade do lodo.

4 - A variação do pH do lodo dos curtumes é de 6 a 11,81. 34,67 % dos curtumes apresentam informação, sendo que 5,34 % dos curtumes possuem pH ácido e 29,33 % pH básico.

5 - O teor de sólidos totais é da ordem de 0,633 a 32,48 %; 60 % dos curtumes apresentam sólidos totais até 5 %; 10,66 % de 5,1 a 10 %; 10,66 % de 10 a 20 %; 4 % maior que 20 %; e 14,68 % dos curtumes não apresentam informação do teor de sólidos totais.

6 - O teor de umidade do lodo é um fator importante nas etapas de tratamento. O teor de umidade dos curtumes varia de 66,5 a 99,36 %. Entretanto, a faixa de 66,5 a 89,69 % (17,33 %) são de lodos de curtumes que já sofreram algum tipo de tratamento e/ou disposição. 22,66 % dos curtumes apresentam teor de umidade de 91 a 95 %; 46,67 % maior que 95 % e 13,34 % sem informação.

7 - Os parâmetros DBO, DQO, carbono e cálcio apresentam poucos dados, dificultando alguma discussão.

8 - A faixa de variação da concentração de fosfato total é de 0,35 a 1800 mg/kg. A faixa de 0,35 a 40 mg/kg (6,66 %) é com relação a base úmida. Dos curtumes, 4 % indicam um teor de fosfato total de 132,04 a 150 mg/kg; 4 % de 1330 a 1800 mg/kg; e 85,34 % dos curtumes sem informações.

9 - Com relação a matéria orgânica dos curtumes com informação (38,66 %), 30,67 % possuem em base seca uma variação de 46 a 99,65 % e em base úmida, de 2,65 a 35,7 %.

10 - Para os parâmetros nitrogênio total e amoniacal, poucos curtumes apresentam estes dados. Dos 18,66 % curtumes que apresentam dados a faixa de variação é de 53,9 a 96.000 mg/kg; os baixos valores talvez sejam referentes a base úmida. Para o nitrogênio amoniacal 5,32 % dos curtumes demonstram valores de ND a 3000 mg/kg.

11 - 22,67 % dos curtumes apresentam um teor de óleos&graxas da ordem de 0,0079 a 4,96 %. Destes, 14,67 % possuem valores menores

que 3 % e 8 % maior que 3 %. Os curtumes sem informação alcançam um índice de 77,33 %.

12 - Verifica-se com relação aos sulfetos que 65,33 % dos curtumes estão sem informação. Dos curtumes restantes (22,66 %), exibem uma faixa de variação de ND a 8,72 mg/kg; 6,67 % de 360 a 1000 mg/kg e 5,34 % de 2000 a 9500 mg/kg.

13 - De acordo com a NBR 10.004/87 - Resíduos sólidos: classificação; Listagem 7 - Concentração Limite Máximo no Extrato Obtido no Teste de Lixiviação, e na Listagem 8 - Padrões de Solubilização, pode-se verificar o atendimento dos curtumes aos padrões exigidos pela FEPAM/RS. Estes resultados estão na tabela 5.3.

TABELA 5.3 - Percentagem de atendimento aos padrões de lixiviação e solubilização da NBR 10.004/87 - Resíduos Sólidos: classificação - pelas indústrias em SISAUTO.

PARÂMETRO	LIXIVIAÇÃO (%)			SOLUBILIZAÇÃO (%)		
	SIM	NÃO	S.I.	SIM	NÃO	S.I.
Alumínio				2,66	16,00	81,34
Arsênio	30,67		69,33	17,33		82,67
Bário	21,33		78,67	17,34		82,66
Cádmio	34,67	1,34	63,99	14,66	5,34	80,00
Chumbo	32,00		68,00	12,00	10,67	77,33
Cloreto				8,00	24,00	68,00
Cobre	25,34		74,66	18,66	1,34	80,00
Cromo total	22,67	25,34	51,99	5,34	13,33	81,33
Dureza				4,00	16,00	80,00
Fenol				1,34	22,67	75,99
Ferro				4,00	13,34	82,66
Manganês				5,33	10,67	84,00
Mercúrio	34,67	6,67	58,66	25,33	2,66	72,01
Nitratos				28,00	2,66	69,34
Sódio				2,66	17,33	80,01
Sulfatos				1,34	16,00	82,66
Surfactantes				8,00	9,34	82,66
Zinco				30,67		69,33

SIM = Atende ao padrão

NÃO = Não atende ao padrão

S.I.= Sem informação

## 5.2 Análise dos lodos coletados

### 5.2.1 Verificação da precisão das técnicas analíticas utilizadas

De acordo com STANDARD (1989) se uma quantidade física for medida repetidas vezes, com o mesmo instrumento e pelo mesmo observador, os resultados obtidos nas sucessivas medidas diferirão, em extensão maior ou menor, do valor verdadeiro, e também entre si. Estando as medidas sujeitas a uma certa incerteza e o observador defronta-se com o problema de definir o melhor valor. Os resultados podem ser avaliados sob dois diferentes aspectos o da fidelidade e o da reprodutibilidade.

Usa-se o termo exatidão para indicar a fidelidade da medida, ou seja, o grau de concordância do valor achado experimentalmente com o valor verdadeiro. O termo precisão, por sua vez, é usado para indicar a reprodutibilidade, isto é, o grau de concordância dos resultados individuais dentro de uma série de medidas. A precisão é alta ou baixa, conforme seja menor ou maior a dispersão dos resultados individuais (RAIJ et al., 1987; STANDARD, 1989).

Quando uma análise é repetida várias vezes, com o maior cuidado por uma pessoa, em condições de trabalho tão uniformes quanto possível, ainda assim os resultados individuais obtidos costumam acusar pequenas diferenças. As diferenças revelam a presença de erros indeterminados, que refletem a incerteza do método empregado. Pode-se citar como erros variações de temperatura, calcinação não completa e volatilização de elementos. Os erros indeterminados não podem ser localizados e, portanto, também não são passíveis de correção. Entretanto, o tratamento estatístico dos erros indeterminados mostra que a média dos resultados é o valor mais provável de uma série de repetições.

Conhecendo-se as estimativas da média e do desvio padrão, têm-se a representação do conjunto, bem como da dispersão. Da relação do desvio padrão com a média outro parâmetro estatístico importante pode ser obtido, o coeficiente de variação (C.V.), o qual dá uma idéia da precisão dos dados, quanto menor o C.V. menor a dispersão e mais significativa é a análise. Neste trabalho será adotado um C.V. máximo de 20 %, ou seja, será considerada significativa uma análise com  $C.V. \leq 20 \%$ .

O lodo é um material físico e quimicamente heterogêneo. Portanto, determinações analíticas no lodo de esgoto estão sujeitas a variações maiores que em outros materiais de composição física e química, melhor definida. Deste modo, o controle da qualidade dos resultados das análises do lodo, deve ser suficientemente rigorosa a fim de evitar-se resultados discrepantes, a ponto de comprometer a sua interpretação. Por isso, é necessário adequar fundamentos da estatística aos resultados das análises dos lodos amostrados.

Em uma análise com repetições é freqüente a ocorrência de um resultado diferindo totalmente dos demais, afetando o cômputo da média. Se o resultado discrepante puder ser atribuído a algum erro definido, a rejeição é absolutamente normal, entretanto, nada autoriza a priori a rejeição de um resultado duvidoso. Caso ocorram resultados discrepantes dentro das determinações realizadas tal que o coeficiente de variação seja superior a 20%, será utilizado, nesta discussão, o critério de rejeição do resultado discrepante proposto por RAIJ et al. (1987), o qual está representado na figura 5.1.

Neste critério, considera-se como pertencentes a faixa ideal os resultados que encontram-se dentro do intervalo de confiança compreendido entre um desvio padrão abaixo e acima da média. A outra faixa, também aceitável, porém de precaução é aquela em que

os resultados estão compreendidos entre os intervalos calculados com um e dois desvios padrão. Os resultados que apresentam dispersão em relação à média superior a dois desvios padrão devem ser rejeitados, indicando que, na série de análises a que esse resultado pertence, existe um erro analítico.

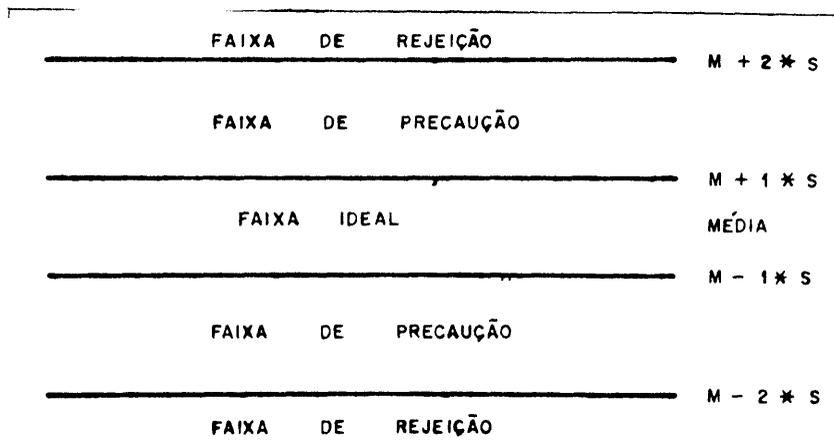


FIGURA 5.1 - Critério para a rejeição de um resultado discrepante.

M = média dos resultados.

S = desvio padrão dos resultados.

Examinando-se os dados da tabela 5.4 verifica-se quais as análises são significativas para os lotos amostrados, ou seja, aquelas que apresentam um coeficiente de variação menor ou igual a 20 %.

TABELA 5.4 - Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos lodos amostrados.

PARÂMETROS	UNIDADE	ETE DM			ETE IN			ETE CS		
		MÉDIA	DESVIO	C. V.	MÉDIA	DESVIO	C. V.	MÉDIA	DESVIO	C. V.
FÍSICOS										
Condutividade	umho/cm	1880,00	27,39	1,46	10880,00	109,55	1,00	370,00	12,25	3,31
Densidade específica		1,03	0,02	1,46	1,03	0,01	0,97	0,95	0,01	1,05
pH		6,70	0,00	0,00	7,13	0,01	0,17	6,60	0,03	0,41
Resistência específica	s <sup>2</sup> /g	2,35 E7	2,25 E6	9,86	2,31 E7	1,56 E6	6,49	1,95 E8	3,99 E8	205,20
ST	%	8,08	0,02	0,24	4,79	0,17	3,55	1,30	0,11	8,46
STV	%	3,92	0,01	0,31	2,99	0,10	3,24	0,87	0,11	12,64
STF	%	4,17	8,37 E-3	0,20	1,80	0,12	6,11	0,43	0,01	3,02
SDT	%	0,13	1,58 E-3	1,22	1,25	0,02	1,92	0,05	3,42 E-3	6,45
SDV	%	0,06	1,67 E-3	2,61	0,95	0,01	1,05	0,02	1,79 E-3	7,78
SDF	%	0,07	2,07 E-3	3,14	0,30	0,03	9,66	0,03	2,70 E-3	9,00
SST	%	7,95	0,02	0,24	3,54	0,15	4,24	1,25	0,11	8,80
SSV	%	3,86	0,01	0,31	2,04	0,09	4,41	0,85	0,11	12,97
SSF	%	4,10	8,70 E-3	0,21	1,50	0,09	5,93	0,40	0,01	2,75
Temperatura do lodo	°C	19,00	0,00	0,00	26,00	0,00	0,00	16,00	0,00	0,00
Umidade	%	91,92	0,02	0,02	95,21	0,17	0,18	98,70	0,11	0,11
QUÍMICOS										
Alcalinidade total	mg/l	528,77	3,18	0,60	603,11	19,74	3,27	185,11	13,82	7,47
Carbono orgânico	%	26,67	0,27	1,01	24,34	2,89	11,88	25,15	0,88	3,50
Cloretos	mg/kg	27,97	0,68	2,43	1813,62	86,65	4,78	212,14	18,61	8,77
DBO	mg/kg	67,83	2,54	3,74	1095,30	89,88	8,20	124,86	11,13	8,91
DQO	mg/kg	9402,44	2556,25	27,19	13526,95	2073,47	15,33	41493,80	4505,16	10,86
Dureza total	mg/kg	211,93	17,06	8,03	839,11	151,89	18,10	1791,92	164,30	9,17
Fenol	mg/kg	415,26	8,46	2,04	432,76	24,75	5,72	1400,88	43,02	3,07
Fosfato total	mg/kg	117,11	1,85	1,58	50,73	0,31	0,61	328,57	11,47	3,49
Nitrato	mg/kg	6,44	0,62	9,63	4,44	1,19	26,83	0,71	0,11	15,60
Nitrogênio amoniacal	mg/g	10,46	1,65	15,77	11,44	1,84	16,17	27,83	6,18	22,20
Nitrogênio orgânico	mg/g	148,95	2,49	1,67	24,89	1,84	7,39	66,98	11,01	16,44
Nitrogênio total	mg/g	159,41	1,40	0,88	36,33	3,69	10,16	96,50	10,48	10,86
Óleos & Graxas	%	0,82	0,20	24,51	30,56	2,09	6,84	83,38	3,80	4,55
Sulfatos	mg/kg	0,41	0,02	5,37	263,68	14,88	5,64	38,57	5,33	13,82
Sulfetos	mg/kg	0,60	0,13	21,81	14,71	2,18	14,82	9,83	4,15	42,20
Surfactantes	mg/kg	14,77	1,39	0,41	26,33	9,09	34,53	41,06	2,17	5,28
BIOLÓGICOS										
Coliforme total	org/100g	1,29 E7	1,86 E7	144,35	1,10 E7	4,85 E6	44,07	3,28 E6	3,91 E6	119,22
Coliforme fecal	org/100g	2,01 E6	1,25 E6	61,89	1,16 E5	7,95 E4	68,19	1,80 E5	3,40 E5	188,48

Da tabela 5.4 conclui-se:

1 - As análises de condutividade, densidade específica, pH, temperatura, umidade e fosfato total exibem um coeficiente de variação menor que 5 % (são análises com alto nível de significância/precisão) para os três tipos de lodos amostrados, correspondendo a 18,18 % das análises realizadas.

2 - As análises de ST, STF, SDT, SDV, SDF, SST, SSF, alcalinidade, cloretos, DBO e fenol indicaram um coeficiente de variação entre 5 e 10 % para os três tipos de lodos amostrados, representando 33,33 % das análises efetuadas.

3 - As análises de STV, SSV, carbono orgânico, dureza total, nitrogênio total e sulfatos apresentam um coeficiente de variação entre 10,1 e 20 % para os três lodos amostrados, representando 21,22 % das análises executadas.

4 - As análises de DQO, óleos&graxas e sulfetos do lodo da ETE DM; as análises de nitratos e surfactantes do lodo da ETE IN; as análises de resistência específica e sulfetos do lodo da ETE CS e as análises de coliforme total e fecal dos três lodos não apresentaram significância (C.V.  $\leq$  20 %), podendo ter como causa os erros inerentes aos métodos aplicados ao processo analítico usado, tendo sua origem nas propriedades físicas e químicas do lodo envolvido, nestas análises foi empregado o critério de rejeição para resultados discrepantes. Na tabela 5.5 estão descritas as faixas ideal e rejeição para os valores discrepantes destas análises podendo-se verificar se estes resultados realmente são divergentes.

TABELA 5.5 - Faixas ideal e rejeição para resultados discrepantes.

P A R Â M E T R O	MÉDIA (H)	DESVIO (S)	C.V. (%)	FAIXA IDEAL		FAIXA REJEIÇÃO	
				(M-S)	(M+S)	(M+2S)	(M-2S)
DQO - mg/kg (1)	9402,44	2556,25	27,19	6846,19	11958,69	14514,99	4289,94
Óleos&graxas - % (1)	0,82	0,20	24,51	0,62	1,02	1,22	0,42
Nitratos - mg/kg (2)	4,44	1,19	26,83	3,25	5,63	6,82	2,06
Surfactantes - mg/kg (2)	26,33	9,09	34,53	17,24	35,42	44,51	8,15
Resistência específica - s <sup>2</sup> /cm (3)	1,95 E8	3,99 E8	205,20	0,00	5,95 E8	9,90 E8	0,00
Sulfetos - mg/kg (1)	0,60	0,13	21,81	0,47	0,73	0,86	0,34
(3)	9,83	4,15	42,20	5,68	13,98	18,13	1,53
Coliforme total org/100 g (1)	1,29 E7	1,86 E7	144,35	0,00	3,15 E7	5,01 E7	0,00
(2)	1,10 E7	4,85 E6	44,07	6,15 E6	1,58 E7	2,07 E7	1,30 E6
(3)	3,28 E6	3,91 E6	119,22	0,00	7,19 E6	1,10 E7	0,00
Coliforme fecal org/100 g (1)	2,01 E5	1,25 E6	61,89	7,69 E5	3,27 E6	4,51 E6	0,00
(2)	1,16 E5	7,95 E4	68,19	3,70 E4	1,96 E5	2,75 E5	0,00
(3)	1,80 E5	3,40 E5	188,48	0,00	5,21 E5	8,62 E5	0,00

(1) Lodo ETE DM.

(2) Lodo ETE IN.

(3) Lodo ETE CS.

Da tabela 5.5 algumas conclusões podem ser obtidas tais como:

1 - Lodo da ETE DM: nas análises de DQO, óleos&graxas, coliforme total e coliforme fecal os resultados, respectivamente, 4930,93 mg/kg; 0,47 %; 4,6 E7 org/100g; e 4,9 E5 org/100g, situam-se na faixa de precaução, não podendo ser descartados.

2 - Lodo da ETE IN: nas análises de nitratos, surfactantes, coliforme total e coliforme fecal os resultados, respectivamente, 2,76 e 5,73 mg/kg; 42,16 mg/kg; 5 E6 e 1,6 E7 org/100g; e 2,3 E5 e 1,3 E4 org/100g pertencem a faixa de precaução, não devendo ser desconsiderados.

3 - Lodo da ETE CS: nas análises de resistência específica, sulfetos, coliforme total e coliforme fecal os resultados, respectivamente, 9,1 E8 s<sup>2</sup>/g; 4,61 e 15,37 mg/kg; 9,2 E6 org/100g; e 7,9 E5 org/100g encontram-se na faixa de precaução, não podendo ser rejeitados.

Os resultados da análise estatística das concentrações de metal total, lixiviado e solubilizado dos lodos amostrados são apresentados nas tabelas 5.6, 5.7 e 5.8. Analisando-se os resultados destas tabelas pode-se fazer as seguintes considerações:

Da tabela 5.6:

- 87,5 % dos metais totais analisados apresentam C.V.  $\leq$  20 %, sendo que 6,25 % possuem C.V.  $<$  5 %; 37,5 % C.V. entre 5 e 10 %; 18,75 % C.V. entre 10,1 e 15 %; 25 % C.V. entre 15,1 e 20 %; e 12,5 % dos metais têm C.V.  $>$  20 %. Verificou-se através do critério de rejeição proposto que o descarte dos resultados de metais que apresentassem C.V.  $>$  20 % não é possível uma vez que estes resultados encontram-se na faixa de precaução, como é mostrado na tabela 5.9. Os resultados que seriam rejeitados na hipótese inicial são: lodo ETE DM: bário = 30,94 mg/kg e mercúrio = 0,062 e 0,12 mg/kg; lodo ETE IN: bário = 68,95 mg/kg e arsênio = 0,14 mg/kg; lodo ETE CS: arsênio = 0,39 mg/kg; bário = 12,29 mg/kg e mercúrio = 0,38 e 0,69 mg/kg.

Da tabela 5.7:

- 81,25 % dos metais lixiviados analisados têm C.V.  $\leq$  20 %; destes 18,75 % dos metais lixiviados possuem C.V. entre 5 e 10 %; 25 % C.V. entre 10,1 e 15 %; 37,5 % C.V. entre 15,1 e 20 %; e 18,75 % dos metais lixiviados exibem um C.V.  $>$  20 %. A tabela 5.9

mostra que é impossível rejeitar os resultados dos metais lixiviados que apresentam um C.V. > 20 %, já que estes resultados acham-se inseridos na faixa de precaução. Os resultados que seriam rejeitados na hipótese inicial são: lodo ETE DM: alumínio = 1,10 mg/l, arsênio = 0,003 mg/l, manganês = 0,37 mg/l e mercúrio = 0,005 e 0,009 mg/l; lodo ETE IN: alumínio = 1,0 mg/l, arsênio = 0,004 mg/l, bário = 0,70 mg/l e mercúrio = 0,005 mg/l; lodo ETE CS: alumínio = 1,2 mg/l, arsênio = 0,001 mg/l (limite da faixa) e mercúrio = 0,002 mg/l.

Da tabela 5.8:

- 68,75 % dos metais solubilizados analisados apresentam C.V.  $\leq$  20 %, destes 6,25 % possuem C.V. < 5 %; 6,25 % C.V. entre 5 e 10 %; 25 % C.V. entre 10,1 e 15 % e 31,25 % C.V. entre 15,1 e 20 %. A análise de solubilização de metais foi a que apresentou resultados menos significativos (C.V.  $\leq$  20 %). Com base na tabela 5.9 pode-se verificar que os metais solubilizados apresentam maior número de resultados com hipótese de rejeição. Os resultados que seriam descartados na hipótese inicial são: lodo ETE DM: alumínio = 0,92 mg/l, bário = 0,21 e 0,52 mg/l, mercúrio = 0,002 mg/l e níquel = 0,04 e 0,09 mg/l; lodo ETE IN: arsênio = 0,001 mg/l, bário = 0,005 mg/l e mercúrio = 0,004 mg/l; lodo ETE CS: alumínio = 0,60 mg/l, arsênio = 0,001 mg/l, bário = 0,10 e 0,19 mg/l, mercúrio = 0,005 mg/l e níquel = 0,11 mg/l.

TABELA 5.6 - Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de metais totais em mg/kg dos lodos amostrados.

METAL	LODO ETE DM			LODO ETE IN			LODO ETE CS		
	MÉDIA	DESVIO	C.V.	MÉDIA	DESVIO	C.V.	MÉDIA	DESVIO	C.V.
Alumínio	944,60	8,13	0,86	1454,24	211,02	14,50	454,90	59,10	12,99
Arsênio	0,42	0,07	16,82	0,09	0,03	32,05	0,63	0,14	22,22
Bário	17,70	9,58	54,13	36,94	19,42	52,57	92,67	46,29	49,95
Cádmio	4,50	0,88	19,54	4,20	0,10	2,26	7,73	0,35	4,53
Cálcio	1749	99,94	5,71	3214,73	181,13	5,63	1451,15	78,31	5,40
Chumbo	3,56	0,25	7,01	4,51	0,47	10,42	14,60	1,66	11,37
Cobre	26,81	5,26	19,62	26,61	0,35	1,32	23,85	4,73	19,83
Cromo total	1,54	0,28	18,23	115,57	9,87	8,54	3,80	0,73	19,23
Ferro	8,89	0,49	5,51	26,80	1,04	3,88	32,40	1,91	5,90
Magnésio	386,60	20,65	5,34	657,96	26,15	3,97	814,29	11,90	1,46
Manganês	25,89	2,33	8,99	4,80	0,15	3,13	151,68	5,23	3,45
Mercúrio	0,09	0,02	25,33	0,07	0,01	16,33	0,55	0,13	23,55
Níquel	4,13	0,21	5,08	4,47	0,54	12,09	10,30	1,17	11,36
Potássio	52,95	4,18	7,89	13,84	0,39	2,82	39,66	3,54	8,92
Sódio	23,37	1,8	7,70	54,72	0,77	1,41	79,39	2,21	2,78
Zinco	138,52	2,85	2,06	71,69	1,06	1,48	150,40	4,88	3,24

C.V. - Coeficiente de variação em percentagem.

TABELA 5.7 - Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de metais lixiviados em mg/l dos lodos amostrados.

METAL	LODO ETE DM			LODO ETE IN			LODO ETE CS		
	MÉDIA	DESVIO	C.V.	MÉDIA	DESVIO	C.V.	MÉDIA	DESVIO	C.V.
Alumínio	0,64	0,26	40,88	0,58	0,25	43,10	0,53	0,40	75,18
Arsênio	0,002	5,4E-3	22,82	0,003	8,9E-4	34,40	0,002	5,5E-4	34,23
Bário	0,56	0,06	10,36	0,50	0,13	26,20	0,19	0,01	6,32
Cádmio	0,27	0,05	17,91	0,09	0,004	3,81	0,08	0,005	5,39
Cálcio	4,83	0,45	9,31	123,86	8,12	6,56	15,49	1,35	8,72
Chumbo	ND	-	-	0,12	0,008	6,89	0,07	0,006	9,72
Cobre	0,19	0,02	7,73	0,08	0,009	10,64	0,08	0,01	17,03
Cromo total	0,04	0,007	18,23	0,35	0,01	3,11	0,02	0,002	14,68
Ferro	0,49	0,09	19,26	0,37	0,04	11,02	0,15	0,005	3,04
Magnésio	1,63	0,11	6,77	24,71	0,68	2,75	7,02	0,35	4,99
Manganês	0,27	0,06	21,80	0,20	0,02	11,73	0,62	0,07	11,25
Mercúrio	0,007	0,002	23,53	0,003	0,001	50,00	0,006	0,003	46,77
Níquel	0,09	0,01	12,79	0,16	0,01	6,25	0,13	0,01	9,23
Potássio	2,47	0,43	17,39	0,46	0,03	6,25	0,38	0,05	1,19
Sódio	1,16	0,14	12,09	0,68	0,09	13,45	0,54	0,03	4,60
Zinco	2,57	0,18	7,00	1,54	0,03	2,14	0,48	0,05	10,21

C.V. - Coeficiente de variação em percentagem.

TABELA 5.8 - Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações de metais solubilizados em mg/l dos lodos amostrados.

METAL	LODO ETE DM			LODO ETE IN			LODO ETE CS		
	MÉDIA	DESVIO	C.V.	MÉDIA	DESVIO	C.V.	MÉDIA	DESVIO	C.V.
Alumínio	0,41	0,29	70,39	0,33	0,05	14,63	0,31	0,16	51,95
Arsênio	0,002	0	0	0,002	5,5E-4	34,18	0,002	5,5E-4	34,23
Bário	0,37	0,12	32,43	0,11	0,08	69,02	0,15	0,04	22,73
Cádmio	0,19	0,02	10,82	0,09	0,002	1,97	0,08	0,002	2,73
Cálcio	3,32	0,62	18,65	110,34	14,79	13,40	10,54	0,27	2,56
Chumbo	ND	-	-	0,12	0,008	6,78	0,06	0,006	10,99
Cobre	0,11	0,02	19,64	0,05	0,008	15,76	0,04	0,008	19,51
Cromo total	0,02	0,004	19,07	0,17	0,03	18,82	0,02	0,003	17,76
Ferro	0,28	0,01	3,95	0,33	0,04	10,84	0,14	0,006	3,82
Magnésio	1,43	0,01	0,77	21,33	0,88	4,12	1,82	0,06	3,19
Manganês	0,16	0,01	7,05	0,15	0,006	3,77	0,23	0,02	7,02
Mercúrio	0,001	4,5E-4	37,27	0,002	0,001	59,09	0,004	8,9E-4	24,85
Níquel	0,06	0,02	28,13	0,16	0,02	9,26	0,08	0,02	23,20
Potássio	1,95	0,27	13,85	0,46	0,04	8,04	0,37	0,01	2,96
Sódio	0,70	0,02	3,28	0,61	0,09	13,89	0,49	0,008	1,72
Zinco	1,10	0,02	19,16	0,42	0,02	4,50	0,23	0,04	17,24

C.V. - Coeficiente de variação em percentagem.

TABELA 5.9 - Faixa ideal e rejeição para resultados discrepantes de metais.

METAL	MÉDIA	DESVIO	C.V (%)	FAIXA IDEAL		FAIXA DE REJEIÇÃO	
				M+S	M-S	M+2S	M-2S
TOTAL (mg/kg)							
Bário (1)	17,70	9,58	54,13	27,28	8,12	36,86	ZERO
Mercúrio (1)	0,09	0,02	25,33	0,11	0,07	0,14	0,04
Arsênio (2)	0,09	0,03	32,05	0,11	0,06	0,15	0,03
Bário (2)	36,94	19,42	52,57	56,36	17,52	75,78	ZERO
Arsênio (3)	0,63	0,14	22,22	0,77	0,49	0,91	0,35
Bário (3)	92,67	46,29	49,95	138,96	46,38	185,25	0,09
Mercúrio (3)	0,55	0,13	23,55	0,68	0,42	0,81	0,29
LIXIVIADO (mg/l)							
Alumínio (1)	0,64	0,26	40,88	0,90	0,38	1,16	0,12
Arsênio (1)	0,002	5,47 E-4	22,82	0,003	0,002	0,003	0,001
Manganês (1)	0,27	0,06	21,80	0,32	0,21	0,38	0,15
Mercúrio (1)	0,007	0,002	23,53	0,008	0,005	0,01	0,004
Alumínio (2)	0,58	0,25	43,10	0,83	0,33	1,08	0,08
Arsênio (2)	0,003	8,94 E-4	34,40	0,003	0,002	0,004	8,11 E-4
Bário (2)	0,50	0,13	26,20	0,63	0,37	0,76	0,24
Mercúrio (2)	0,003	0,001	50,00	0,004	0,001	0,006	0,00
Alumínio (3)	0,53	0,40	75,18	0,93	0,13	1,33	ZERO
Arsênio (3)	0,002	5,48 E-4	34,23	0,002	0,001	0,003	5,04 E-4
Mercúrio (3)	0,006	0,003	46,77	0,009	0,003	0,01	4,00 E-4
SOLUBILIZADO (mg/l)							
Alumínio (1)	0,41	0,29	70,39	0,70	0,12	0,99	ZERO
Bário (1)	0,37	0,12	32,43	0,49	0,25	0,61	0,13
Mercúrio (1)	0,001	4,47 E-4	37,27	0,002	7,53 E-4	0,002	3,05 E-4
Níquel (1)	0,06	0,02	28,13	0,08	0,05	0,1	0,03
Arsênio (2)	0,002	5,47 E-4	34,18	0,002	0,001	0,003	5,06 E-4
Bário (2)	0,11	0,08	69,02	0,19	0,04	0,27	ZERO
Mercúrio (2)	0,002	0,001	59,09	0,004	9,00 E-4	0,005	ZERO
Alumínio (3)	0,31	0,16	51,95	0,47	0,15	0,63	ZERO
Arsênio (3)	0,002	5,48 E-4	34,23	0,002	0,001	0,003	5,04 E-4
Bário (3)	0,15	0,04	22,73	0,19	0,12	0,22	0,08
Mercúrio (3)	0,004	8,94 E-4	24,85	0,004	0,003	0,005	0,002
Níquel (3)	0,08	0,02	23,20	0,10	0,06	0,12	0,05

(1) Lodo da ETE DM.

(2) Lodo da ETE IN.

(3) Lodo da ETE CS.

### 5.2.2 Qualidade dos lodos amostrados

Analisando-se os dados contidos nas tabelas 5.4, 5.6, 5.7, 5.8, 5.10 e 5.11 pode-se fazer as seguintes observações:

1 - Os lodos das ETEs DM e CS, lodos de ETEs domésticas, apresentam um pH ácido e da ETE IN pH alcalino. O pH da ETE DM manteve-se constante ao longo das repetições da análise, entretanto, pequenas variações ocorreram na ETE CS (6,53 a 6,63) e na ETE IN (7,12 a 7,15). O pH alcalino da ETE IN é devido a presença de cálcio e magnésio provenientes do calceiro.

2 - A temperatura dos lodos e do ar foi medida no local da amostragem do lodo. Observa-se que a temperatura do lodo é superior a do ar, sendo que no caso da ETE IN é de aproximadamente duas vezes.

3 - A condutividade é importante no monitoramento dos lodos, estando relacionada proporcionalmente com o teor de sólidos dissolvidos e temperatura, como pode ser observado na tabela 5.4.

4 - A densidade específica dos lodos é de aproximadamente a 1.

5 - A umidade é uma propriedade importante para o lodo em digestão. A média na ETE DM foi de 91,92 %, na ETE IN de 95,21 % e na ETE CS de 98,70 %.

6 - O teor médio de sólidos da ETE DM é significativo (8,08 %), e da ETE CS é baixo (1,30 %).

7 - Os lodos amostrados das ETEs apresentaram valores baixos de alcalinidade, indicando a condição de lodo bruto. Os valores médios para as ETE DM, ETE IN e ETE CS foram de 528,77; 603,11; e 185,11 mg/l. O lodo com pH mais baixo corresponde a menor

alcalinidade. O carbonato de cálcio e de magnésio encontrado no lodo da ETE IN são responsáveis pela alcalinidade.

8 - A análise da DBO não é significativa para lodo de esgoto. Entretanto, pode-se relacionar a DBO com a DQO, verificando-se que os lodos estão parcialmente estabilizados.

9 - O lodo da ETE CS revela um valor médio alto de dureza total (1791,92 mg/kg), podendo este valor estar relacionado com a alta concentração dos metais alumínio, ferro, magnésio, cálcio e zinco (tabela 5.6).

10 - Elevados teores de amônia encontram-se em lodos ricos em substâncias biodegradáveis, como é o caso dos lodos das ETES amostrados. Tendo valores médios de 10,46 (ETE DM); 11,44 (ETE IN) e 29,69 mg/g (ETE CS).

11 - Na análise de óleos & graxas o valor médio de 30,56 % para a ETE IN era esperado, por causa do alto teor de gordura das peles, porém o da ETE CS não; este valor talvez seja devido a alguma descarga de óleo, sendo este valor é elevado para lodos domésticos.

12 - Os valores médios obtidos no lodo da ETE IN para sulfato (263,68 mg/kg) e sulfeto (14,71 mg/kg) é devido ao sulfato utilizado na acidificação das peles e ao sulfeto na depilação.

13 - O teor de potássio é baixo comparado com os de fósforo e nitrogênio para os três lodos amostrados.

14 - O alto conteúdo de sódio no lodo da ETE IN é devido ao uso de sódio na preservação e curtimento das peles. Em pequenas quantidades o efeito do sódio nas plantações é positivo, porém em altas concentrações pode destruir a estrutura do solo.

15 - O lodo da ETE IN contém alto teor de nitrogênio, cálcio, magnésio, ferro e cromo, mas pequeno de fósforo e potássio.

16 - O lodo da ETE CS apresentou significativos teores médios de nitrogênio total (96,50 mg/g), cálcio (1451,15 mg/kg), magnésio (814,29 mg/kg), carbono orgânico (25,15 %) e fósforo (328,77 mg/kg), porém os teores de potássio não foram tão significativos (39,66 mg/kg) e na ETE DM teores significativos de nitrogênio total (159,41 mg/g), cálcio (1749 mg/kg), magnésio (386,60 mg/kg) e carbono (26,67 %), mas os teores de fósforo (117,11 mg/kg) e potássio (52,95 mg/kg) são baixos.

17 - A relação C:N no lodos da ETE CS é de 2,6 %; no da ETE DM é de 1,67 e na ETE IN é de 0,0067. Devido a baixa relação C:N a decomposição dos lodos de curtume no solo é baixa.

18 - Dos micronutrientes o cloreto (ETE IN e ETE CS) e o zinco (ETE DM) apresentaram maior concentração nos lodos amostrados.

19 - A concentração de alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo, mercúrio e níquel nos lodos é uma preocupação constante, dado as suas propriedades tóxicas. As concentrações médias desses elementos tóxicos podem ser observadas na tabela 5.6.

20 - A presença de organismos patogênicos nos lodos é importante para o aproveitamento do lodo, tratado ou parcialmente tratado. Na tabela 5.4 são apresentados os valores médios para coliformes, indicadores de poluição fecal.

A tabela 5.10 mostra a percentagem lixiviada e solubilizada de macronutrientes, micronutrientes e outros metais, inclusive metais tóxicos.

TABELA 5.10 - Percentagem de metais lixiviados e solubilizados

METAIS	ETE DM			ETE IN			ETE CS		
	TOTAL (1)	LIX. (%)	SOL. (%)	TOTAL (1)	LIX. (%)	SOL. (%)	TOTAL (1)	LIX. (%)	SOL. (%)
Alumínio	944,60	0,07	0,04	1454,24	0,04	0,02	454,90	0,12	0,07
Arsênio	0,42	0,57	0,47	0,09	2,86	1,76	0,63	0,25	0,25
Bário	17,70	3,16	2,09	36,94	1,34	0,31	92,67	0,21	0,17
Cádmio	4,50	5,95	4,31	4,20	2,25	2,17	7,73	1,08	1,04
Cálcio	1749,00	0,28	0,19	3214,73	3,85	3,43	1451,15	1,07	0,73
Chumbo	3,56	ND	ND	4,51	2,71	2,62	14,60	0,44	0,37
Cobre	26,81	0,72	0,42	26,61	0,30	0,18	23,85	0,34	0,17
Cromo (2)	1,54	2,50	1,26	115,57	0,31	0,15	3,80	0,43	0,40
Ferro	8,89	5,49	3,11	26,80	1,39	1,24	32,40	0,46	0,44
Magnésio	386,60	0,42	0,37	657,96	3,75	3,24	814,29	0,86	0,22
Manganês	25,89	1,03	0,60	4,80	4,08	3,04	151,68	0,41	0,15
Mercúrio	0,09	7,49	1,32	0,07	3,81	2,99	0,55	1,12	0,65
Níquel	4,13	2,08	1,55	4,47	3,58	3,63	10,30	1,26	0,82
Potássio	52,95	4,67	3,68	13,84	3,35	3,32	39,66	0,95	0,94
Sódio	23,67	4,96	3,00	54,72	1,25	1,12	79,39	0,69	0,61
Zinco	138,52	1,86	0,79	71,69	2,15	0,59	150,61	0,32	0,15

(1) Metal total em mg/kg.

(2) Cromo total

% LIX. - Percentagem de metal lixiviado.

% SOL. - Percentagem de metal solubilizado.

ND - Não detectado (devido a sensibilidade do método utilizado).

Analisando-se estes resultados verifica-se que o macronutriente cálcio é o mais lixiviado na ETE IN e ETE CS e solubilizado na ETE IN; e o potássio é mais lixiviado na ETE DM e solubilizado na ETE DM e ETE CS. Com relação aos micronutrientes observa-se que o ferro apresenta maior lixiviação e solubilização na ETE DM e ETE CS e o manganês na ETE IN. Dos metais tóxicos o mercúrio é o mais lixiviado e o níquel solubilizado na ETE DM e ETE IN, e na ETE CS o níquel e cádmio são os mais lixiviados e solubilizados, respectivamente.

1 - A percentagem de sódio lixiviado e solubilizado na ETE DM foi de 1,86 e 0,79 %, enquanto que na ETE IN é de 2,15 e 0,59 % e na ETE CS é de 0,32 e 0,15 %.

2 - O cromo é um problema menor que o sulfeto devido a sua fraca solubilidade.

3 - O alumínio é o metal com menor mobilidade, destacando-se o arsênio, bário e cromo, sendo que o mercúrio é um dos elementos com maior mobilidade nos três lodos amostrados.

As concentrações de metais lixiviados e solubilizados dos lodos das ETEs foram comparados aos padrões determinados pela NBR 10.004/87 - Resíduos Sólidos: classificação e exigidos pela FEPAM/RS. A tabela 5.11 apresenta os valores correspondentes aos padrões de lixiviação e solubilização, contidos na NBR 10.004/87, adotados pelo Órgão Estadual de Controle Ambiental do RS, a FEPAM no monitoramento dos lodos das ETEs industriais e as concentrações médias dos metais dos lodos amostrados.

Da tabela 5.11 verifica-se:

1 - Todos os parâmetros dos três lodos amostrados atendem as exigências da NBR 10.004/87 - Resíduos sólidos: classificação, Listagem 7 - Concentração limite máximo no extrato obtido no teste de lixiviação.

2 - Diferentemente do item anterior, o lodo da ETE DM atende a 58,34 % das exigências da NBR 10.004/87 - Resíduos sólidos: classificação, Listagem 8 - Padrões de solubilização, ETE IN a 41,67 % e a da ETE CS a 50 % do padrão.

3 - Os metais alumínio, cádmio, cromo total, manganês e mercúrio não atendem ao padrão de solubilização nos três lodos amostrados,

bem como a concentração de chumbo (ETE IN e ETE CS) e ferro (ETE IN).

TABELA 5.11 - Padrões de lixiviação e solubilização da NBR 10004/87 e concentrações médias de metais nos solos amostrados.

METAL - (mg/l)	PADRÃO	ETE DM	ETE IN	ETE CS
<b>LIXIVIAÇÃO</b>				
Alumínio		0,64	0,58	0,53
Arsênio	5,00	0,002	0,003	0,002
Bário	100,00	0,56	0,50	0,19
Cádmio	0,50	0,27	0,09	0,08
Cálcio	"	4,83	123,86	15,49
Chumbo	5,00	ND	0,12	0,07
Cobre		0,19	0,08	0,08
Cromo total	5,00	0,04	0,35	0,02
Ferro		0,49	0,37	0,15
Magnésio		1,13	24,71	7,02
Manganês		0,27	0,20	0,62
Mercúrio	0,10	0,007	0,003	0,006
Níquel		0,09	0,16	0,13
Potássio		2,47	0,46	0,38
Sódio		1,16	0,68	0,54
Zinco		2,57	1,54	0,48
<b>SOLUBILIZAÇÃO</b>				
Alumínio	0,20	0,41	0,33	0,31
Arsênio	0,05	0,002	0,002	0,002
Bário	1,00	0,37	0,11	0,15
Cádmio	0,005	0,19	0,09	0,08
Cálcio		3,32	110,34	10,54
Chumbo	0,05	ND	0,12	0,06
Cobre	1,00	0,11	0,05	0,04
Cromo total	0,05	0,02	0,17	0,02
Ferro	0,30	0,28	0,33	0,14
Magnésio		1,43	21,33	4,82
Manganês	0,10	0,16	0,15	0,23
Mercúrio	0,001	0,001	0,002	0,004
Níquel		0,06	0,16	0,08
Potássio		1,95	0,46	0,37
Sódio	200,00	0,70	0,61	0,49
Zinco	5,00	1,10	0,42	0,23

### 5.2.3 Análise comparativa com dados da revisão bibliográfica

1 - Observando-se os resultados da ETE IN e a tabela 3.3, algumas considerações podem ser obtidas:

a) Os metais micronutrientes ferro, manganês, zinco, níquel e sódio exibem concentrações inferiores ao lodo da tabela 3.3, com excessão do cobre;

b) Os metais tóxicos cádmio, chumbo e cromo possuem concentrações inferiores ao lodo da tabela 3.3;

c) Quanto aos metais macronutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio estão fora dos limites citados por MAZUR, KOC (1980), mas por SELBACH et al. (1991) o teor de magnésio está dentro dos limites;

d) Os macronutrientes carbono e nitrogênio indicam valores acima dos da tabela 3.3;

e) Densidade específica, pH e óleos&graxas encontram-se na faixa obtida por SELBACH et al. (1991). De acordo com MAZUR, KOC (1980) há uma grande variação no teor de óleos&graxas em curtumes, citando como valor médio de 26 %. A adição de 7,5 t/ha de lodo seco no solo, introduzirá 2 t/ha de óleos&graxas, sendo sua decomposição rápida. O teor médio de óleos&graxas de 30,56 % da ETE IN encontra-se na faixa citada por MAZUR, KOC (1980).

2 - A redução do volume do lodo, de acordo com EPA (1979), pode ser conseguida através de leitos de secagem e centrifugação. Na ETE DM e ETE CS a redução do volume é feita em leitos de secagem, e a ETE IN utiliza centrífugas.

3 - A tabela 3.5 mostra os teores de nutrientes presentes no lí-

quido do lodo doméstico digerido. Os resultados das análises dos lodos das ETE DM, ETE IN e ETE CS preenchem as exigências com exceção do nitrogênio amoniacal apresentando valores superiores ao esperado e o potássio da ETE IN e ETE CS com valores inferiores.

4 - De acordo com BOSWELL (1975) os lodos domésticos podem conter elevado teor de metais. Através da tabela 5.6 esta afirmação pode ser verificada.

5 - A tabela 3.7 demonstra concentrações de metais encontrados em lodos industriais e domésticos. Com base nos resultados obtidos conclui-se que o lodo da "ETE IN atende as concentrações apresentadas. E o lodo da ETE DM verifica todos os requisitos, porém o da ETE CS não atende ao teor de cádmio citado por JORGENSEN (1979) de 7 mg/kg, sendo o teor de cádmio da ETE CS de 7,73 mg/kg.

6 - Os três lodos amostrados não atendem aos padrões de fósforo e potássio propostos por KIEHL (1985) de 0,50 a 2 % em média. Apresentam teor de potássio inferior a 0,05 %, sendo este o valor proposto por COKER (1966), SABEY (1980) e SOMMERS (1977).

7 - O teor de nitrogênio amoniacal, conforme LIGO (1988), pode apresentar altas concentrações, principalmente no lodo anaeróbico.

8 - A concentração média de nitrogênio total dos três lodos amostrados está dentro da faixa de variação proposta por SOMMERS et al. (1976) de 0,10 a 17,6 %.

9 - A tabela 3.11 apresenta o NMP de organismos patogênicos presentes no lodo primário, secundário e misto. Relacionando com os resultados obtidos verifica-se que o número de coliforme total e fecal dos lodos amostrados é menor do que os da tabela 3.11.

10 - A resistência específica, segundo WALTERS, WINT (1981) varia com as características do lodo, o que pode ser visto na tabela 5.4.

11 - Os lodos amostrados apresentam resistência específica menor do que as relacionadas por JORGENSEN (1979) e ECKENFELDER (1980), de 1310 E10 a 2110 E10 s<sup>2</sup>/g (lodo primário bruto) e para curtume 300 E10 s<sup>2</sup>/g.

12 - A tabela 3.20 apresenta as concentrações máximas de metais no lodo considerado aceitável para a aplicação em solos agrícolas. Pode-se observar quais os limites exigidos na Europa para a utilização desses lodos de "ETEs. Comparando-se os resultados dos lodos das ETE DM, ETE IN e ETE CS com os da Europa nota-se que todos os parâmetros são atendidos sem excessão.

13 - Os dados referentes às concentrações de arsênio, cádmio, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo e zinco dos três lodos amostrados foram comparados aos mencionados na tabela 3.22. Verificou-se que:

a) As concentrações de cádmio não atendem a nenhum padrão proposto;

b) As concentrações de cromo da ETE IN, além de cobre e níquel das três ETes não atendem ao padrão de concentração normal do Reino Unido, porém estão dentro dos valores permitidos;

c) Com relação a concentração de mercúrio a ETE CS não verifica o padrão de concentração normal da Alemanha e Reino Unido, mas está dentro da faixa de concentração permitida; e

d) O padrão de concentração normal para zinco da Alemanha e Reino Unido não são atendidos pelos três lodos amostrados, entretanto

para a concentração permitida sim.

14 - A utilização dos lodos para a compostagem exige a complementação com nutrientes, por exemplo, com lixo, devido ao baixo fator N:P:K dos lodos. De acordo com KIEHL (1985) há a necessidade da mistura para a formação de composto, uma vez que o lodo possui bons teores de nitrogênio, carbono e pH, porém uma umidade excessiva, baixo teor de fósforo e potássio.

15 - A tabela 3.23 apresenta concentrações de metais no lodo doméstico e industrial e no solo. Fazendo-se uma comparação com os resultados obtidos nos lodos amostrados verifica-se que a ETE IN atende aos valores propostos para lodo industrial, enquanto que a ETE DM e ETE CS apresentam teores de cádmio, cobre e zinco acima dos propostos para lodo doméstico.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O tratamento e destinação final dos lodos é um dos grandes desafios para órgãos ambientais.

A maioria das indústrias, em SISAUTO, utilizam para desaguamento e como disposição final dos lodos, leitos de secagem e aterros sanitários. O ramo industrial mais representativo, em SISAUTO, é o dos curtumes com 31,56 % seguido pelo ramo metalúrgico com 15,59 %. 40,27 % dos curtumes utilizam o leito de secagem para o desaguamento do lodo e 25 % dos curtumes dispõem o lodo em aterros sanitários, com relação as metalúrgicas observou-se que 38,10 % desaguam o lodo em leitos de secagem e 23,8 % dispõem o lodo em aterros sanitários.

Dentre as diversas atividades industriais, a produção de lodos mais significativa é a dos curtumes (176 t/mês), sendo seguida pelas metalúrgicas que geram 55 t/mês, fábricas de tintas com 4,9 t/mês e lanifícios com 4 t/mês.

Com relação ao atendimento aos padrões de lixiviação e solubilização, verifica-se que o de lixiviação é o mais atendido pelas indústrias em SISAUTO.

A utilização da planilha eletrônica tipo EXCEL é simples, pois seus menus são auto-explicativos mantendo um "help" constantemente ativado para solucionar qualquer dúvida e os dados da planilha podem ser atualizados automaticamente. O uso do "mouse" facilita o uso da planilha eletrônica.

Verificou-se que as análises de DQO, óleos&graxas, sulfetos, coliforme total e fecal para o lodo da ETE DM; nitratos, surfactantes, coliforme total e fecal para o lodo da ETE IN; e

resistência específica, sulfetos, coliforme total e fecal para o lodo da ETE CS não apresentaram significância (C.V.≤20 %). A análise de coliforme total e fecal, para os três lodos amostrados, não demonstraram significância (C.V.≤20 %).

Concluiu-se que a técnica do cloreto estanoso, para a análise de fosfato total, não deve ser utilizada para amostras de lodos, devido aos interferentes, principalmente arsênio e a coloração da amostra.

Os lodos amostrados apresentam elevado teor de nitrogênio total, carbono orgânico, metais tóxicos, cálcio, magnésio, micronutrientes e baixo teor de potássio e fósforo. O NMP de coliformes totais e fecais é inferior ao da bibliografia para os três lodos. O padrão de solubilização é atendido por 58,34 % dos metais do lodo da ETE DM, 41,67 % dos metais do lodo da ETE IN e 50 % dos metais do lodo da ETE CS. Alumínio, cádmio, manganês e mercúrio dos três lodos amostrados não atendem ao padrão de solubilização; chumbo para a ETE IN e ETE CS; e cromo e ferro para a ETE IN.

Recomenda-se:

- Realização de estudos adicionais com lodos de outras indústrias;

- A imobilização de metais pesados, através do condicionamento do lodo, com a finalidade de diminuir a solubilização e a lixiviação dos metais;

- A higienização do lodo para a redução do número de indicadores de microrganismos patogênicos;

- Condicionar o lodo afim de melhorar a sua desaguabilidade;

- Secar o lodo, a uma temperatura de 60°, para posterior análise; e

- Emprego da Planilha Excel como banco de dados pelos órgãos de proteção ambiental e o desenvolvimento de macros de teclado para facilitar o acesso as planilhas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABNT. 1987a. NBR 10.004 - Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro. 63f.
- 2 ABNT. 1987b. NBR 10.005 - Lixiviação de resíduos: procedimento. Rio de Janeiro. 10f.
- 3 ABNT. 1987c. NBR 10.006 - Solubilização de resíduos: procedimento. Rio de Janeiro. 2f.
- 4 ALMEIDA, G. N., GONÇALVES, M. C., GUIMARÃES, S.C.Z. 1991a. Desidratação de lodos utilizando sulfato ferroso como condicionante químico. Revista DAE, São Paulo, v.51, n.162, p.8-12, set./dez.
- 5 ALMEIDA, G.N., GONÇALVES, M.C., GUIMARÃES, S.C.Z. 1991b. Utilização do teste de resistência específica na operação de filtros prensa. Revista DAE, São Paulo, v.51, n.160, p.20-26, jan./jun.
- 6 ALMEIDA, S.A.S. et al. 1975. Tratamento e disposição final do lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários. s.l.: ENCIBRA. 46p. Trabalho apresentado no 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, 1975.
- 7 ALMEIDA, S.A.S., MUJERIEGO, R. 1977. Processos e equipamentos disponíveis no Brasil para secagem mecânica de lodos de esgoto. s.l.: ENCIBRA. 17p. Trabalho apresentado no 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 1977.

- 8 ALMEIDA, S.A.S. et al. 1982. Disposição final de lodo no solo pelo processo das fazendas de lodo. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, v.21, n.3, p.359-362, jul./set.
- 9 AZEVEDO NETTO, J. M. de. 1977. Lodos. Características e volumes. Digestão. Digestores. Gás. In:CETESB. Sistemas de esgotos sanitários. 2.ed. São Paulo, cap. 23, p.349-370.
- 10 BARBIER, D. et al. 1990. Parasitic hazard with sewage sludge applied to land. Applied and Environmental Microbiology. Washington, v.56, n.5, p.1420-1422, May.
- 11 BARLOW, J.H. 1973. Sludge handling and disposal. Journal American Water Works Association, Denver, v. 65, n.6, p.395-399, June.
- 12 BAXTER, J.C. et al. 1983a. Heavy metals and persistent organics at a sewage sludge disposal site. Journal Environmental Quality, Madison, v.12, n.3, p.311-316.
- 13 BAXTER, J.C. et al. 1983b. Heavy metals and persistent organics content in cattle exposed to sewage sludge. Journal Environmental Quality, Madison, v.12, n.3, p.316-319.
- 14 BARNES, D. et al. (ed.) 1987. Manufacturing and chemical industries. Essex: Longman. 210p. (Surveys in Industrial Wastewater Treatment, v.3).
- 15 BERON, P. 1984. Valorisation agricole des boues de stations d'épuration: Aspects microbiologiques. Techniques et Sciences Municipales, Paris, v.79, n.11, p.549-556, nov.

- 16 BORGES, P.R. 1987. Lodos originários do pré-tratamento de águas residuárias das indústrias da região metropolitana de São Paulo. Revista DAE, São Paulo, v.47, n.148, p.40-50, mar.
- 17 BOSWELL, F.C. 1975. Municipal sewage sludge and selected elements application to soil and fescue. Journal Environmental Quality, Madison, v.4, p.267-272.
- 18 BRAILE, P., CAVALCANTI, I. 1979. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo: CETESB. 764p.
- 19 BRINSKO, G.A. 1989. Can sludge management be centralized? Water Engineering and Management, Des Plaines, v.136, n.12, p.26-28, Dec.
- 20 BRUCE, A.M., CAMPBELL, H.W. 1983. Developments and trends in sludge processing techniques. In: L'HERMITE, P.; OTT, H. (ed.). Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D. Reidel. p.19-35.
- 21 CALLELY, A.G. et al. (ed.). 1976. Treatment of industrial effluents. New York: John Wiley. p.103-117.
- 22 CASSEL, A.F., JOHNSON, B.P. 1988. Solid waste management: Recovery of energy and useful materials. Water Science Technology, Oxford, v.20, n.10, p.211-220.
- 23 CATÁLOGO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1990. Rio de Janeiro: ABES, n.15, dez. 406p.
- 24 CETESB. s.d. Análises físico-química de águas: normalização técnica NT-07. São Paulo. Paginação irregular.

- 25 CETESB. 1985. Determinação do número mais provável pela técnica de tubos múltiplos. Estreptococos fecais e coliformes fecais: normalização técnica. São Paulo.
- 26 CHANEY, R.L. 1973. Crop and food chain effects of toxic elements in sludges and effluents. In: Recycling municipal sludges and effluents on land. Washington: Nat. Assoc. St. Univ. and Land Grant Coll., p.129-141.
- 27 CHANEY, R. L., GIORDANO, P. M. 1977. Microelements as related to plant deficiencies and toxicities. In: ELLIOTT, L. F.; STEVENSON, F. J." (ed.). Soil for management of organic wastes and wastewater, Madison: ASA/CSSA/SSSA. ch.10, p.235-269.
- 28 COKER, E. G. 1966. The value of liquid digested sewage sludge. Journal Agriculture Science, Cambridge, v.67, p.99-103.
- 29 COLIN, F. 1983. Harmonisation et normalisation des methodes de caracterisation des boues. In: L'HERMITE, P.; OTT, H. (ed.). Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D. Reidel. p.68-72.
- 30 COMLURB. 1977. Viabilidade do manejo conjunto de lixo triturado e lodo de esgoto para a produção de compostos e disposição em aterro sanitário. s.l.: COMLURB. Não paginado. Trabalho apresentado no 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 1977.
- 31 CORSAN. Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria. [199-]. Sistema de tratamento de esgotos da cidade de Santa Maria. [Santa Maria]. 5f.

- 32 COSTA, H.R., FERREIRA, C. F. 1986. Introdução de lodos industriais contendo metais pesados em tijolos de cerâmica. Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, v.25, n.3, p.352-354. jul/set.
- 33 COUNCIL directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. 1986. Official Journal of the European Communities, v.29, n.L181, p.6-12.
- 34 DALTON, F. E., STEIN, J. E., LYNAM, B. T. 1968. Land reclamation a complete solution the sludge and solids disposal problem. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.40, n.5, pt.1, p.789-804. May.
- 35 DAVIS, R.D. 1983. Crop uptake of metals from sludge - treated soil and its implication or soil fertility and for the human diet. In: L'HERMITE, P., OTT, H. (ed.). Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D.Reidel p.349-357.
- 36 DE DEUS, A.B.S. et al. 1992. Gerenciamento de lodos. Rio de Janeiro: SIBESA. 12p. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Italo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1992.
- 37 DICK, R.I. 1978. Sludge treatment, utilization and disposal. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.50, n.6, p.1096-1117, June.
- 38 DIEGO, L. [19--]. Utilización agrícola de fango de depuración. Madrid: Tecniberia. p.43-46.

- 39 DÓRIA, A. 1961. Aspectos gerais de tratamento de resíduos de curtumes. Revista DAE, São Paulo, v.22, n.41, p.73-91, jun.
- 40 DMAE. 1979. Análises físicas, químicas e biológicas em águas e resíduos líquidos. Porto Alegre: DMAE. 274p. (DMAE. Publicação n.39).
- 41 DMAE. [198-]. Projeto rio Guaíba: relatório técnico preliminar, resumo. Porto Alegre. 194f.
- 42 DMAE. 1983. Lodo digerido: características físico-químicas e biológicas: alternativas de secagem natural. Porto Alegre. 38p.
- 43 ECKENFELDER, W.W. 1980. Principles of water quality management. Boston: CBI. ch.11, p.589-655.
- 44 ENVIRONMENTAL HEALTH PROGRAM. 1989. Health and Environmental criteria for the utilization of sewage sludge on land. Washington. 26p. (Environmental Series, 8).
- 45 EPA. 1976a. Application of sewage sludge to cropland - appraisal of potential hazards of heavy metal to plants and animals. Washington. 63p.
- 46 EPA. 1976b. Municipal sludge management environmental factors. Washington. 63p.
- 47 EPA. 1979. Process design manual for sludge treatment and disposal. Cincinnati: Municipal Research Laboratory. Paginação irregular.

- 48 EPA. 1985. Composting of municipal wastewater sludges. Washington. 68p.
- 49 EPA. 1989. EPA's policy promoting the beneficial use of sewage sludge and the new proposed technical sludge regulations. Washington. p.1-19.
- 50 FARIA, C.M. 1987. Teores de metais pesados em composto orgânico de lixo domiciliar de P.A., RS. Porto Alegre: DMAE. 67f. Trabalho apresentado no 14<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 1987.
- 51 GERBER, W. 1990. Tratamento de resíduos. [Pelotas]: Escola Técnica Federal de Pelotas. 200p.
- 52 GIROVICH, M.J. 1990. Simultaneous sludge drying and pelletizing. Water Engineering and Management, Des Plaines, v.137, n.3, p. 34-39, Mar.
- 53 HAHN, H.H. 1987. Regional sludge treatment and disposal optimizing reliability and cost. Water Science and Technology, Oxford, v.19, p.847-857.
- 54 HAVELAAR, A.H. 1983. Disinfection of sewage sludge a review of methods applied in the European Communities. In: L'HERMITE, P. & OTT, H. (ed.). Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D. Reidel. p.268-279.
- 55 HWA-TAY, J., YEOW SHOW, K. 1992. The use of lime-blended sludge for production of cementitious material. Water Environment Research. v.64, n.1, p.6-12, Jan./Feb.
- 56 IMHOFF, K. 1986. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: Edgard Blucher. 301p.

- 57 ISKANDAR, I.K. (ed.). 1981. Modeling wastewater renovation: land treatment. New York: John Wiley. 802p.
- 58 JAMIESON, D. G. 1980. Toxic materials in industrial effluents: paper 5 ultimate disposal to land. [s.l.: s.n.]. 13f.
- 59 JORGENSEN, S. E. 1979. Industrial wastewater management. Amsterdam: Elsewer. p.173-184. (Studies in Environmental Science, 5).
- 60 KANEKO, S., SHIMOMURA, H.. 1991. Operation of centralized sludge treatment facilities. Water Science Technology, Oxford, v.23, p.1753-1762.
- 61 KIEHL, E. J. 1985. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: CERES. 492p.
- 62 KNEZEK, B.D., MILLER, R.H. 1976. Application of sludges and wastewater on agricultural land: a planning and education guide. Wooster: Ohio Agricultural Research and Development Center. 1090p.
- 63 KUCHENRITHER, D. 1989. Sludge: a case of regulation without representation. Water Engineering and Management Des Plaines. v.136, n.12, p.20-24, Dec.
- 64 LIGO, M.A.V. 1988. Efeito da aplicação de lodo da Estação de Tratamento do SITEL/CORSAN na absorção de nutrientes e metais pesados pelas plantas. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Ecologia. 222f. Dissertação Mestrado Ecologia.

- 65 LIMA, F.J.F. 1983. A experiência da CETREL ao longo de quase 5 anos de operação e problemas encontrados com o tratamento e alternativas para a disposição do lodo. s.l.: CETREL. 41f. Trabalho apresentado no Seminário sobre Disposição e Aproveitamento de Lodo, Camaçari, 1983.
- 66 LOEHR, E.C. et al. 1979. Land application of wastes. New York: Van Nostrand Reinhold. v.1, p.74-80.
- 67 LOOGAN, T.J., CHANEY, R. 1983. Utilization of municipal wastewater and sludge on land metals. In: PAGE, A.L. et al. (ed.) Proceedings: workshop on utilization of municipal wastewater and sludge on land. Riverside: University of California. p.225-323.
- 68 LUND, H. 1974. Manual para el control de la contaminación industrial. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local. 1043p.
- 69 MATTHEWS, P.J. 1983. Practical application of guidelines for a management of sewage sludge utilization in the United Kingdom. s.l.: Norwich Division. 11f. (PHWRE 10).
- 70 MAZUR, T., KOC, J. 1980. The fertilizing value of tannery sludges. In: BEWICK, M. W. M. (ed.). 1980. Handbook of organic waste conversion. New York: Van Nostrand Reinhold. p.328-338.
- 71 METCALF, L., EDDY, H.P. 1977. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Barcelona: Labor. 835p.
- 72 MININI, G. et al. 1983. Sludge disposal alternatives in Italy. In: L'HERMITE, P.; OTT, H. (ed.). Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D. Reidel. p.100-103.

- 73 ORTH, M.H.A. 1986. Resíduos sólidos industriais - classificação - efeito sobre a saúde do homem - Situação Brasileira e no Estado de São Paulo - legislação - destinação final e tratamento. São Paulo: CETESB. 58p. Trabalho apresentado no 3º Congresso Brasileiro de Engenharia e Segurança, Rio de Janeiro, 1986.
- 74 OSHIMA, Y. 1990. Treatment, disposal and utilization of sewage sludge in Japan. [s.l.] Japan Sewage Works Association. p.48-60.
- 75 OVERCASH, M.R., PAL, D. 1981. Desing of land treatment systems for industrial wastes - theory and practices. Ann Arbor: Ann Arbor Science. 684p. ch.10, p.389-443.
- 76 PESCOD, M.B. 1971. Sludge handling and disposal in tropical developing countries. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.43, n.4, p. 555-570, Apr.
- 77 PUOLANNE, J. 1983. Sludge production rates. In: L'HERMITE, P.; OTT, H. (ed.). Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D. Reidel. p.39-50.
- 78 RAIJ, B.V. et al. 1987. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill. 170p.
- 79 SABEY, B.R. 1980. The use of sewage sludge as a fertilizer. In: BEWICK, M. W. M. (ed.). Handbook of organic waste conversion. New York: Van Nostrand Reinhold. p.72-104.
- 80 SANTOS, H.F. 1979. Aplicação do lodo de estação de tratamento de esgotos em solos agrícolas. Revista DAE, São Paulo, v.34, n.122, p.31-48.

- 81 SANTOS, H.F. 1984. Uso do lodo de estação de tratamento de esgotos em solos agrícolas. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES ORGÂNICOS, São Paulo, 1984. Anais. São Paulo: IPT. p.69-77.
- 82 SELBACH, P. A. et al. 1991. Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo. Revista do Couro, p.83-94, nov.
- 83 SIMON, Z., TEDESCO, J.M. 1986. Agronomic requirements for soil utilization in liquid waste disposal systems - the case of SITEL. 10p. Trabalho apresentado no "IAWPRC Seminar on the Use of Soil for Treatment & Final Disposal of Effluents & Sludge, august. 13-15, Salvador, Bahia".
- 84 SOMMERS, L. E. et al. 1976. Variable nature of chemical composition of sewage sludges. Journal of Environmental Quality, Madison, v.5, n.3, p.303-306.
- 85 SOMMERS, L.E. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. Journal of Environmental Quality, Madison, v.6, n.2, p.225-232.
- 86 SOMMERS, L. E. 1980. Toxic metals in agricultural crops. In: BITTON, G. et al. (ed.). Sludge - health risks of land application. Ann Arbor: Ann Arbor Science. Ch.2, p.105-140.
- 87 STANDARD METHODS for examination of water and wastewater. 1989. 17.ed. Washington: American Public Health Association. Paginação irregular.

- 88 STANDING COMMITTEE ON THE DISPOSAL OF SEWAGE SLUDGE. 1981. Report of the subcommittee on the disposal of sewage sludge to land. London:Department of the Environmental. p.46-58.
- 89 TEDESCO, M. J. et al. 1985. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS - Departamento de solos. 188p. (Boletim Técnico n.5).
- 90 TEDESCO, M.J., STAMMEL, J.G. 1986. Reciclagem de nutrientes contidos em resíduos orgânicos. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO SOB CONDIÇÕES DE CULTIVO REDUZIDO. Santa Maria: UFSM, p.1-40.
- 91 TEIXEIRA, J.A.O.S. 1981. Descarte de resíduo de curtume no solo. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Agronomia. 84f. Diss. Mestr. Agronomia.
- 92 VESILIND, P. A. 1982. Sludge treatment, utilization and disposal. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.54, n.6, p.631-637, June.
- 93 WALTERS, J. K., WINT, A. (ed.). 1981. Industrial effluent treatment. London: Applied Science Publishers, v.1, p.234-241.
- 94 WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. 1976. Operation of wastewater treatment plants. Lancaster. 536p. (Manual of Practice, n.11).
- 95 WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. 1984. Sludges disinfection: a review of the literature. Alexandria. 50p.

- 96 WEBBER, M. D. et al. 1983. A review of current sludge use guidelines for the control of heavy metal contamination in soils. In: L'HERMITE, P., OTT, H. (ed.). Processing and use of sewage sludge. Dordrecht: D. Reidel. p.371-385.
- 97 WOLMAN, A. 1977. Public health aspects of land utilization of wastewater effluents and sludges. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, v.49, n.11, p.2211-2218, Nov.
- 98 YASUDA, Y. 1991. Sewage sludge utilization technology in Japan. Water Science and Technology. Oxford, v.23, p.1743-1752.
- 99 YEOW SHOW, K., HWA TAY, J. 1991. Properties of cement made from sludge. Journal of Environmental Engineering. New York, v.117, n.2, p.236-246, Mar./Apr.

ANEXOS

ANEXO 1 - Caracterização dos lodos de indústrias cadastradas  
junto à FEPAM/RS.  
Outubro de 1991.

TABELA A.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C1	C2	C3	C4	C5
LOCAL	FEPAM	Est. Velha				
DATA		fev. 91	ago. 91	jul. 91	abril 90	
PRODUÇÃO - t/mes		180	2	8,31	80	450
DENSIDADE		1,2			1,25	1,25
pH		7,15		6,9		
SOL. TOTAIS - %		6,1	5	11,48		2,42
UMIDADE - %		93,9	95	88,52	75	97,58
CÁLCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg		1800				
MAT. ORG. - %		94,89	75	70,34		46
N. TOTAL - mg/kg		5700				
N. AMONÍACAL - mg/kg		3000				
OLEOS&GRAXAS - %				3,45		
RELAÇÃO C/N		79/1				
SULFETOS - mg/kg		2040	20	2		28,7
LIX. ARSENIO - mg/l	5			0,015		
LIX. BÁRIO - mg/l	100			0,022		
LIX. CÁDmio - mg/l	0,5			0,006		
LIX. CHUMBO - mg/l	5			0,013		
LIX. COBRE - mg/l				0,064		
LIX. CROMO T. - mg/l	5			45		
LIX. MERCÚRIO - mg/l	0,1			0,005	0,058	0,38
SOL. ALUMÍNIO - mg/l	0,2			1,5		
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05			0,012		
SOL. BÁRIO - mg/l	1			0,025		
SOL. CÁDmio - mg/l	0,005			0,002		
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05			0,01		
SOL. CLORETO - mg/l	250	1053,8	310	6465		60,17
SOL. COBRE - mg/l	1			0,54		
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05			3,5		
SOL. DUREZA - mg/l	500			3694		
SOL. FENOL - mg/l	0,001	40		0,13		
SOL. FERRO - mg/l	0,3			1,4		
SOL. MANGANES - mg/l	0,1			4,3		
SOL. MERCÚRIO - mg/l	0,001			0,001		
SOL. NITRATOS - mg/l	10	5,46	10	1,1	14	4,87
SOL. SÓDIO - mg/l	200			9848		
SOL. SULFATO - mg/l	400			3128		
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2			0,26		
SOL. ZINCO - mg/l	5			0,12		

TABELA A.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C6	C7	C8	C9	C10
LOCAL	FEPAM	lvoti	lvoti	lvoti	lvoti	lvoti
DATA		jan. 90		jan. 90	maio 90	set. 90
PRODUÇÃO - t/mes		60	60	65	25	13,75
DENSIDADE		1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
pH						
SOL. TOTAIS - %		5	5	5	5	2
UMIDADE - %		95	95	95	95	98
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg						
MAT. ORG. - %						
N. TOTAL - mg/kg						
N. AMONACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %						
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg						
LIX. ARSENIÓ - mg/l	5				0,024	0,024
LIX. BARIO - mg/l	100					
LIX. CADMIO - mg/l	0,5				0,01	0,01
LIX. CHUMBO - mg/l	5				0,015	0,015
LIX. COBRE - mg/l						
LIX. CROMO T. - mg/l	5				136	136
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1					
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2					
SOL. ARSENIÓ - mg/l	0,05					
SOL. BARIO - mg/l	1					
SOL. CADMIO - mg/l	0,005					
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05					
SOL. CLORETO - mg/l	250					
SOL. COBRE - mg/l	1					
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05					
SOL. DUREZA - mg/l	500					
SOL. FENOL - mg/l	0,001					
SOL. FERRO - mg/l	0,3					
SOL. MANGANES - mg/l	0,1					
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001				0,0005	0,0005
SOL. NITRATOS - mg/l	10					
SOL. SODIO - mg/l	200					
SOL. SULFATO - mg/l	400					
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2					
SOL. ZINCO - mg/l	5				0,72	0,72

TABELA A.3 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C11	C12	C13	C14	C15
LOCAL	FEPAM	S. Leop.	N. Hamb.	N. Hamb.	N. Hamb.	N. Hamb.
DATA		dez. 89	jan. 90	jan. 90	set. 90	jan. 90
PRODUÇÃO - t/mes		8,25	25	120	26	30,75
DENSIDADE		1,25	1,25			1,25
pH		9				
SOL. TOTAIS - %		3		2	3	4
UMIDADE - %		97		98	97	96
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg						
MAT. ORG. - %		46				
N. TOTAL - mg/kg						
N. AMONIACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %						
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg						
LIX. ARSENIO - mg/l	5		0,024			
LIX. BARIO - mg/l	100					
LIX. CADMIO - mg/l	0,5		0,01			
LIX. CHUMBO - mg/l	5		0,015			
LIX. COBRE - mg/l						
LIX. CROMO T. - mg/l	5		136			
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1					
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2					
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05					
SOL. BARIO - mg/l	1					
SOL. CADMIO - mg/l	0,005					
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05					
SOL. CLORETO - mg/l	250					
SOL. COBRE - mg/l	1					
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05					
SOL. DUREZA - mg/l	500					
SOL. FENOL - mg/l	0,001					
SOL. FERRO - mg/l	0,3					
SOL. MANGANES - mg/l	0,1					
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001		0,0005			
SOL. NITRATOS - mg/l	10					
SOL. SODIO - mg/l	200					
SOL. SULFATO - mg/l	400					
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2					
SOL. ZINCO - mg/l	5		0,72			

TABELA A.4 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C16	C17	C18	C19	C20
LOCAL	FEPAM	Pelotas	G. Vargas	Sap. Sul	Portao	Portao
DATA		dez. 90	jan. 90	jan. 90	jan. 90	jan. 90
PRODUÇÃO - t/mes		2,5	1600	30	4	192,5
DENSIDADE			1,25	1,25	1,25	1,25
pH		8,4				
SOL. TOTAIS - %		4,75	2,4	1,2		4
UMIDADE - %		95,25	97,6	98,8		96
CALCIO - mg/kg						150000
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg		60				
DQO - mg/kg		178,57				
FOSFATO - mg/kg		16				
MAT. ORG. - %						
N. TOTAL - mg/kg						60000
N. AMONIACAL - mg/kg		3				
OLEOS&GRAXAS - %						
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg						18
LIX. ARSENIO - mg/l	5					
LIX BARIO - mg/l	100					
LIX. CADMIO - mg/l	0,5					
LIX. CHUMBO - mg/l	5					
LIX. COBRE - mg/l						
LIX. CROMO T. - mg/l	5	0,75		0,5		
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1					
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2					
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05					
SOL. BARIO - mg/l	1					
SOL. CADMIO - mg/l	0,005					
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05					
SOL. CLORETO - mg/l	250	35,5				
SOL. COBRE - mg/l	1					
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05					
SOL. DUREZA - mg/l	500	110				
SOL. FENOL - mg/l	0,001					
SOL. FERRO - mg/l	0,3					
SOL. MANGANES - mg/l	0,1					
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001					
SOL. NITRATOS - mg/l	10	0,75				
SOL. SODIO - mg/l	200					
SOL. SULFATO - mg/l	400					
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2					
SOL. ZINCO - mg/l	5					

TABELA A.5 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C21	C22	C23	C24	C25
LOCAL	FEPAM	E. Velha	E. Velha	Lajeado	Est. Velha	Est. Velha
DATA		jan. 90	jan. 90	set. 91	ago. 87	març.o 91
PRODUÇÃO - t/mes		450	24	150		1250
DENSIDADE		1	1,25			1,678
pH		7,8		7,41	8,2	11,81
SOL TOTAIS - %		5,64	4,5	8,5	8,86	3
UMIDADE - %		94,36	95,5	91,5	91,14	97
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg				0,35		40
MAT. ORG. - %		19,93	75		35,7	
N. TOTAL - mg/kg				53,9		4300
N. AMONIACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %		0,47			1,95	
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg		360		52,5	7,92	14
LIX. ARSENIO - mg/l	5			0,021		
LIX. BARIO - mg/l	100			0,15		
LIX. CADMIO - mg/l	0,5			0,001		0,08
LIX. CHUMBO - mg/l	5			0,2		3,4
LIX. COBRE - mg/l				0,017		
LIX. CROMO T. - mg/l	5			10,7		
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1			0,28		0,3
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2					
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05					
SOL. BARIO - mg/l	1					
SOL. CADMIO - mg/l	0,005					0,08
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05			0,006		3,4
SOL. CLORETO - mg/l	250					240
SOL. COBRE - mg/l	1			0,25		
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05			0,38		
SOL. DUREZA - mg/l	500					
SOL. FENOL - mg/l	0,001					5,7
SOL. FERRO - mg/l	0,3					
SOL. MANGANES - mg/l	0,1					
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001	0,0006		0,002		0,3
SOL. NITRATOS - mg/l	10					4
SOL. SODIO - mg/l	200			9868,6		
SOL. SULFATO - mg/l	400					
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2					
SOL. ZINCO - mg/l	5			0,28		

TABELA A.6 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C26	C27	C28	C29	C30
LOCAL	FEPAM	Est. Velha	Est. Velha	Est. Velha	N. Hamb.	N. Hamb.
DATA		dez. 89	março 91	set. 91	set. 91	set. 91
PRODUÇÃO - t/mes		70		12,76	4,06	25
DENSIDADE				1,2	1,2	1,25
pH		6,2		7,23	7,65	8,33
SOL. TOTAIS - %		2	11,69	1,31		7,12
UMIDADE - %		98	88,31	98,69		92,88
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg						
MAT. ORG. - %		63,85		18,25	70,88	72,47
N. TOTAL - mg/kg						
N. AMONIACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %				3,45	4,03	4,96
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg			ND	0,04		600
LIX. ARSENIO - mg/l	5	0,26		0,015	0,01	0,01
LIX. BARIO - mg/l	100			0,022	0,02	0,02
LIX. CADMIO - mg/l	0,5	0,14		0,006	0,004	0,004
LIX. CHUMBO - mg/l	5	0,012			0,011	0,011
LIX. COBRE - mg/l		0,009		0,064	0,042	0,042
LIX. CROMO T. - mg/l	5	19,1		45	23,1	23,1
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1	0,001	0,47	0,005	0,003	0,003
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2			1,5	1,1	1,1
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05			0,012	0,009	0,009
SOL. BARIO - mg/l	1			0,025	0,02	0,02
SOL. CADMIO - mg/l	0,005			0,002	0,002	0,002
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05				0,009	0,009
SOL. CLORETO - mg/l	250		120	6465	4103	4103
SOL. COBRE - mg/l	1			0,54	0,033	0,033
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05			3,5	2,1	2,1
SOL. DUREZA - mg/l	500			3694	2291	2291
SOL. FENOL - mg/l	0,001			0,13	0,009	0,009
SOL. FERRO - mg/l	0,3			1,4	1	1
SOL. MANGANES - mg/l	0,1			4,3	2,9	2,9
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001			0,001	0,001	0,001
SOL. NITRATOS - mg/l	10			1,1	0,97	0,97
SOL. SODIO - mg/l	200			9843	5109	5109
SOL. SULFATO - mg/l	400			3128	1743	1743
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2			0,2	0,18	0,18
SOL. ZINCO - mg/l	5	0,431		0,12	0,088	0,088

TABELA A.7 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C31	C32	C33	C34	C35
LOCAL	FEPAM	Est. Velha	Portao	Est. Velha	Est. Velha	N. Hamb.
DATA		set. 91	set. 90	set. 91	jul. 91	jul. 91
PRODUÇÃO - t/mes		12,21	1,4	1	13,6	13
DENSIDADE		1,2		1,2	1,25	1,25
pH		7,12	8,25		9,88	9,01
SOL. TOTAIS - %		11,12	28,2	15,21	32,48	24,86
UMIDADE - %		88,88	71,8	84,79	67,52	75,11
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg						
MAT. ORG. - %		78,12		71,28	78,75	
N. TOTAL - mg/kg						
N. AMONIACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %		2,63		3,89		0,29
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg		5		70		
LIX. ARSENIÓ - mg/l	5	0,015		0,015	0,005	0,021
LIX. BÁRIO - mg/l	100	0,022		0,022	0,05	0,043
LIX. CÁDmio - mg/l	0,5	0,006		0,006	0,004	0,001
LIX. CHUMBO - mg/l	5	0,013		0,013	0,04	0,018
LIX. COBRE - mg/l		0,064		0,064	0,04	0,042
LIX. CROMO T. - mg/l	5	45	180	45	0,24	0,91
LIX. MERCÚRIO - mg/l	0,1	0,005		0,005	0,0008	0,001
SOL. ALUMÍNIO - mg/l	0,2	1,5		1,5	1	1,2
SOL. ARSENIÓ - mg/l	0,05	0,012		0,012	0,003	0,018
SOL. BÁRIO - mg/l	1	0,025		0,025	0,03	0,038
SOL. CÁDmio - mg/l	0,005	0,002		0,002	0,001	0,0008
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05	0,01		0,01	0,031	0,006
SOL. CLORETO - mg/l	250	6465		6465	5,25	841
SOL. COBRE - mg/l	1	0,54		0,54	0,17	0,049
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05	3,5		3,5	0,026	1,8
SOL. DUREZA - mg/l	500	3694		3694	2234	269,9
SOL. FENOL - mg/l	0,001	0,13		0,13	0,106	0,21
SOL. FERRO - mg/l	0,3	1,4		1,4	0,04	0,1
SOL. MANGANES - mg/l	0,1			4,3	0,09	0,091
SOL. MERCÚRIO - mg/l	0,001	0,001		0,001	0,001	0,0009
SOL. NITRATOS - mg/l	10	1,1		1,1	0,68	0,78
SOL. SÓDIO - mg/l	200	9843		9843	174	330
SOL. SULFATO - mg/l	400	3128		3128	1524	533,4
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2	0,2		0,2	0,175	0,38
SOL. ZINCO - mg/l	5	0,12		0,12	0,02	0,078

TABELA A.8 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C36	C37	C38	C39	C40
LOCAL	FEPAM	Portao	Portao	Pelotas	Portao	Passo F.
DATA		out. 91	ago. 90	dez. 89	jan. 90	jan. 90
PRODUÇÃO - t/mes		35	325	0,06	45	3,5
DENSIDADE						
pH		7,23	7,3		8,05	
SOL. TOTAIS - %		12,04	3,9	2	4	3,5
UMIDADE - %		87,96	96,1	98	96	66,5
CALCIO - mg/kg			156100			
CARBONO ORG. - %			14,36			
DBO - mg/kg					0,5	
DQO - mg/kg					27,74	
FOSFATO - mg/kg			1330			
MAT. ORG. - %		94,67			15	65
N. TOTAL - mg/kg		92000	16000			
N. AMONIACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %					2,23	1
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg					55,9	2000
LIX. ARSENIO - mg/l	5	0,002				
LIX. BARIO - mg/l	100	0,03				
LIX. CADMIO - mg/l	0,5	0,007				
LIX. CHUMBO - mg/l	5	0,11				
LIX. COBRE - mg/l		0,075				
LIX. CROMO T. - mg/l	5	2	42		0,7	
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1	0,0003				
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2	0,1				
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05	0,0005				
SOL. BARIO - mg/l	1	0,023				
SOL. CADMIO - mg/l	0,005	0,009				
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05	0,054				
SOL. CLORETO - mg/l	250	3500				
SOL. COBRE - mg/l	1	0,063				
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05	0,04				
SOL. DUREZA - mg/l	500	755,6			4915,5	
SOL. FENOL - mg/l	0,001	0,043				
SOL. FERRO - mg/l	0,3	0,51				
SOL. MANGANES - mg/l	0,1	0,03				
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001	0,0001				
SOL. NITRATOS - mg/l	10	0,08				
SOL. SODIO - mg/l	200	780				
SOL. SULFATO - mg/l	400	6096				
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2	0,4				
SOL. ZINCO - mg/l	5	0,03				

TABELA A.9 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C41	C42	C43	C44	C45
LOCAL	FEPAM	Encantado	Teutonia	Monteneg	T. Coroas	C. Bom
DATA		nov. 90	jan. 90	jan. 90	jun. 90	abril 90
PRODUÇÃO - t/mes		110	150	22	48	3,3
DENSIDADE				1,25		
pH				6,75		
SOL. TOTAIS - %		2,75	10,31	4,21	6	13,4
UMIDADE - %		97,25	89,69	95,79	94	86,8
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg		..				1600
MAT. ORG. - %		2,65	75	98,65		55
N. TOTAL - mg/kg		400		94000		52300
N. AMONIACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %		0,44	0,1			
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg		43,4				1
LIX. ARSENIO - mg/l	5			0,002	0,0006	0,001
LIX. BARIO - mg/l	100			0,036	0,0008	
LIX. CADMIO - mg/l	0,5			0,01	0,0003	0,0004
LIX. CHUMBO - mg/l	5			0,17	0,004	0,0063
LIX. COBRE - mg/l				0,081		0,0251
LIX. CROMO T. - mg/l	5	4,13	100	0,06	0,1205	0,0629
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1	0,016		0,002	0,0003	0,0007
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2			4,2		
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05			0,001		
SOL. BARIO - mg/l	1			0,044		
SOL. CADMIO - mg/l	0,005			0,008		
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05			1,3		
SOL. CLORETO - mg/l	250	556,7				
SOL. COBRE - mg/l	1			0,089		
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05			0,05		
SOL. DUREZA - mg/l	500			6882		
SOL. FENOL - mg/l	0,001			0,017		
SOL. FERRO - mg/l	0,3			0,9		
SOL. MANGANES - mg/l	0,1			1,3		
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001			0,001		
SOL. NITRATOS - mg/l	10			0,072		
SOL. SODIO - mg/l	200					
SOL. SULFATO - mg/l	400			7239		
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2			0,455		
SOL. ZINCO - mg/l	5			0,05		0,0024

TABELA A.10 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C46	C47	C48	C49	C50
LOCAL	FEPAM	Teutonia	Est. Velha	Est. Velha	Est. Velha	N. E. Sul
DATA		ago. 91	fev. 91	fev. 91	maio 91	maio 91
PRODUÇÃO - t/mes		22,5	0,5			55
DENSIDADE		1,25				1,2
pH		9,02				7,64
SOL TOTAIS - %		16,27	2,45	7,38		4
UMIDADE - %		83,73	97,55	92,62		96
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg						
MAT. ORG. - %		80,12				56,96
N. TOTAL - mg/kg						
N. AMONIAICAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %		0,92				3,83
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg			20	ND		3900
LIX. ARSENIO - mg/l	5	0,06			0,002	0,003
LIX. BARIO - mg/l	100	0,025			0,1	0,0008
LIX. CADMIO - mg/l	0,5	0,0001			0,015	0,001
LIX. CHUMBO - mg/l	5	0,033			0,125	0,004
LIX. COBRE - mg/l		0,011			0,052	
LIX. CROMO T. - mg/l	5	1,115			0,29	0,703
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1	0,0003	0,001	ND	0,001	0,0002
SOL ALUMINIO - mg/l	0,2	0,101			3,4	
SOL ARSENIO - mg/l	0,05	0,0009			0,001	
SOL BARIO - mg/l	1	0,061			0,008	
SOL CADMIO - mg/l	0,005	0,0002			0,002	
SOL CHUMBO - mg/l	0,05	0,0013			0,15	
SOL CLORETO - mg/l	250	39,59	390	1300	7756	
SOL COBRE - mg/l	1	0,017			0,95	
SOL CROMO T. - mg/l	0,05	0,019			0,33	
SOL DUREZA - mg/l	500	32,62			9568	
SOL FENOL - mg/l	0,001	0,0008			0,27	
SOL FERRO - mg/l	0,3	0,055			2,2	
SOL MANGANES - mg/l	0,1	0,0023			5,8	
SOL MERCURIO - mg/l	0,001	0,0004			0,001	
SOL NITRATOS - mg/l	10	0,78	2	16	1,4	
SOL SODIO - mg/l	200	136,5			5725	
SOL SULFATO - mg/l	400	381			3810	
SOL SURFACT. - mg/l	0,2	0,7			0,21	
SOL ZINCO - mg/l	5	0,019			0,132	

TABELA A.11 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C51	C52	C53	C54	C55
LOCAL	FEPAM			N. Hamb.	N. Hamb.	N. Hamb.
DATA		out. 89	maio 90	jan. 90	jan. 90	
PRODUÇÃO - t/mes		1625	188	2	33	50
DENSIDADE				1,25	1,5	1,5
pH			6,72			
SOL. TOTAIS - %		5,21	0,633			5
UMIDADE - %		94,79	99,367			95
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg		132,04	150			
MAT. ORG. - %						
N. TOTAL - mg/kg		3658	96000			
N. AMONIACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %						
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg						1000
LIX. ARSENIO - mg/l	5			0,024		
LIX. BARIO - mg/l	100					
LIX. CADMIO - mg/l	0,5			0,01		
LIX. CHUMBO - mg/l	5	0,706	0,67	0,015		
LIX. COBRE - mg/l		0	0,82			
LIX. CROMO T. - mg/l	5	50,05	0,48	136		
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1	0,059	0,001	0,0005		
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2					
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05					
SOL. BARIO - mg/l	1					
SOL. CADMIO - mg/l	0,005					
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05		0,06			
SOL. CLORETO - mg/l	250	6268,91	9644,7			
SOL. COBRE - mg/l	1		1,1			
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05					
SOL. DUREZA - mg/l	500					
SOL. FENOL - mg/l	0,001					
SOL. FERRO - mg/l	0,3					
SOL. MANGANES - mg/l	0,1					
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001		0,001			
SOL. NITRATOS - mg/l	10					
SOL. SODIO - mg/l	200					
SOL. SULFATO - mg/l	400					
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2					
SOL. ZINCO - mg/l	5		0,15	0,72		

TABELA A.12- CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C56	C57	C58	C59	C60
LOCAL	FEPAM	N. Hamb.	N. Hamb.	N. Hamb.	Taquari	Lajeado
DATA			jan. 90	ago. 90	out. 90	ago. 90
PRODUÇÃO - t/mes			36	240	14	4,3
DENSIDADE		1,5	1,25	1,35	1,25	1,25
pH						
SOL. TOTAIS - %		4	2		2	
UMIDADE - %		96	98		98	
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg						
MAT. ORG. - %						
N. TOTAL - mg/kg						
N. AMONIACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %						
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg						
LIX. ARSENIO - mg/l	5					
LIX. BARIO - mg/l	100					
LIX. CADMIO - mg/l	0,5					
LIX. CHUMBO - mg/l	5					
LIX. COBRE - mg/l						
LIX. CROMO T. - mg/l	5					
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1					
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2					
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05					
SOL. BARIO - mg/l	1					
SOL. CADMIO - mg/l	0,005					
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05					
SOL. CLORETO - mg/l	250					
SOL. COBRE - mg/l	1					
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05					
SOL. DUREZA - mg/l	500					
SOL. FENOL - mg/l	0,001					
SOL. FERRO - mg/l	0,3					
SOL. MANGANES - mg/l	0,1					
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001					
SOL. NITRATOS - mg/l	10					
SOL. SODIO - mg/l	200					
SOL. SULFATO - mg/l	400					
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2					
SOL. ZINCO - mg/l	5					

TABELA A.13 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C61	C62	C63	C64	C65
LOCAL	FEPAM	C. Bom	N. Hamb.	Muçum	B. Gonçal.	Veranop.
DATA		ago. 90	jun. 90	jan. 90	jan. 90	jan. 90
PRODUÇÃO - t/mes		16	80	168	300	45
DENSIDADE		1,25	1,25	1,036		
pH		8,01		7,84		
SOL. TOTAIS - %		2,97		1,29	5	3
UMIDADE - %		97,03		98,71	95	97
CALCIO - mg/kg				1335,8		
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg		5,4		8,7		
MAT. ORG. - %		75,18		7,29		
N. TOTAL - mg/kg		774,4		2520		
N. AMONIACAL - mg/kg				ND		
OLEOS&GRAXAS - %				0,0079		
RELAÇÃO C/N				16/1		
SULFETOS - mg/kg		87,2		9500		
LIX. ARSENIO - mg/l	5					0,01
LIX. BARIO - mg/l	100					
LIX. CADMIO - mg/l	0,5			0,123		0,003
LIX. CHUMBO - mg/l	5					0,007
LIX. COBRE - mg/l						0,012
LIX. CROMO T. - mg/l	5	6,7		0,67		0,4
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1			0,15		0,005
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2					
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05					
SOL. BARIO - mg/l	1					
SOL. CADMIO - mg/l	0,005					
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05			9,29		
SOL. CLORETO - mg/l	250					
SOL. COBRE - mg/l	1					
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05					
SOL. DUREZA - mg/l	500					
SOL. FENOL - mg/l	0,001			0,2		
SOL. FERRO - mg/l	0,3					
SOL. MANGANES - mg/l	0,1					
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001					
SOL. NITRATOS - mg/l	10					
SOL. SODIO - mg/l	200			1005,4		
SOL. SULFATO - mg/l	400					
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2					
SOL. ZINCO - mg/l	5			0,42		

TABELA A.14- CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C66	C67	C68	C69	C70
LOCAL	FEPAM	Erechim	Teutonia	N. Petrop.	Sapiranga	D. Irmaos
DATA		jul. 91	fev. 91	maio 91	nov. 90	
PRODUÇÃO - t/mes			75	2,4	0,6	2
DENSIDADE						1,25
pH						
SOL. TOTAIS - %			4			2,5
UMIDADE - %			96			97,5
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg						
MAT. ORG. - %			75			
N. TOTAL - mg/kg						
N. AMONIACAL - mg/kg						
OLEOS&GRAXAS - %						
RELAÇÃO C/N						
SULFETOS - mg/kg						
LIX. ARSENIO - mg/l	5	0,002				
LIX. BARIO - mg/l	100	0,1				
LIX. CADMIO - mg/l	0,5	0,015				
LIX. CHUMBO - mg/l	5	0,125				
LIX. COBRE - mg/l		0,052				
LIX. CROMO T. - mg/l	5	0,29				
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1	0,001				
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2	3,4				
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05	0,001				
SOL. BARIO - mg/l	1	0,008				
SOL. CADMIO - mg/l	0,005	0,002				
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05	0,156				
SOL. CLORETO - mg/l	250	7756				
SOL. COBRE - mg/l	1	0,95				
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05	0,33				
SOL. DUREZA - mg/l	500	9568				
SOL. FENOL - mg/l	0,001	0,27				
SOL. FERRO - mg/l	0,3	2,2				
SOL. MANGANES - mg/l	0,1	5,8				
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001	0,001				
SOL. NITRATOS - mg/l	10	1,4				
SOL. SODIO - mg/l	200	5725				
SOL. SULFATO - mg/l	400	3810				
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2	0,21				
SOL. ZINCO - mg/l	5	0,132				

TABELA A.15 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS INDUSTRIAIS						
INDUSTRIA	PADRAO	C71	C72	C73	C74	C75
LOCAL	FEPAM	N. Hamb.	S.J.Horten	Bage	Sao Leop	Sao Leop
DATA		jan. 90	out. 90	jan. 90	jan. 90	jan. 90
PRODUÇÃO - t/mes		45	89,2	44	84,5	11
DENSIDADE		1,35	1,25	1,25		1,25
pH		7,24				
SOL TOTAIS - %		3,5	2		5	3
UMIDADE - %		96,5	98		95	97
CALCIO - mg/kg						
CARBONO ORG. - %						
DBO - mg/kg						
DQO - mg/kg						
FOSFATO - mg/kg		140				
MAT. ORG. - %		99,65			46	
N. TOTAL - mg/kg		720				
N. AMONIACAL - mg/kg		480				
OLEOS&GRAXAS - %		0,28				
RELAÇÃO C/N		280/1				
SULFETOS - mg/kg		630				
LIX. ARSENIO - mg/l	5					
LIX BARIO - mg/l	100					
LIX. CADMIO - mg/l	0,5	1,41				
LIX. CHUMBO - mg/l	5	4,02				
LIX. COBRE - mg/l						
LIX. CROMO T. - mg/l	5	38,5				
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1	0,019				
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2					
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05					
SOL. BARIO - mg/l	1					
SOL. CADMIO - mg/l	0,005	0,04				
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05	0,14				
SOL. CL.ORETO - mg/l	250					
SOL. COBRE - mg/l	1					
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05					
SOL. DUREZA - mg/l	500					
SOL. FENOL - mg/l	0,001	0,017	590			
SOL. FERRO - mg/l	0,3					
SOL. MANGANES - mg/l	0,1					
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001	0,001				
SOL. NITRATOS - mg/l	10					
SOL. SODIO - mg/l	200					
SOL. SULFATO - mg/l	400					
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2					
SOL. ZINCO - mg/l	5	1,3				

TABELA A.16 - CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS AMOSTRADOS				
ETE AMOSTRADA	PADRAO	ETE DM	ETE IN	ETE CS
LOCAL	FEPAM	P.Alegre	Est. Velha	S. Maria
DATA		julho 92	julho 92	agosto 92
PRODUÇÃO - t/mes				
DENSIDADE		1,03	1,03	0,97
pH		6,7	7,13	6,6
SOL. TOTAIS - %		8,08	4,79	1,3
UMIDADE - %		91,92	95,21	98,7
CALCIO - mg/kg		1749	3214,73	1451,18
CARBONO ORG. - %		26,67	24,34	25,15
DBO - mg/kg		67,87	1095,3	124,86
DQO - mg/kg		9402,44	13526,95	41493,8
FOSFATO - mg/kg	..	117,11	50,73	328,57
MAT. ORG. - %				
N. TOTAL - mg/kg		159410	36322	95504
N. AMONIACAL - mg/kg		10460	11438	27833
OLEOS&GRAXAS - %		0,82	30,56	83,58
RELAÇÃO C/N				
SULFETOS - mg/kg		0,6	14,71	9,83
LIX. ARSENIO - mg/l	5	0,002	0,003	0,002
LIX. BARIO - mg/l	100	0,56	0,5	0,19
LIX. CADMIO - mg/l	0,5	0,27	0,09	0,08
LIX. CHUMBO - mg/l	5	ND	0,12	0,07
LIX. COBRE - mg/l		0,19	0,08	0,08
LIX. CROMO T. - mg/l	5	0,04	0,35	0,02
LIX. MERCURIO - mg/l	0,1	0,007	0,003	0,006
SOL. ALUMINIO - mg/l	0,2	0,41	0,33	0,31
SOL. ARSENIO - mg/l	0,05	0,002	0,002	0,002
SOL. BARIO - mg/l	1	0,37	0,11	0,15
SOL. CADMIO - mg/l	0,005	0,19	0,09	0,08
SOL. CHUMBO - mg/l	0,05	ND	0,12	0,06
SOL. CLORETO - mg/l	250			
SOL. COBRE - mg/l	1	0,11	0,05	0,04
SOL. CROMO T. - mg/l	0,05	0,02	0,17	0,02
SOL. DUREZA - mg/l	500			
SOL. FENOL - mg/l	0,001			
SOL. FERRO - mg/l	0,3	0,27	0,33	0,14
SOL. MANGANES - mg/l	0,1	0,16	0,15	0,23
SOL. MERCURIO - mg/l	0,001	0,001	0,002	0,004
SOL. NITRATOS - mg/l	10			
SOL. SODIO - mg/l	200	0,7	0,61	0,49
SOL. SULFATO - mg/l	400			
SOL. SURFACT. - mg/l	0,2			
SOL. ZINCO - mg/l	5	1,1	0,42	0,23

ANEXO 2 - Caracterização dos lodos amostrados

- 1 - Lodo da ETE DM
- 2 - Lodo da ETE IN
- 3 - Lodo da ETE CS

TABELA A.17 - Parâmetros analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL: ETE DM

PARÂMETROS	UNIDADE	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
<b>FÍSICOS</b>						
Condutividade	umho/cm	1850	1900	1900	1900	1850
Densidade específica		1,05	1,02	1,02	1,03	1,01
pH		6,70	6,70	6,70	6,70	6,70
Resistência específica	s <sup>2</sup> /g	2,57 E7	2,15 E7	2,60 E7	2,26 E7	2,15 E7
ST	%	8,06	8,08	8,09	8,11	8,07
STV	%	3,91	3,92	3,92	3,94	3,91
STF	%	4,15	4,16	4,17	4,17	4,16
SDT	%	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
SDV	%	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06
SDF	%	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07
SST	%	7,93	7,95	7,96	7,98	7,94
SSV	%	3,85	3,86	3,86	3,88	3,85
SSF	%	4,09	4,09	4,11	4,10	4,09
Temperatura do ar	°C	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Temperatura do lodo	°C	19	19	19	19	19
Umidade	%	91,94	91,92	91,91	91,89	91,93
<b>QUÍMICOS</b>						
Alcalinidade total	mg/l	526,63	526,63	533,75	526,63	530,19
Carbono orgânico	%	27,03	26,37	26,46	26,64	26,85
Cloretos	mg/kg	28,47	28,47	27,23	27,23	28,47
DBO	mg/kg	71,79	68,07	68,07	65,60	65,60
DQO	mg/kg	4930,93	11188,67	10891,63	10099,51	9901,48
Dureza total	mg/kg	222,78	220,30	227,73	190,60	195,55
Fenol	mg/kg	409,87	408,73	424,22	408,68	424,82
Fosfato total	mg/kg	117,15	118,49	118,16	117,82	113,91
Nitrato	mg/kg	6,31	7,43	6,06	5,82	6,56
Nitrogênio amoniacal	mg/g	9,96	11,96	10,46	11,96	7,97
Nitrogênio orgânico	mg/g	149,45	145,47	150,93	147,45	151,44
Nitrogênio total	mg/g	159,41	157,43	161,39	159,41	159,41
Óleos&graxas	%	0,94	0,47	0,92	0,86	0,89
Sulfatos	mg/kg	0,44	0,40	0,43	0,39	0,40
Sulfetos	mg/kg	0,50	0,74	0,74	0,50	0,50
Surfactantes	mg/kg	14,46	12,77	15,83	16,33	14,46
<b>BIOLÓGICOS</b>						
Coliforme total	org/100g	4,9 E6	4,6 E7	2,4 E6	7,9 E6	3,3 E6
Coliforme fecal	org/100g	4,9 E5	1,7 E6	1,3 E6	3,3 E6	3,3 E6

TABELA A.18 - Concentrações de metais totais analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL - ETE DM

METAL (mg/kg)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Alumínio	940,64	955,49	935,69	940,64	950,54
Arsênio	0,50	0,50	0,37	0,37	0,37
Bário	11,14	9,28	12,38	24,75	30,94
Cádmio	3,47	3,71	4,70	5,20	5,44
Cálcio	1829,00	1808,00	1815,00	1695,00	1598,00
Chumbo	3,96	3,59	3,34	3,59	3,34
Cobre	28,71	21,16	25,00	34,90	24,26
Cromo total	1,24	1,61	1,49	1,36	1,98
Ferro	8,79	9,04	8,17	9,53	8,91
Magnésio	367,72	389,75	391,48	366,97	417,10
Manganês	27,97	28,09	23,14	26,49	23,76
Mercúrio	0,01	0,06	0,12	0,07	0,01
Níquel	4,46	4,08	3,96	3,96	4,20
Potássio	51,98	53,72	46,41	55,08	57,55
Sódio	21,66	22,65	26,36	22,65	23,52
Zinco	140,48	140,60	135,16	140,72	135,65

DATA COLETA: 30/06/92

TABELA A.19 - Concentrações de metais lixiviados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL - ETE DM

METAL (mg/l)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Alumínio	0,52	0,58	0,46	0,52	1,10
Arsênio	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003
Bário	0,60	0,54	0,55	0,63	0,48
Cádmio	0,21	0,23	0,29	0,28	0,33
Cálcio	4,49	4,51	5,10	4,56	5,50
Chumbo	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	0,20	0,21	0,17	0,19	0,20
Cromo total	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
Ferro	0,60	0,58	0,43	0,41	0,42
Magnésio	1,77	1,63	1,62	1,47	1,64
Manganês	0,24	0,23	0,25	0,24	0,37
Mercúrio	0,008	0,005	0,006	0,009	0,006
Níquel	0,10	0,07	0,09	0,09	0,08
Potássio	2,56	2,37	2,75	2,89	1,79
Sódio	0,92	1,13	1,22	1,27	1,25
Zinco	2,83	2,46	2,61	2,34	2,61

DATA COLETA: 30/06/92

TABELA A.20 - Concentrações de metais solubilizados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL:ETE DM

METAL (mg/l)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Alumínio	0,22	0,24	0,34	0,34	0,92
Arsênio	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Bário	0,30	0,45	0,37	0,52	0,21
Cádmio	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22
Cálcio	3,76	3,77	3,62	3,16	2,31
Chumbo	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	0,10	0,09	0,10	0,14	0,13
Cromo total	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Ferro	0,29	0,28	0,27	0,28	0,26
Magnésio	1,44	1,43	1,42	1,43	1,41
Manganês	0,15	0,14	0,16	0,17	0,16
Mercúrio	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
Níquel	0,09	0,06	0,07	0,04	0,06
Potássio	1,90	1,66	2,23	1,73	2,23
Sódio	0,70	0,69	0,70	0,74	0,68
Zinco	1,02	1,28	1,35	0,96	0,87

DATA COLETA: 30/06/92

TABELA A.22 - Concentrações de metais totais analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL - ETE IN

METAL (mg/kg)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Alumínio	1521,10	1078,14	1546,18	1554,53	1571,25
Arsênio	0,08	0,06	0,08	0,08	0,14
Bário	18,38	39,69	68,95	28,42	29,25
Cádmio	4,30	4,11	4,30	4,11	4,20
Cálcio	3348	3377,76	3016,50	3019,43	3311,95
Chumbo	4,05	4,05	4,51	4,82	5,12
Cobre	26,33	26,74	27,16	26,47	26,33
Cromo total	97,99	118,69	119,74	120,77	120,68
Ferro	25,66	25,87	27,73	26,80	27,94
Magnésio	621,81	693,06	650,44	655,03	669,45
Manganês	4,59	4,80	4,80	5,01	4,80
Mercúrio	0,08	0,06	0,08	0,06	0,18
Níquel	4,59	5,22	4,18	4,59	3,76
Potássio	13,87	14,38	13,60	13,98	13,35
Sódio	54,49	55,01	55,80	53,69	54,62
Zinco	70,89	72,17	73,30	70,73	71,37

DATA COLETA: 28/07/92

TABELA A.21 - Parâmetros analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL: ETE IN

PARÂMETROS	UNIDADE	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
<b>FÍSICOS</b>						
Condutividade	umho/cm	11000,00	11000,00	10800,00	10800,00	10800,00
Densidade específica		1,02	1,04	1,03	1,02	1,04
pH		7,12	7,13	7,13	7,15	7,12
Resistência específica	s <sup>2</sup> /g	2,16 E7	2,26 E7	2,48 E7	2,18 E7	2,45 E7
ST	%	4,76	4,63	4,72	5,08	4,74
STV	%	2,99	2,96	3,00	3,13	2,86
STF	%	1,77	1,67	1,72	1,95	1,88
SDT	%	1,24	1,22	1,23	1,28	1,26
SDV	%	0,94	0,96	0,96	0,96	0,94
SDF	%	0,30	0,26	0,27	0,32	0,32
SST	%	3,52	3,41	3,49	3,80	3,48
SSV	%	2,05	2,00	2,04	2,17	1,92
SSF	%	1,47	1,41	1,45	1,63	1,56
Temperatura do ar	°C	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
Temperatura do lodo	°C	26	26	26	26	26
Umidade	%	95,24	95,37	95,28	94,92	95,26
<b>QUÍMICOS</b>						
Alcalinidade total	mg/l	588,70	588,70	600,71	636,75	600,71
Carbono orgânico	%	20,70	22,50	24,03	27,00	27,45
Cloretos	mg/kg	1755,12	1713,33	1880,48	1922,27	1796,90
DBO	mg/kg	1165,68	1165,68	945,74	1099,70	1099,70
DQO	mg/kg	11608,86	14860,00	11450,06	13464,27	16251,57
Dureza total	mg/kg	894,27	902,63	568,32	927,70	902,63
Fenol	mg/kg	417,89	427,91	417,89	423,74	476,39
Fosfato total	mg/kg	102,37	101,72	101,72	101,40	101,72
Nitrato	mg/kg	3,91	2,76	5,39	4,39	5,73
Nitrogênio amoniacal	mg/g	10,09	13,46	10,09	13,46	10,09
Nitrogênio orgânico	mg/g	23,55	26,91	23,55	26,91	23,55
Nitrogênio total	mg/g	33,64	40,37	33,64	40,37	33,64
Óleos & Graxas	%	30,63	27,03	31,95	32,26	30,94
Sulfatos	mg/kg	256,99	288,34	263,27	261,18	248,64
Sulfetos	mg/kg	16,72	13,37	16,72	15,04	11,70
Surfactantes	mg/kg	20,37	21,60	25,91	42,16	21,60
<b>BIOLÓGICOS</b>						
Coliforme total	org/100g	5,0 E6	9,0 E6	1,6 E7	1,6 E7	9,0 E6
Coliforme fecal	org/100g	8,0 E4	1,3 E5	2,3 E5	1,3 E5	1,3 E4

TABELA A.23 - Concentrações de metais lixiviados analisados nos  
nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL - ETE IN

METAL (mg/l)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Alumínio	0,58	1,00	0,34	0,54	0,44
Arsênio	0,004	0,002	0,002	0,003	0,002
Bário	0,70	0,52	0,39	0,37	0,50
Cádmio	0,09	0,09	0,10	0,1	0,09
Cálcio	110,23	127,37	124,66	125,23	131,80
Chumbo	0,12	0,11	0,13	0,12	0,13
Cobre	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08
Cromo total	0,35	0,34	0,36	0,37	0,35
Ferro	0,40	0,43	0,34	0,35	0,34
Magnésio	24,14	24,53	25,89	24,53	24,44
Manganês	0,22	0,22	0,19	0,18	0,17
Mercúrio	0,005	0,003	0,002	0,003	0,001
Níquel	0,17	0,15	0,15	0,17	0,16
Potássio	0,50	0,44	0,45	0,44	0,49
Sódio	0,67	0,73	0,80	0,55	0,67
Zinco	1,54	1,50	1,53	1,59	1,55

DATA COLETA: 28/07/92

TABELA A.24 - Concentrações de metais solubilizados analisados  
nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL - ETE IN

METAL (mg/l)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Alumínio	0,38	0,30	0,38	0,28	0,30
Arsênio	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
Bário	0,09	0,005	0,19	0,09	0,19
Cádmio	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Cálcio	85,66	107,65	121,66	117,37	119,37
Chumbo	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11
Cobre	0,05	0,06	0,06	0,04	0,04
Cromo total	0,14	0,15	0,15	0,20	0,21
Ferro	0,29	0,30	0,34	0,36	0,37
Magnésio	22,48	21,34	21,39	21,46	20,00
Manganês	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15
Mercúrio	0,002	0,003	0,001	0,004	0,001
Níquel	0,17	0,14	0,18	0,16	0,16
Potássio	0,42	0,44	0,44	0,50	0,50
Sódio	0,53	0,55	0,73	0,67	0,58
Zinco	0,39	0,42	0,44	0,43	0,43

DATA COLETA: 28/07/92

TABELA A.25 - Parâmetros analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL: ETE CS

PARÂMETROS	UNIDADE	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
<b>FÍSICOS</b>						
Condutividade	umho/cm	390	360	360	370	370
Densidade específica		0,95	0,96	0,94	0,94	0,96
pH		6,63	6,58	6,60	6,61	6,56
Resistência específica	s <sup>2</sup> /g	1,38 E7	1,70 E7	9,1 E8	1,03 E7	2,31 E7
ST	%	1,45	1,19	1,39	1,29	1,22
STV	%	1,03	0,76	0,94	0,84	0,78
STF	%	0,42	0,43	0,45	0,42	0,44
SDT	%	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
SDV	%	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
SDF	%	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
SST	%	1,40	1,14	1,34	1,20	1,17
SSV	%	1,0	0,74	0,92	0,82	0,76
SSF	%	0,40	0,40	0,42	0,39	0,41
Temperatura do ar	°C	14	14	14	14	14
Temperatura do lodo	°C	16	16	16	16	16
Umidade	%	98,55	98,81	98,61	98,74	98,78
<b>QUÍMICOS</b>						
Alcalinidade total	mg/l	169,05	173,27	198,63	198,63	185,95
Carbono orgânico	%	23,94	24,57	25,38	25,74	26,10
Cloretos	mg/kg	238,51	199,78	222,84	207,47	192,10
DBO	mg/kg	129,67	120,06	136,87	108,06	129,66
DQO	mg/kg	45719,99	34578,15	43030,58	44567,39	39572,77
Dureza total	mg/kg	1997,85	1828,80	1874,90	1675,12	1582,91
Fenol	mg/kg	1389,27	1475	1395,42	1364,68	1380,05
Fosfato total	mg/kg	324,24	322,73	317,35	321,19	337,33
Nitrato	mg/kg	0,65	0,65	0,65	0,87	1,15
Nitrogênio amoniacal	mg/g	24,74	37,11	37,11	24,74	24,74
Nitrogênio orgânico	mg/g	62,09	62,01	62,01	62,09	86,68
Nitrogênio total	mg/g	86,03	99,12	99,12	86,83	111,42
Óleos&graxas	%	82,65	79,41	89,92	82,87	83,15
Sulfatos	mg/kg	34,81	39,50	42,72	31,58	44,26
Sulfetos	mg/kg	15,37	7,68	9,22	12,29	4,61
Surfactantes	mg/kg	43,88	41,03	40,42	37,96	42,03
<b>BIOLÓGICOS</b>						
Coliforme total	org/100g	5,4 E6	9,2 E6	7,9 E5	2,3 E5	7,9 E5
Coliforme fecal	org/100g	2,4 E4	7,9 E5	2,0 E4	2,0 E4	5,0 E4

TABELA A.26 - Concentrações de metais totais analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL - ETE CS

METAL (mg/kg)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Alumínio	368,88	491,78	522,71	430,31	461,04
Arsênio	0,39	0,69	0,69	0,77	0,61
Bário	12,29	93,75	116,02	119,87	121,41
Cádmio	8,07	7,38	8,07	7,38	7,76
Cálcio	1334,72	1444,60	1466,57	1455,36	1554,48
Chumbo	12,14	14,37	14,37	15,52	16,59
Cobre	19,21	26,13	23,21	30,74	19,98
Cromo total	2,77	3,61	3,61	4,38	4,61
Ferro	29,50	31,43	33,35	34,04	33,66
Magnésio	812,20	813,74	805,74	805,29	834,49
Manganês	142,92	152,91	155,22	155,99	151,38
Mercúrio	0,54	0,69	0,38	0,69	0,46
Níquel	10,76	8,45	9,98	11,53	10,76
Potássio	35,88	38,27	42,95	43,88	37,34
Sódio	80,06	79,07	80,53	75,76	81,53
Zinco	151,22	144,69	157,06	152,99	147,07

DATA COLETA: 10/08/92

TABELA A.27 - Concentrações de metais lixiviados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL - ETE CS

METAL (mg/l)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Alumínio	0,28	1,20	0,38	0,60	0,20
Arsênio	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
Bário	0,19	0,18	0,19	0,18	0,21
Cádmio	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08
Cálcio	13,09	15,94	16,23	15,94	16,23
Chumbo	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06
Cobre	0,09	0,08	0,07	0,07	0,10
Cromo total	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
Ferro	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15
Magnésio	6,90	6,67	6,75	7,35	7,42
Manganês	0,58	0,68	0,62	0,53	0,70
Mercúrio	0,005	0,002	0,009	0,009	0,006
Níquel	0,06	0,14	0,12	0,12	0,14
Potássio	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37
Sódio	0,56	0,55	0,55	0,56	0,50
Zinco	0,42	0,50	0,50	0,54	0,44

DATA COLETA: 10/08/92

TABELA A.28 - Concentrações de metais solubilizados analisados nos lodos amostrados com as cinco repetições.

LOCAL - ETE CS

METAL (mg/l)	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5
Alumínio	0,22	0,28	0,24	0,60	0,20
Arsênio	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002
Bário	0,19	0,10	0,16	0,14	0,18
Cádmio	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Cálcio	10,23	10,37	10,51	10,94	10,66
Chumbo	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06
Cobre	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05
Cromo total	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Ferro	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15
Magnésio	1,80	1,81	1,92	1,78	1,78
Manganês	0,23	0,23	0,24	0,20	0,24
Mercúrio	0,005	0,003	0,004	0,003	0,003
Níquel	0,07	0,07	0,07	0,10	0,11
Potássio	0,36	0,36	0,38	0,38	0,38
Sódio	0,48	0,50	0,49	0,48	0,49
Zinco	0,19	0,27	0,27	0,19	0,24

DATA COLETA: 10/08/92