



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Higienização de Lodo de Esgoto Estabilizado Durante a Secagem

Aluna: **Rafaela Elaine da Costa Lima Araújo**

Matrícula: **20011165**

Período: 2004.2

Orientador: Prof. Adrianus van Haandel

Campina Grande-PB

Abril/2005

RAFAELA ELAINE DA COSTA LIMA ARAÚJO

RELATÓRIO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
HIGIENIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO DURANTE A SECAGEM

CAMPINA GRANDE – PB

2005



Biblioteca Setorial do CDSA. Junho de 2021.

Sumé - PB

RAFAELA ELAINE DA COSTA LIMA ARAÚJO

RELATÓRIO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
HIGIENIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO DURANTE A SECAGEM

Relatório de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento dos requisitos necessários para a obtenção do grau de graduado em Engenharia Civil.

CAMPINA GRANDE – PB

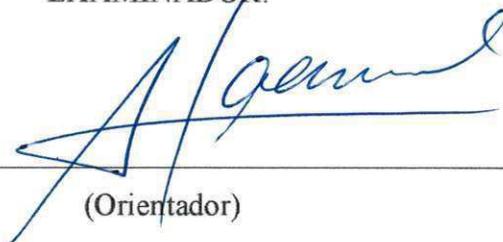
2005

RAFAELA ELAINE DA COSTA LIMA ARAÚJO

RELATÓRIO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
HIGIENIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO DURANTE A SECAGEM

Campina Grande – PB, 20 de abril de 2005

EXAMINADOR:



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'A. Gomes', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

(Orientador)

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	
1.0 INTRODUÇÃO	1
2.0 OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo Geral.....	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 LODO: ASPECTOS GERAIS	3
3.1.1 Subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos.....	4
3.1.2 Gerenciamento do lodo.....	5
3.2 HIGIENIZAÇÃO E RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO	6
3.2.1 Agentes patogênicos presentes no lodo.....	8
3.2.1.1 <i>Ovos de helmintos e cistos de protozoários</i>	9
3.2.1.2 <i>Bactérias entéricas patogênicas</i>	10
3.2.2 Aproveitamento e/ou disposição final do lodo de esgoto.....	11
3.3 RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE EXPOSIÇÃO DO LODO A DIFERENTES TEMPERATURAS	12
3.3.1 Curva de Sobrevivência Térmica.....	13
3.3.2 Curva de Resistência Térmica.....	14
4.0 METODOLOGIA	16
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
6.0 CONCLUSÃO	21
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

APRESENTAÇÃO

O presente relatório apresenta informações de atividades desenvolvidas a partir do estágio supervisionado da aluna Rafaela Elaine da Costa Lima Araújo, regularmente matriculada no curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia, na Universidade Federal de Campina Grande, sob o número de matrícula 20011165. O estágio foi realizado em quatro horas diárias, totalizando 20 horas semanais, durante 01 de Dezembro de 2004 a 03 de Fevereiro de 2005, referente a 180 horas de Estágio Supervisionado.

As atividades do estágio foram desenvolvidas no laboratório de Pesquisa da Área de Engenharia Sanitária do Departamento de Engenharia Civil deste CCT da UFCG, dentro do Programa Nacional de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB, coordenado pelo prof. Adrianus van Haandel, localizado na Av. Cônsul Joseph Noujaim Habib, S/N, na antiga depuradora desta cidade de Campina Grande, no bairro do Catolé.

1.0 INTRODUÇÃO

A disposição final do lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto atualmente é um dos problemas ambientais de maior importância. O destino final envolve estudos e decisões relativos ao condicionamento e estabilização do lodo gerado, ao grau de desidratação, às formas de transporte, ao reuso do lodo, e a eventuais impactos e riscos ambientais.

Dentre as alternativas de aplicação final tem-se a reciclagem agrícola que se destaca pela sua adequação ambiental. O lodo contém microrganismos patogênicos que refletem de maneira direta o estado de saúde da população contribuinte no sistema de esgotamento. Portanto, para o uso seguro do lodo na agricultura é necessária uma higienização que elimine ou diminua consideravelmente a presença destes microrganismos, aliado ao controle de qualidade do lodo higienizado e a adequação do tipo de uso agrícola.

Uma das alternativas de higienização é a elevação da temperatura do lodo visando à inativação dos microrganismos nele presentes. As bactérias do grupo coliformes, especificamente os coliformes termotolerantes e, dentre estes, o grupo *Escherichia Coli* são indicadores da qualidade higiênica do lodo e de outros resíduos contaminados por excretas. Desta forma foi realizado um estudo, do qual trata o presente relatório, para verificar a resistência dos Coliformes Termotolerantes (CT) e *Escherichia Coli* (E.coli) a temperaturas de 55, 60, 65 e 70 °C. A partir dos resultados desse estudo é possível prever o decaimento de patógenos durante o processo de secagem de lodo.

Foram analisadas amostras previamente inoculadas com os patogênicos CT e EC expostas a diferentes condições de tempo e temperatura. O estudo foi realizado no Laboratório de Pesquisa da Área de Engenharia Sanitária do Departamento de Engenharia Civil do CCT da UFCG, dentro do Programa Nacional de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Descrever o decaimento de Coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli* durante o processo de secagem de lodo de esgoto, previamente estabilizado, visando sua aplicação como biossólido na agricultura.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a termo-resistência dos Coliformes Termotolerantes e *E. Coli* quando submetidos a temperaturas de 55, 60, 65 e 70 °C.
- Obter a curva de sobrevivência térmica que represente o decaimento exponencial da população de bactérias no decorrer do tempo em uma determinada temperatura.

3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 LODO: ASPECTOS GERAIS

Os esgotos constituem o rejeito líquido proveniente dos diversos usos da água relacionados às atividades humanas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidades coletivas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outros.

Os esgotos domésticos constituem a fração mais significativa dos esgotos sanitários, provêm de residências e de edificações públicas e comerciais que concentram aparelhos sanitários, lavanderias e cozinhas. Apesar da composição do esgoto doméstico variar em função dos costumes e das condições socioeconômicas das populações, este se caracteriza por uma diversidade de bactérias, fungos, vermes e protozoários, e uma fração de sólidos predominantemente de material orgânico (BRAGA *et al.*, 2002).

O tratamento dos esgotos consiste basicamente, na correção de suas características indesejáveis, através da redução ou remoção de material sólido em suspensão, matéria orgânica biodegradável, organismos patogênicos e substâncias químicas indesejáveis, objetivando adequá-los para a sua disposição final, de acordo com as regras e critérios definidos pelas autoridades legislativas. Os microrganismos patogênicos são um dos constituintes mais preocupantes, pois uma significativa parte deles são causadores de doenças.

O termo “**lodo**” tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. Embora o lodo represente apenas de 1% a 2% do volume do esgoto tratado, o seu gerenciamento é bastante complexo e tem o custo geralmente entre 20% a 60% do total gasto com a operação de uma estação de tratamento de esgoto. (ANDREOLI; VON SPERLING, 2001).

O lodo de esgotos contém todos os poluentes provenientes das atividades, dos hábitos alimentares e do nível de saúde da população atendida pelas redes coletoras de esgoto, podendo variar substancialmente com o tempo e com a capacidade de remoção da estação de tratamento.

3.1.1 Subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos

Os subprodutos sólidos gerados do tratamento de esgoto são: material gradeado, areia, espuma, lodo primário, lodo secundário e lodo químico. Embora o lodo na maior parte das etapas do seu manuseio possa ser constituído de mais de 95% de água, ele por convenção é designado por fase sólida, para distingui-lo do fluxo líquido sendo tratado.

A produção de lodo a ser gerado é função precípua do sistema de tratamento utilizado para a fase líquida. Os processos que recebem o esgoto bruto em decantadores primários geram o ***lodo primário***, composto pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto. Na etapa biológica de tratamento, tem-se o assim denominado ***lodo biológico*** ou ***lodo secundário***. Este lodo é a própria biomassa que cresceu às custas do alimento fornecido pelo esgoto afluyente. Caso a biomassa não seja removida, ela tende a se acumular no sistema, podendo eventualmente sair com o efluente final, deteriorando sua qualidade em termos de sólidos em suspensão e material orgânico. Dependendo do tipo de sistema, o lodo primário pode ser conduzido para o tratamento juntamente com o lodo secundário. Nesse caso, o lodo resultante da mistura passa a ser chamado de ***lodo misto***. Em sistemas de tratamento que incorporam uma etapa físico-química, quer para melhorar o desempenho do decantador primário, quer para dar um polimento ao efluente secundário, tem-se o ***lodo químico*** (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

O descarte do lodo nestes casos é necessário, mas nem todos os sistemas de tratamento de esgotos necessitam do descarte contínuo dessa biomassa. Em alguns sistemas de tratamento o lodo é armazenado por todo horizonte de operação da estação, como nas lagoas facultativas; outros permitem o descarte apenas eventual, como reatores anaeróbios e outros requerem uma retirada contínua ou bastante freqüente, como lodos ativados. O lodo biológico descartado é denominado ***lodo excedente***.

3.1.2 Gerenciamento do lodo

Segundo von Sperling e Andreoli (2001), o gerenciamento do lodo de esgoto proveniente de estações de tratamento é uma atividade de grande complexidade e alto custo, e quando mal executada pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas. As principais etapas do gerenciamento do lodo são:

- **Adensamento:** remoção de umidade (redução de volume)
- **Estabilização:** remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis)
- **Condicionamento:** preparação para a desidratação (principalmente mecânica)
- **Desaguamento:** remoção de umidade (redução de volume)
- **Higienização:** remoção de organismos patogênicos
- **Disposição final:** destinação final dos subprodutos.

A higienização do lodo é uma operação necessária se seu destino for à reciclagem agrícola, já que os processos de digestão anaeróbia e aeróbia não reduzem o nível de patógenos aos patamares aceitáveis. Em termos de qualidade do produto final, o leito de secagem é superior quando comparado com outros métodos de secagem mecânicos, pois se obtém um produto muito mais seco, podendo chegar à diminuição da umidade para menos de 50% facilmente, com uma qualidade higiênica do lodo desidratado muito melhor. Isto se deve ao tempo de exposição de 1 a 2 semanas numa temperatura muito elevada desenvolvida no lodo preto devido à absorção dos raios solares. Segundo van Haandel e Marais (1999), a qualidade higiênica pode ser melhorada quando há uma cobertura no leito de secagem, operando como um aquecedor solar. Nestas condições em regiões tropicais, a temperatura pode facilmente chegar a 60°C ou mais, reduzindo satisfatoriamente a população de patógenos.

3.2 HIGIENIZAÇÃO E RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO.

O processo de higienização de lodos na estação de tratamento de esgotos tem como objetivo garantir uma qualidade sanitária satisfatória. O lodo ao ser disposto no solo deve estar higienizado de forma a não representar riscos à saúde da população. Quando a aplicação do lodo é em locais de acesso público como parques e jardins ou em reciclagem agrícola, a exigência sanitária é de nível maior do que em outras alternativas de disposição, como aterros sanitários ou utilização em matrizes de concreto.

A reciclagem agrícola é uma das mais importantes e promissoras rotas de disposição de lodos para a maioria dos países. O lodo quando estabilizado e higienizado pode proporcionar a fertilização do solo, aumentar a produtividade agrícola além de impedir eventuais impactos ambientais. As tecnologias disponíveis para higienização de lodos buscam minimizar os riscos de transmissão de doenças, através da redução da concentração de microrganismos patogênicos a valores que assegurem sua utilização agrícola de modo irrestrito (PINTO, 2001).

A regulamentação para dispor adequadamente os biossólidos deve ser específica de acordo com as condições ambientais, sociais e econômicas de cada região ou país. Os parâmetros internacionais devem servir de referência, contudo devem ser validados através de resultados experimentais que considerem as peculiaridades regionais, tais como o nível e o tipo de industrialização, o perfil sanitário da população e as características pedológicas regionais (SANTOS, 2001).

A Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) adotou como padrão de controle e garantia de segurança à saúde da população, com respeito a microrganismos patogênicos, duas classes de qualidade microbiológica do lodo (40 CFR Part 503). O *lodo classe A* permite o uso do lodo de modo irrestrito, sendo produzido através de processos que garantam uma concentração de microrganismos abaixo do limite de detecção. Ou seja, lodos que tenham passado por um processo de higienização. Já o *lodo classe B*, produzido através de processos convencionais de estabilização, possui algumas restrições e recomendações para sua utilização agrícola (PINTO, 2001).

A Tabela 3.1 apresenta uma comparação entre os diversos limites de concentração de patógenos utilizados por alguns países para que o lodo seja considerado seguro para a utilização irrestrita na agricultura, e que, portanto, os processos de higienização devem atingir.

Tabela 3.1. Limites de concentração de microrganismos patogênicos.

MICRORGANISMO	EUA (40 CFR 503)	ÁFRICA DO SUL (WRC 1997)	COM. EUROPÉIA (86/287/EEC)		COMUNIDADE EUROPÉIA (NOVA PROPOSTA)
			França	U.K	
Coliformes fecais	<1000 cfu/g ST	<1000 UFC/10g ST	n.d	Define apenas processos de tratamento do lodo e restrições temporais para plantação, colheita e pastagem.	Redução de 6 unidades logarítmicas
Salmonella	<3 NMP/4g ST	0 NMP/10g ST	< 8 NMP/ 10g ST		0 NMP / 50g ST (massa úmida)
Enterovírus	<1 NMP/4g ST	n.d	<3 NMP / 10g ST		n.d
Ovos viáveis de helmintos	< 1 ovo viável/ 4g ST	0 ovo viáveis/ 10g ST	< 3 ovos viáveis/ 10g ST		n.d

Diante da concentração de organismos patogênicos no lodo (Tabela 3.1) se faz necessário um tratamento adequado para utilização do lodo na agricultura, sem implicar riscos à saúde. Menores riscos (risco potencial), de transmissão de doenças são obtidos por tratamento de lodo (higienização) com elevada eficiência de remoção de patogênicos, no entanto, custos maiores são exigidos. Por outro lado, o tratamento de lodo menos exigente na qualidade sanitária, apresenta menores custos, mas sua utilização na agricultura, em determinadas circunstâncias, podem promover a transmissão de doenças. Dessa forma, para proporcionar uma alternativa de custo-benefício adequada à utilização de lodo higienizado na agricultura é de grande importância uma avaliação do risco potencial e do risco atribuível (risco real).

Segundo Bastos (2003), o risco potencial caracteriza-se pela presença de um agente infeccioso (microrganismos patogênicos), no entanto, isso não implica necessariamente na certeza de transmissão de doenças. A estimativa da proporção de indivíduos que contraem uma enfermidade, após um determinado grau de exposição a um agente infeccioso, durante um período específico, denomina-se de risco atribuível ou real.

3.2.1 Agentes patogênicos presentes no lodo

Nos esgotos sanitários, geralmente estão presentes quatro grupos de organismos patogênicos: fungos, vírus, bactérias e parasitos. A origem destes agentes patogênicos pode ser de procedência humana, o que reflete diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico de cada região. Pode ser também de procedência animal, cujos dejetos são eliminados através da rede de esgoto, ou então pela presença de animais na rede de esgoto, principalmente roedores. Em relação aos patógenos presentes no lodo, estudos epidemiológicos têm mostrado que bactérias, vírus, ovos de helmintos e cistos de protozoários representam riscos para saúde humana e animal. (SILVA et al, 2001).

Os processos de tratamento do esgoto concentram, no lodo, a maior carga de microrganismos contidos inicialmente no afluente. Na fase de separação, os microrganismos se aderem a partículas sólidas dos sedimentos. Assim, pode ser encontrada a mesma população inicial; no entanto, estes agentes patogênicos estão mais concentrados. Outro fator a ser considerado é o percentual destes patógenos presentes, porém inviáveis, pois os processos de tratamentos são capazes de desnaturá-los, ou seja, estes organismos perdem sua infectividade (SILVA et al, 2001).

A quantidade de patógenos presentes no lodo pode variar em função do tempo, da amostragem feita e de outros aspectos. Depende do processo de tratamento a que o esgoto tenha sido submetido (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Concentração de agentes patogênicos em lodo primário e lodo digerido.

AGENTE PATOGENICO	TIPO DE LODO	NUMERO DE PATOGENOS
Ovos de helmintos	Lodo primário	$10^3 - 10^4 / \text{kg MS}$
	Lodo digerido	$10^2 - 10^3 / \text{kg MS}$
	Lodo semi desidratado	$10^1 - 10^3 / \text{kg MS}$
	Lodo de tratamento aeróbio, semi desidratado	$10^2 - 7,5 \cdot 10^4 / \text{kg MS}$
	Lodo anaeróbio	$6,3 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^4 / \text{kg MS}$
Cistos de protozoários	Lodo primário	$7,7 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^6 / \text{kg MS}$
	Lodo digerido	$3 \cdot 10^4 - 4,1 \cdot 10^6 / \text{kg MS}$
	Lodo desidratado	$7 \cdot 10^1 - 10^2 / \text{kg MS}$
Bactérias	Lodo	$10^1 - 8,8 \cdot 10^6 / \text{kg MS}$
	Lodo ETE Belém – PR	$10^8 / \text{kg MS}$
Vírus	Lodo primário	$3,8 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^5 / \text{l}$
	Lodo digerido	$10^1 - 10^3 / \text{l}$
	Lodo biológico	$10^1 - 8,8 \cdot 10^6 / \text{kg MS}$

Fonte: Feix e Wiart (1998), Thomaz Soccol et al. (1997 a,b; 2000)

3.2.1.1 Ovos de helmintos e cistos de protozoários

Na Tabela 3.3 se encontram os principais parasitos que podem ser encontrados no lodo e os sintomas que eventualmente podem causar nos homens e nos animais

Tabela 3.3. Principais parasitos cujos ovos (helmintos) ou cistos (protozoários) podem ser encontrados no lodo ou no esgoto, hospedeiros normais e acidentais, e doenças causadas nestes hospedeiros.

GRUPO	PARASITO	HOSPEDEIRO	SINTOMAS PRINCIPAIS
Nematóides	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Homem	Distúrbios digestivos, vômito, dor abdominal
	<i>Ascaris suum</i>	Suíno	Distúrbios digestivos e nutricionais, emagrecimento, tosse, febre
	<i>Ancylostoma duodenale</i>	Homem	Anemia, emagrecimento
	<i>Necator americanus</i>	Homem	Anemia, emagrecimento
	<i>Trichuris trichiura</i>	Homem	Diarréia, anemia, perda de peso, dor abdominal
	<i>Toxocara canis</i>	Cães, Homem	Emagrecimento, diarréia, febre, desconforto abdominal, sintomas neurológicos (larva migrans visceral)
	<i>Trichostrongylus axei</i>	Bovinos, Equinos, Homem	Gastrite, úlcera gástrica
Cestóides	<i>Taenia solium</i>	Homem, Suínos	Distúrbios digestivos, insônia, anorexia, dor abdominal, distúrbios nervosos, irritação, emagrecimento
	<i>Taenia saginata</i>	Homem, Bovinos	Distúrbios digestivos, insônia, anorexia, dor abdominal, emagrecimento
	<i>Hymenolepis nana</i>	Homem, Artrópodes	Diarréia, sinais nervosos
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	Roedores, Artrópodes	Distúrbios digestivos
	<i>Echinococcus granulosus</i>	Cães, Ovinos, Homem	Distúrbios digestivos, hepáticos e pulmonares
Protozoários	<i>Entamoeba histolytica</i>	Homem	Enterite aguda
	<i>Giardia lamblia</i>	Homem, cães, gatos	Diarréia, perda de peso
	<i>Toxoplasma gondii</i>	Gatos, homem, mamíferos, aves	Alterações de sistema nervoso, coriorrentinite
	<i>Balantidium coli</i>	Homem, suínos	Distúrbios digestivos
	<i>Cryptosporidium</i>	Homem, bovinos	Gastroenterite

Fonte: Thomaz Soccol e Paulino (2000)

O homem e/ou os animais podem se infectar por várias vias. A mais importante epidemiologicamente é a via oral não podendo ser descartadas outras vias como a inalação. A infecção pode se dá de forma direta, ao se ingerir ou manusear solo ou vegetais com ovos de

helminhos viáveis ou por via indireta, com a ingestão de água contaminada ou no consumo de vegetais crus plantados em solo adubado com biossólido contendo ovos ou larvas de helmintos ou cistos de protozoários. Apenas um cisto de protozoários ou ovo de helmintos é suficiente para infectar o hospedeiro (Tabela 3.4).

Tabela 3.4. Dose mínima infectiva (DMI) para cistos de protozoários e ovos de helmintos.

AGENTE PATOGENICO	DMI
Cistos de protozoários	$10^0 - 10^2$
Ovos de helmintos	$10^0 - 10^1$

Fonte: OMS (1989)

3.2.1.2 Bactérias entéricas patogênicas

Bactérias presentes no lodo são de diferentes origens, como da flora intestinal humana e animal, do solo, do ar e da água. A tabela 3.5 apresenta os principais grupos de bactérias patogênicas entéricas de maior interesse e que podem representar riscos para a saúde humana e animal.

Tabela 3.5. Bactérias presentes em lodo de esgoto (lodo de decantação primária).

ORGANISMO	DOENÇA	RESERVATÓRIO (EM ANIMAIS)
Salmonella paratyphi A, B, C	Febre paratifóide	Mamíferos domésticos e selvagens, pássaros e tartarugas
Salmonella typhi	Febre tifóide	Mamíferos, aves domésticas e selvagens
Salmonella spp	Salmonelose	Bovinos e outros animais
Shigella sonnei, S. flexneri, S. boydii, S. dysenteriae	Disenteria	
Vibrio cholerae	Cólera	
Yersinia enterocolitica	Gastroenterite	Aves domésticas e silvestres e mamíferos
Campylobacter jejuni	Gastroenterites	Animais domésticos, cachorros, gatos, aves
Escherichia coli	Gastroenterites	Animais domésticos
Leptospira spp	Leptospirose	Mamíferos domésticos e selvagens, ratos

Fonte: EPA(1992), ADEME(1998)

O grupo de bactérias coliformes, denominado “coliformes totais” é constituído por vários gêneros da família Enterobacteriaceae (*Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Escherichia*). Dentro deste grupo encontram-se os coliformes fecais, que são bactérias que ocorrem com maior frequência em fezes humanas e de animais homeotermos. A sua excreção com as fezes de doentes pode vir acompanhada de patógenos. Assim, quanto maior o número de coliformes fecais maior a probabilidade de se encontrar bactérias patogênicas. Entretanto, as pessoas sadias também excretam coliformes, nas concentrações de 10^9 a 10^{11} por grama de material fecal. O grupo dos coliformes fecais compreende microrganismos em forma de bastonetes, que medem de 0,1 a 0,2um de largura por 1,0 a 2,0 um de comprimento. São Gram-negativos não esporulados e fermentam a lactose com produção de gás a 44,5°C. Estas características são usadas tradicionalmente para sua detenção e assim avaliar o estado sanitário de massas de água e, nas estações de tratamento de esgoto, para ponderar a eficiência do sistema na redução de microrganismos de origem antérico (APHA, 1995).

3.2.2 Aproveitamento e/ou disposição final do lodo de esgoto

Entre as alternativas possíveis para o aproveitamento e/ou destino final de lodos (biossólidos), pode-se relacionar:

- *Uso agrícola*: aplicação no solo com fins agrícolas, aplicação em áreas de reflorestamento e produção de fertilizante;
- *Disposição em aterro sanitário*: aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos;
- *Reuso industrial*: produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmicas e produção de cimento;
- *Incineração*: incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos;
- *Disposição oceânica*.

Os Estados Unidos que produzem cerca de 13 milhões de toneladas por ano de biossólidos e a Europa cerca de 7 milhões de toneladas por ano, dispõem seus biossólidos conforme apresentado na Tabela 3.6. (TSUTIYA *et al*, 2001).

Tabela 3.6. Disposição final de bio-sólidos nos Estados Unidos e na Europa

FORMAS DE DISPOSIÇÃO	EUA (%)	EUROPA (%)
Aterro	41	42
Uso agrícola	25	36
Incineração	16	11
Disposição oceânica	6	5
Outras formas (*)	12	6

(*) Reflorestamento, Recomposição de áreas degradadas, etc.

Fonte: SABESP (1998); Matthews (1999)

3.3 RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE EXPOSIÇÃO DO LODO A DIFERENTES TEMPERATURAS

Acredita-se que a destruição dos microrganismos pelo calor é devida à coagulação de suas proteínas e especialmente à inativação dos sistemas enzimáticos, necessários ao metabolismo. O tratamento térmico necessário para destruição dos microrganismos ou dos seus esporos é função de seu tipo, estado e de certas condições ambientais (GAVA, 2002).

Apesar das divergências, existe bastante evidência para mostrar a morte logarítma das bactérias quando submetidas ao calor. Na morte em ordem logarítmica, se as condições térmicas são constantes, a mesma percentagem de bactérias será destruído num dado intervalo de tempo, não importando o número de bactérias sobreviventes. Em outras palavras, se uma certa temperatura destrói 90% da população em 1 minuto, 90% da população remanescente serão destruídos no segundo minuto, 90% do que resta serão destruídos no terceiro minuto, e assim por diante (GAVA, 2002).

A tabela 3.7 indica relação tempo-temperatura recomendada pela EPA (Environmental Potection Agency – 1985) para a redução de patógenos.

Tabela 3.7. Relação tempo-temperatura para a redução de patógenos.

ORGANISMO	TEMPO (MINUTOS)	TEMPERATURA (°C)
Escherichia coli.	5	70
	15 a 20	60
	60	55
Coliformes Fecais	60	70

Fonte: EPA (1985)

3.3.1. Curva de Sobrevivência Térmica

Também conhecido com o nome de "Survivor curve", "thermal death-rate curve" e "thermal destruction curve". É obtido no gráfico em escala semilogarítmica que possui na ordenada, em escala logarítmica, o número de células vivas remanescentes de uma suspensão de bactérias (ou esporos) e na abscissa o tempo de aquecimento a uma temperatura constante (GAVA, 2002).

Sendo uma destruição em ordem logarítmica, os vários pontos formam uma linha reta, cuja inclinação ("slope") é chamada de tempo de redução decimal ("decimal reduction time" - DRT) ou simplesmente conhecida por D. O valor D pode ser definido como o tempo em minutos, a uma certa temperatura, necessário para destruir 90% dos organismos de uma população, ou para reduzir uma população a um décimo do número original. Também pode ser definido como o tempo em minutos necessário para a curva atravessar um ciclo logarítmico na escala de sobrevivência térmica (GAVA, 2002).

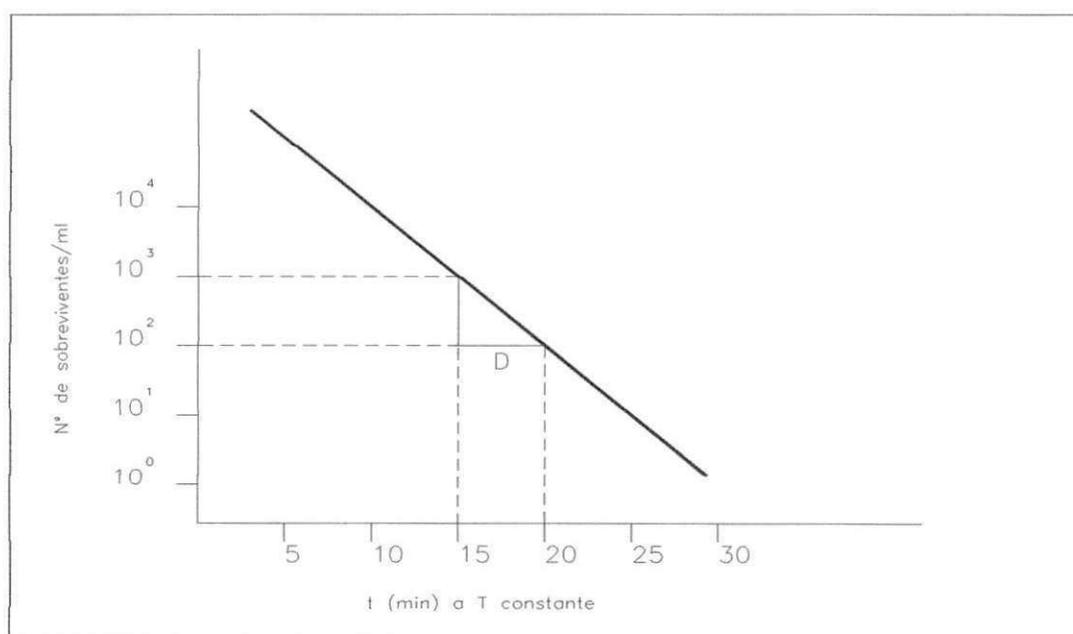


Gráfico 01: Curva de Sobrevivência Térmica

$$-\frac{dN}{dt} = KN$$

$$-\int_{N_0}^{N_1} \frac{dN}{N} = K \int_{t_0}^t dt$$

$$-(\ln N_1 - \ln N_0) = Kt \quad Kt_0$$

$$\ln N_0 - \ln N_1 = Kt$$

$$\ln \frac{N_0}{N_1} = Kt \therefore \frac{2,3}{K} \log \frac{N_0}{N_1}$$

$$D = \frac{2,3}{K} \cdot \log 10 \quad \text{ou} \quad D = \frac{2,3}{K} \quad (01)$$

O valor D é usado comumente para comparar a resistência térmica dos microrganismos.

2.5 Curva de Resistência Térmica

A curva de resistência térmica ("thermal resistance curve", "phantom death time curve"), freqüentemente citada como curva de tempo de morte térmica reflete a resistência relativa das bactérias a temperaturas diferentes. É construída demarcando na ordenada o logaritmo de D (ou algum múltiplo de D), determinado para um microrganismo submetido a várias temperaturas letais, mantendo-se as mesmas condições e, na abscissa, a temperatura correspondente (GAVA, 2002).

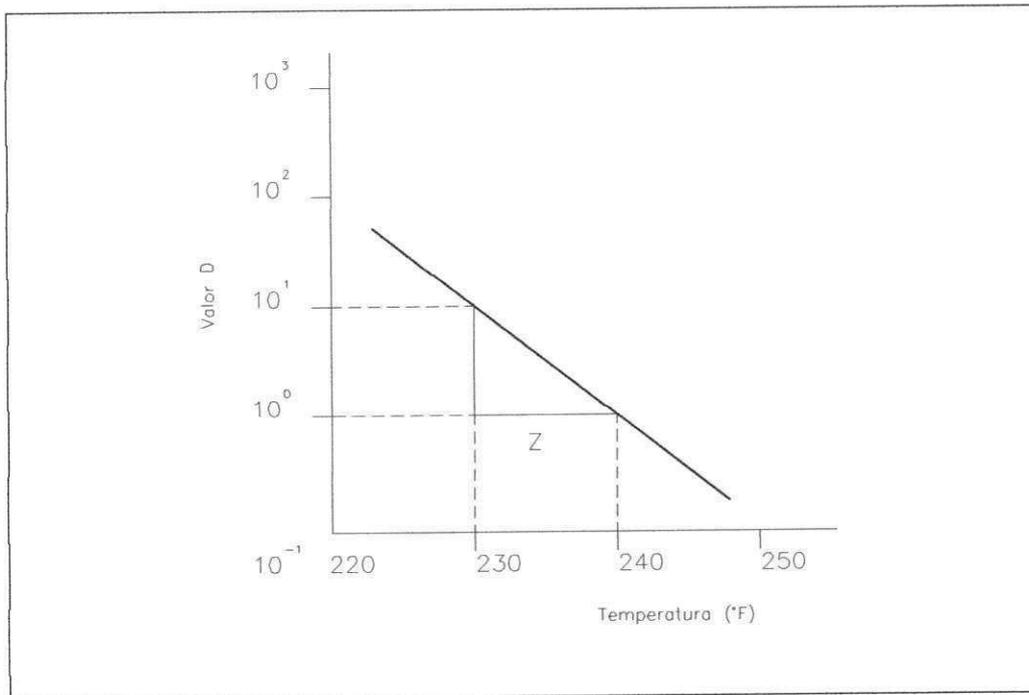


Gráfico 02: Curva de Resistência Térmica

$$\frac{\log D_2 - \log D_1}{T_2 - T_1} = -\frac{1}{Z}$$

$$\log D_2 - \log D_1 = -\frac{1}{Z}(T_2 - T_1)$$

$$\log \frac{D_2}{D_1} = \frac{T_1 - T_2}{Z} \quad (02)$$

4.0 METODOLOGIA

A curva de sobrevivência térmica que representa o decaimento exponencial da população de bactérias no decorrer do tempo em uma determinada temperatura foi obtida a partir de exames microbiológicos realizados em amostras previamente condicionadas a diferentes situações de temperatura e tempo de exposição. Dentre os métodos que são utilizados para determinar a resistência térmica dos microrganismos foi utilizado o método dos Tubos Múltiplos.

O teste *presuntivo* visa detectar a presença de microrganismos fermentadores de lactose, especialmente do grupo dos coliformes. Baseia-se na utilização de um meio de cultura rico em nutrientes, facilitando o rápido crescimento dos microrganismos. Oferece como fonte de carbono apenas lactose, que é fermentada pelos coliformes com produção de ácidos e gás, evidenciado pelo tubo de Durham. O meio contém ainda lauril sulfato, que inibe consideravelmente o crescimento da flora acompanhante (HIGASKINO *et al*, 2000).

Como princípio do método, 1000 g da amostra de lodo foi homogeneizada. Desta, foi pesada 200 g e inoculada em um Becker contendo 1800ml de água de diluição (10^{-1}) procedendo-se a partir daí como uma amostra líquida.

As amostras foram distribuídas em tubos de ensaios e dispostas a Banho Maria com temperatura homogênea e controlada. Quando as amostras alcançavam à temperatura do Banho Maria retirava-se o primeiro tubo para exame e iniciava-se a cronometragem. Após intervalos determinados outros tubos eram retirados e submetidos à técnica de Tubos Múltiplos. Logo depois de retirados do Banho Maria, os tubos de ensaio eram colocados num béquer com água fria e gelo, para que com o choque térmico, pasteurizassem e não ocorresse mais inativação de bactérias com o calor remanescente.

▪ Técnica de Tubos Múltiplos

Com uma pipeta esterilizada de 10 ml e obedecendo aos cuidados de assepsia, transfere-se 1 ml da diluição 10^{-2} para um frasco contendo $9 \pm 0,2$ ml de água de diluição tamponada, preparando-se assim a diluição decimal 10^{-2} .

Homogeneiza-se a diluição 10^{-2} e com uma pipeta esterilizada transfere-se 1 ml para outro frasco contendo $9 \pm 0,2$ ml de água de diluição tamponada, tendo-se assim a terceira diluição decimal. Homogeneiza-se a terceira diluição decimal e procede-se como anteriormente, obtendo-se a quarta diluição decimal, e assim sucessivamente, até a diluição necessária.

Agita-se o frasco contendo a última diluição e coloca-se com a pipeta 1 ml da diluição em uma série de 5 tubos de caldo lactosado. Procede-se dessa maneira até a diluição de 10^{-1} e incubase em estufa à $35 \pm 0,5$ °C por 24 a 28 horas.

Após o tempo determinado para incubação procede-se a leitura dos tubos que apresentam turbidez e/ou gás nos tubos de Durham (teste presuntivo). No caso dos tubos que não apresentam resultado positivo, deixa-se na estufa por mais 24 horas.

Para o teste confirmativo, transfere-se uma alçada dos tubos positivos provenientes do teste presuntivo em caldo EC MUG Medium e incubase a 24 horas a 42°C. Examina-se a presença ou ausência de coloração fluorescente e registram-se os resultados.

Na Tabela 4.1 estão presentes as técnicas utilizadas nos exames microbiológicos. Na Tabela 4.2 estão as temperaturas e os intervalos de tempos utilizados no experimento.

Tabela 4.1: Metodologias adotadas nos exames microbiológicos.

EXAME BIOLÓGICO	MÉTODO	REFERÊNCIA
Coliformes Termotolerantes.	Técnica de Tubos Múltiplos, Enriquecimento em caldo lactosado e teste presuntivo em caldo EC-medium.	(ALPHA, et al., 1989) (SOCCOL, et al., 200)
Escherichia coli	Técnica de Tubos Múltiplos, Enriquecimento em caldo lactosado e teste presuntivo em caldo EC-MUG.	(ALPHA, et al., 1989)

Tabela 4.2: Temperaturas e os respectivos intervalos de exposição utilizados nos exames microbiológicos.

TEMPERATURA (°C)	INTERVALOS (MIN)
55	10
60	10 e 3
65	1
70	0,15s

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das curvas de sobrevivências térmicas, obtidas nos testes de termoresistência dos organismos indicadores estudados, foi possível determinar os tempos de decaimento decimal (D), o que representa o tempo necessário para que ocorra a destruição de 90% desta população (uma escala logarítmica). Na Tabela 5.1 estão presentes os valores experimentais de (D) obtidos nas temperaturas de 55°C, 60°C, 65°C e 70°C.

Como podemos observar no gráfico da Curva de Sobrevivência a 55°C (Gráfico 03), passando retas horizontais de 10^5 e 10^4 até a curva de E. Coli e prolongando para as abscissas, observamos que o tempo de decaimento decimal (D), para *Escherichia Coli* a 55 °C é de aproximadamente 12 minutos, ou seja, o lodo a uma temperatura de 55°C, necessita de 12 minutos para que 90% da população de *E. Coli* seja destruída. Da mesma forma, foram feitos para 60°C, 65°C e 70°C e os outros indicadores microbiológicos.

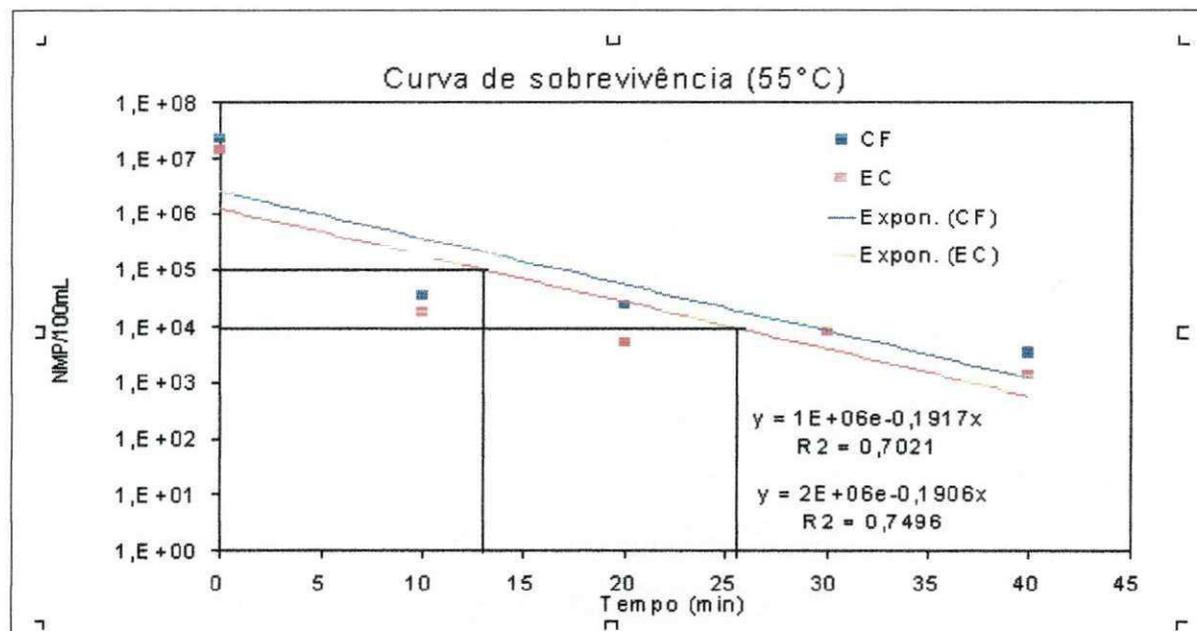


Gráfico 03: Curva de Sobrevivência Térmica a 55°C

Na Tabela 5.1 estão presentes os valores experimentais de (D) obtidos nas temperaturas de 55°C, 60°C, 65°C e 70°C.

Tabela 5.1: Valores dos tempos de redução decimal (D) para coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli*.

TEMPERATURA	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	<i>ESCHERICHIA COLI</i>
55 °C	12,07 min	12,00 min
60 °C	3,11 min	3,07 min
65 °C	0,87 min	0,80 min
70 °C	0,22 min	0,21 min

Observando os dados experimentais (Tabela 5.1) verifica-se que a termoresistência da *Escherichia Coli* é um pouco menor que a do grupo que mesma pertence, coliformes termotolerantes. Fato que questiona a recomendação da EPA (Tabela 3.7) em adotar um tempo de 60 min a 70°C para coliformes termotolerantes e 5 min a 70°C para *Escherichia Coli*. Quando a exposição a 70°C por 10 minutos ou menos já poderá ser suficiente. O tempo excessivo de exposição do lodo a uma temperatura de 70° torna o tratamento térmico oneroso e muitas vezes impraticável.

6.0 CONCLUSÃO

Uma das alternativas para a higienização do lodo consiste no tratamento térmico. A relação tempo de exposição do lodo a uma determinada temperatura é fundamental para garantir a sua higienização. Conhecendo-se a termoresistência dos organismos patogênicos, torna-se possível avaliar a eficiência dos processos térmicos de higienização, a partir do acompanhamento da distribuição de temperatura no lodo.

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa verifica-se que para promover higienização do lodo é necessária uma relação de tempo e temperatura bem menos exigente que o recomendado pela EPA (1985). No entanto, considerando um fator de segurança e o efeito da condutividade térmica do lodo os valores experimentais podem se aproximar do recomendado.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. **Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final**. SANEPAR. Curitiba, PR. Vol 6, 2001,483p.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the examination of and Wastewater** 17th ed. Amer. Public Health Assoc., Americ. Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C., 1989. 1134 p.

GAVA, Altanir Jaime. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. Ed. Nobel, 2002

SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C. P.; CASTRO, E. A. **Metodologias para análise parasitológica em lodo e esgoto**. In:Manual de Métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de Esgoto. SANEPAR. Curitiba, PR, 2000.