



# CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Pavilhão de Exposições

Balneário Camboriú - Santa Catarina - 20 a 25 Nov 1983

## 8- Influência Simultânea de Elevadas Concentrações de Metais Pesados e Cianetos na Digestão Anaeróbia de Lodos de Esgotos



CETESB

ARQUIVO TECNICO



03986



012309

4  
39i  
309

S.	5314
R	do 89 im
O	12309 ex. 1



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

**DIRETORIA**

**Werner Eugênio Zulauf**  
*Diretor-Presidente*

**Antônio Alves de Almeida**  
*Diretor Administrativo*

**Nelson Mansour Nabhan**  
*Diretor de Engenharia*

**Nelson Vjeira de Vasconcelos**  
*Diretor de Controle*

**Nivaldo José Chioffi**  
*Diretor de Planejamento Ambiental*

**Paulo Bezerril Júnior**  
*Diretor Financeiro*

**Samuel Murgel Branco**  
*Diretor de Pesquisa*

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - CEP 05459  
PABX - 210-1100 - São Paulo - Brasil

31 E10-062XS



## INFLUÊNCIA SIMULTÂNEA DE ELEVADAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS E CIANETOS NA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE LODOS DE ESGOTOS

Eng<sup>o</sup> Marcos Eduardo de Souza (Mestre em Engenharia)

Gerência de Pesquisas de Tratamento de Resíduos e Qualidade da Água

### INTRODUÇÃO

Foi estudada a influência de elevadas concentrações de metais pesados e cianetos na digestão anaeróbia de lodos de esgotos, com o principal objetivo de verificar a viabilidade técnica de aplicação deste tratamento aos lodos a serem gerados, pela decantação primária e pelo processo de lodos ativados, na futura ERQ-ABC do SANEGRA, ou em Estações semelhantes que devem receber esgotos domésticos em mistura com efluentes industriais.

Outros objetivos do estudo foram a determinação do limite de toxicidade suportável pela digestão anaeróbia, a verificação da necessidade ou não de aquecimento dos digestores, a determinação do grau de inibição do processo em função das concentrações de tóxicos presentes e a verificação do comportamento do processo de lodos ativados submetido aos agentes tóxicos em exame <sup>(1)</sup>.

Para cumprir estes objetivos preteriu-se a realização do estudo através da adição a esgotos domésticos de compostos tóxicos em concentrações conhecidas, em favor da utilização de esgotos que já contivessem aqueles compostos tóxicos nas concentrações requeridas pelo estudo. Procurou-se desta forma se aproximar da situação real, ao utilizar esgotos com as variações que naturalmente ocorrem nas concentrações dos principais compostos tóxicos, e ainda levando em conta as concentrações de uma infinidade de outros compostos, normalmente presentes na região do ABC paulista, e que podem modificar os efeitos causados pelos tóxicos.

Os trabalhos desenvolvidos constaram da caracterização de esgotos de diferentes coletores, escolha daquele cujos esgotos continham maiores concentrações de compostos tóxicos, operação de uma estação piloto de tratamento de esgotos pelo processo de lodos ativados, processo de decantação primária, e operação de dois digestores (um a 35<sup>o</sup> e outro a 29<sup>o</sup>C).

Os estudos foram realizados pela CETESB <sup>(2)</sup>, sob a coordenação técnica do autor. A definição dos objetivos, assim como da metodologia, foi efetuada em comum acordo entre a SABESP e a CETESB.

A construção dos digestores, projetados pelo autor, foi realizada pela SABESP-Vila Leopoldina e a manutenção elétrica/mecânica pela SABESP-Ipiranga.

Neste trabalho não serão apresentados com detalhes os resultados referentes ao processo de lodos ativados, visto que o objetivo principal foi o estudo da digestão anaeróbia. A parte referente ao tratamento dos esgotos foi apresentada anteriormente em congresso <sup>(3)</sup>.

## METODOLOGIA

Seleção de Local Para a Realização dos Ensaio

Tendo em vista que neste trabalho se pretendeu principalmente estudar a viabilidade técnica do tratamento por digestão anaeróbia dos lodos a serem gerados na futura ERQ-ABC, foram realizados pela HIDROSERVICE, com base em informações obtidas pela SABESP e pela CETESB, previsões sobre as concentrações de metais pesados que se esperam para os esgotos a serem tratados naquela ERQ. Estas previsões são mostradas na tabela 1.

*Tabela 1 - Resumo das previsões efetuadas pela HIDROSERVICE, com dados da SABESP e da CETESB, sobre as concentrações de metais pesados esperadas nos esgotos brutos da ERQ-ABC do SANEGRAN.*

METAL	CONCENTRAÇÃO NOS ESGOTOS (mg/l)		
	PREVISÃO 1	PREVISÃO 2	MÉDIA DAS PREVISÕES
Zinco	1,90	3,20	2,55
Níquel	0,58	0,30	0,44
Cromo	1,12	1,20	1,16
Cobre	0,38	0,40	0,39
Chumbo	0,12	0,40	0,26
Cádmio	0,01	0,04	0,025

*Previsão 1 - Calculada de acordo com pesquisa feita sobre as principais indústrias poluidoras da região do ABC.*

*Previsão 2 - Calculada considerando-se a carga total de metais pesados obtida de análises das águas do Rio Tamanduateí, na região do ABC.*

Para a seleção do local de realização das experiências foram analisados os esgotos da ERQ-Ipiranga e de três coletores de esgotos da região do ABC, previamente selecionados pela SABESP como aqueles que possivelmente contivessem elevadas concentrações de compostos tóxicos. Os resultados destas caracterizações são mostrados na tabela 2.

O coletor nº 3 foi o escolhido, visto que era o único cujos esgotos continham compostos tóxicos em quantidades superiores às previstas para a ERQ-ABC, conforme se observa comparando as tabelas 1 e 2. Os lodos provenientes do tratamento dos esgotos do coletor nº 3 poderiam ser então convenientemente diluídos com lodos domésticos, de maneira que se atingissem as concentrações de tóxicos previstas para a futura ERQ-ABC:

Desta forma, a estação piloto foi montada junto ao ponto em que o coletor 3 despejava seus esgotos no Rio Tamanduateí, ou seja, na esquina das avenidas Dr. Francisco Mesquita e Presidente Wilson. Visto que o local selecionado não oferecia condições para a realização dos ensaios pretendidos, como na ERQ-Ipiranga, toda a infra-estrutura necessária, como água, energia elétrica, instalações para laboratório e isolamento físico do local teve que ser providenciada, especialmente para a montagem da Estação piloto e a

realização destes estudos.

Tabela 2 - Caracterização dos esgotos brutos afluentes à ERQ-Ipiranga, e dos esgotos de coletores.

- Amostras compostas de 2 em 2 horas, durante 24 horas

PARÂMETRO (mg/l quando não indicado)	ERQ-IPIRANGA	COLETOR 1	COLETOR 2	COLETOR 3
Sulfetos	2,6	0,4	0,3	0,7
Cianetos	0,14	0,07	0,26	6,0
Cobre	0,20	0,14	0,09	2,8
Zinco	0,49	0,27	0,27	6,6
Cromo	0,50	0,19	0,54	10,0
Ferro	6,3	2,65	2,35	4,4
Chumbo	0,11	< 0,002	< 0,002	0,7
Manganês	0,08	0,10	0,08	3,2
Níquel	0,24	0,08	0,24	1,6
Cádmio	0,02	0,007	0,003	0,02
Mercurio ( $\mu\text{g/l}$ )	2,02	< 0,17	< 0,17	0,35

Pontos de coleta:

Coletor 1 - Av. Guido Aliberti, em frente à futura ERQ-ABC do SANEGRAN

Coletor 2 - Esquina das Avenidas Goiás e Pres. Kennedy

Coletor 3 - Esquina das Avenidas Dr. Francisco Mesquita e Pres. Wilson

#### Descrição das Instalações Piloto

Utilizou-se para o tratamento dos esgotos, um sistema de lodos ativados cujo tanque de aeração tinha  $1 \text{ m}^3$  de capacidade útil e cujo decantador secundário tinha 380l de capacidade útil. Os difusores de ar eram em número de 5, regularmente distribuídos pelo tanque de aeração.

O sistema de lodos ativados era precedido de um decantador primário de  $1,35 \text{ m}^3$ . Uma bomba de recalque de esgoto alimentava o decantador primário, e uma caixa de distribuição permitia, com auxílio de uma válvula tipo gaveta, ajustar a vazão requerida para o tanque de aeração, descartando-se o esgoto restante.

O sistema de tratamento dos lodos era constituído de dois conjuntos digestor/gasômetro.

O volume útil dos digestores era de 180 l. Um dos digestores era dotado de um sistema de controle de temperatura (regulado a  $35^\circ\text{C}$ ), enquanto o outro foi previsto para trabalhar sem aquecimento. Porém, visto que mesmo utilizando revestimento de lã de vidro não se conseguiu manter a temperatura deste digestor próxima à verificada nos digestores comerciais, foi instalado um controlador para manter a temperatura em  $29^\circ\text{C}$ , valor médio observado durante a maior parte do ano nos digestores de lodo da SABESP, sem nenhum sistema de aquecimento.

O sistema de agitação, mecânico, era constituído de um motor único, que movimentava simultaneamente os eixos dos dois digestores a uma velocidade fixa de 300 rpm. Um temporizador mantinha o motor ligado durante 5 minutos e desligado durante os 10 minutos seguintes, ciclicamente, de modo a evitar que um excesso de agitação perturbasse o processo de digestão anaeróbia. O eixo de agitação prolongava-se do fundo do digestor até uma altura de 20 cm e possuía na extremidade uma hélice de 3 pás, com 10 cm de diâmetro.

Na tampa de cada digestor foram instaladas 2 válvulas tipo gaveta de 1", sendo em uma delas acoplado um funil de plástico de 5 l, por onde era feita a alimentação e 2 válvulas tipo gaveta de 1/2", para a saída dos gases produzidos e coleta de amostras do gás.

No fundo do digestor havia ainda uma válvula tipo gaveta de 1" para a retirada de lodo digerido.

Os gasômetros tinham cerca de 150 l de capacidade, e eram constituídos basicamente por dois cilindros invertidos, entre os quais havia 3 rolamentos, para reduzir a inércia ao movimento. O cilindro interno era ligado através de duas roldanas a uma plataforma com pesos que equilibravam seu peso, quando o sistema era preenchido com água. Uma régua fixa permitia medir os deslocamentos sofridos quando os gases da digestão se deslocavam para o gasômetro. Como os gasômetros foram previamente calibrados, conseguia-se desta forma determinar o volume de gases produzidos diariamente. Os gasômetros operaram sempre com pressões de 1 a 2 cm de coluna d'água.

#### Operação do Sistema de Tratamento de Esgotos

Os esgotos eram bombeados diretamente do poço de visitas do coletor nº 3 para o decantador primário. Deste, o sobrenadante passava à caixa de distribuição, de onde uma parte era enviada por gravidade ao tanque de aeração, sendo o restante descartado. O lodo primário era retirado uma vez ao dia.

A suspensão no tanque de aeração passava ao decantador secundário por gravidade. Deste, o sobrenadante (efluente final) era descartado e todo o lodo era bombeado de volta ao tanque de aeração. A retirada de excesso de lodo ativado, e portanto o controle da idade do lodo, era feita manualmente, diretamente do tanque de aeração, de duas em duas horas, durante o período diurno, não havendo retirada à noite (é possível operar o sistema até com um única retirada diária de lodo).

#### Operação dos Digestores

Diariamente, às 8:00 horas, eram ajustadas as pressões dos digestores à pressão atmosférica, e lidos os volumes de gases produzidos, sendo a seguir esvaziados e zerados os gasômetros.

Com os agitadores ligados continuamente há pelo menos 15 minutos eram retirados 6 litros de lodo digerido (no caso das condições finais de operação - 30 dias de tempo de detenção) e eram imediatamente determinados o pH e a temperatura dos lodos. A retirada de uma só vez de todo o volume de lodo digerido a ser descartado no dia era necessária, para se poder efetuar as análises físico-químicas previstas, e era possível, pois não alterava significativamente o volume de lodo no digestor.

A seguir procedia-se à preparação da alimentação para o dia, de forma que a mesma contivesse 45 g/l de sólidos totais, utilizando os seguintes lodos:

- lodo primário doméstico da ERQ-Pinheiros, coletado em amostras simples e analisado no dia anterior;
- lodos primário e secundário provenientes da própria estação piloto, coletados e adensados dois dias antes em amostras compostas, e analisados um dia antes.

Os lodos, quando não em uso, eram armazenados em refrigerador, na estação piloto.

A composição da mistura variava durante o decorrer dos ensaios, de forma que o conteúdo de lodo tóxico (lodos primários e secundário provenientes da piloto) da mistura era completado a 100% com lodo primário doméstico da ERQ-Pinheiros, sendo as proporções entre os lodos sempre medidas em sólidos voláteis.

Porém, os lodos primário e secundário provenientes da estação piloto eram utilizados sempre numa proporção entre si de 1,5:1 em sólidos voláteis, respectivamente, qualquer que fosse a composição da mistura.

Como exemplo, uma mistura de lodos contendo 20% de lodos tóxicos deveria ter a seguinte composição, em sólidos voláteis:

lodo da ERQ-Pinheiros	- 80%
lodo primário da piloto	- 12%
lodo secundário da piloto	- 8%

Os volumes de cada lodo eram então calculados, com base nos seus conteúdos de sólidos, previamente determinados, assim como era calculado o volume de água a ser adicionada para que a mistura atingisse a concentração de 45 g/l em sólidos totais.

Quando não havia volume suficiente de um dos lodos, era diminuída a concentração de sólidos totais da mistura. Em diversas ocasiões, especialmente no início, só se dispunham de resultados de sólidos totais dos lodos componentes da mistura, e assim os cálculos das composições em sólidos voláteis de cada lodo na mistura tinham que ser feitos estimando-se um certo conteúdo volátil dos sólidos totais dos lodos.

A seguir, amostras da mistura preparada, dos lodos digeridos, do lodo da ERQ-Pinheiros coletado neste mesmo dia, dos lodos primário e secundário da estação piloto, e outras eventuais amostras eram enviadas à CETESB para as análises necessárias.

No período das 10 às 20 horas, de duas em duas horas, eram ajustadas as pressões dos gasômetros, lidos os volumes de gases produzidos e alimentados os digestores com 1 litro de mistura de lodos cada um.

As operações de leitura de gás e alimentação, realizadas de duas em duas horas, permitiam a quase imediata detecção de problemas nos digestores, fossem operacionais ou causados por cargas de choque devido ao aumento súbito nas concentrações de tóxicos, verificáveis por uma brusca redução na produção de gases. Assim, era possível suspender as alimentações seguintes, antes que o problema se agravasse, e proceder às análises físico-químicas da mistura de lodos eventualmente responsável pelo problema.

Este procedimento justifica-se porque na prática não deverão ocorrer variações tão bruscas nas concentrações de tóxicos na alimentação, e mesmo que ocorram haverá também uma certa flexibilidade operacional de se alimentar menores quantidades de lodo por determinados períodos, pelo menos em alguns digestores.

Partida dos Digestores

Para o início dos ensaios de digestão anaeróbia, os digestores foram preenchidos com lodo primário doméstico digerido, proveniente da ERQ-Pinheiros, cujos digestores vinham sendo operados com cerca de 60 dias de tempo de detenção e cerca de 1,2 gSV/ℓ.dia de carga aplicada, à temperatura média anual de 29°C.

A cultura microbiana sofreu inicialmente uma lenta adaptação às condições finais de operação na estação piloto, idênticas às previstas para a futura ERQ-ABC (30 dias de detenção, 1,5 gST/ℓ.dia de carga aplicada e 29 ou 35°C, dependendo do digestor), sendo submetida neste período ao mesmo tipo de alimentação que na ERQ-Pinheiros: lodo primário doméstico.

Em ambos os digestores houve dificuldades nesta adaptação, especialmente no digestor a 35°C, visto que neste caso a cultura teve de se adaptar não somente às novas condições de tempo de detenção, como também às novas condições de temperatura.

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Comportamento do Processo de Lodos Ativados, quando Submetido a Elevadas Concentrações de Compostos Tóxicos

O sistema de lodos ativados precedido de decantação primária, operando com esgotos contendo elevadas concentrações de compostos tóxicos (4,55 mg cianetos/ℓ; 8,88 mgZn/ℓ; 1,88 mgNi/ℓ; 5,04 mgCr/ℓ; 1,85 mgCu/ℓ e 51,5 mgFe/ℓ) e sob uma ampla gama de condições operacionais em relação aos tempos de detenção hidráulico e celular, apresentou elevadas eficiências de remoção de DBO (90%), DQO (85%) e SS (88%), que não variaram significativamente durante todo o desenvolver do estudo (tabelas 3, 4 e 5).

*Tabela 3 - Médias e Variações das características físico-químicas dos esgotos, observadas durante a operação dentro dos seguintes limites:*  
*tempo de detenção hidráulico : 5,5 a 12,9 horas*  
*idade do lodo : 4,3 a 11,8 dias*  
*período : 2/8/79 a 19/2/80*

PARÂMETRO	ESGOTO BRUTO		ESGOTO DECANTADO		ESGOTO TRATADO	
pH	6,2	(2,0 a 11,6)	6,3	(3,6 a 7,8)	7,1	(4,5 a 8,0)
DBO (mg/ℓ)	229	(125 a 440)	156	(67 a 312)	24	(3 a 73)
DQO TOTAL (mg/ℓ)	634	(182 a 2327)	420	(45 a 1473)	95	(32 a 255)
DQO SOLÚVEL (mg/ℓ)					77	(16 a 202)
SS (mg/ℓ)	188	(24 a 484)	97	(16 a 204)	23	(3 a 76)
CIANETOS (mg/ℓ)	4,55	(0,10 a 12,00)	3,48	(0,13 a 7,20)	0,28	(0,01 a 2,29)
Zn (mg/ℓ)	8,88	(1,10 a 36,00)	4,99	(0,70 a 11,00)	1,74	(0,37 a 4,60)
Ni (mg/ℓ)	1,88	(0,37 a 4,20)	1,36	(0,17 a 2,30)	1,04	(0,27 a 2,25)
Cr (mg/ℓ)	5,04	(1,01 a 9,00)	2,72	(0,46 a 6,00)	0,63	(0,16 a 1,80)
Cu (mg/ℓ)	1,85	(0,48 a 5,60)	1,19	(0,47 a 2,70)	0,56	(0,12 a 2,00)
Cd (mg/ℓ)	0,08	(<0,005 a 0,11)	0,05	(<0,005 a 0,11)	0,03	(<0,005 a 0,04)
Fe (mg/ℓ)	51,5	(17,5 a 245,0)	31,3	(8,3 a 118,0)	3,8	(0,9 a 11,0)
Pb (mg/ℓ)	0,10	(<0,004 a 0,55)	0,05	(<0,004 a 0,50)	<0,008	
Hg (μg/ℓ)	0,41	(<0,17 a 0,80)	0,25	(<0,17 a 0,40)	0,14	(<0,17 a 0,35)

Tabela 4 - Médias dos valores dos principais parâmetros físico-químicos e de processo e das reduções observadas nos períodos em que o tempo de detenção hidráulico ( $\theta_h$ ) e a idade do lodo ( $\theta_c$ ) se mantiveram constantes.

PERÍODO	10/7/79 a 25/7	8/8 a 30/8	31/8 a 11/9	12/9 a 25/9	26/9 a 25/10	26/10 a 13/12	14/12 a 14/1/80	15/1 a 2/2	3/2 a 19/2
$\theta_c$ (dias)	14,6	10,0	7,5	11,8	7,8	7,4	5,7	5,3	4,3
$\theta_h$ (horas)	6,5	12,9	9,4	8,8	8,5	6,5	5,5	8,6	5,5
TANQUE DE AERAÇÃO									
Temperatura (°C)	16,8	16,4	16,8	17,9	21,3	22,3	22,7	23,1	24,2
SS (mg/l)	2699	3039	2432	2898	2851	3048	2116	1649	1743
Oxigênio Dissolvido (mg/l)	1,2	2,2	1,9	2,5	3,0	2,4	2,1	2,3	2,2
SVI (ml/g)	64	61	53	44	43	39	46	44	47
AFLUENTE PRIMÁRIO (ESGOTO BRUTO)									
DQO (mg/l)	689	605	523	747	652	607	776	630	546
DBO (mg/l)	271	165	239	275	265	215	184	324	158
SS (mg/l)	207	195	138	230	211	173	207	187	207
EFLUENTE PRIMÁRIO (ESGOTO DECANTADO)									
DQO (mg/l)	563	392	410	455	390	447	537	403	293
DBO (mg/l)	225	133	178	147	214	144	157	130	88
SS (mg/l)	130	102	76	83	104	94	122	99	50
EFLUENTE SECUNDÁRIO (ESGOTO TRATADO)									
DQO (mg/l)	187	92	118	125	78	98	96	88	95
DQO solúvel (mg/l)	154	77	61	101	61	81	108	87	46
DBO (mg/l)	39	19	16	18	17	31	53	27	15
SS (mg/l)	49	16	17	12	32	32	37	13	21
FATOR DE CARGA									
(kg DQO/kgSS.dia)	0,77	0,24	0,43	0,43	0,38	0,53	1,11	0,68	0,73
(kg DBO/kgSS.dia)	0,31	0,08	0,19	0,22	0,21	0,17	0,32	0,22	0,22
REDUÇÃO DA DQO (X) (BASEADA NA DQO TOTAL DO EFLUENTE SECUNDÁRIO)									
Tratamento primário	18,3	35,2	21,6	39,1	40,72	26,4	30,8	36,0	46,3
Tratamento secundário	66,8	76,5	71,2	72,5	90,0	78,1	82,1	78,2	67,6
Tratamento total	72,9	84,6	77,4	83,3	88,0	83,9	87,6	86,0	82,6
REDUÇÃO DA DQO (Z) (BASEADA NA DQO SOLÚVEL DO EFLUENTE SECUNDÁRIO)									
Tratamento secundário	72,6	80,4	85,1	77,8	84,4	81,9	79,9	78,4	84,3
Tratamento total	77,6	87,3	88,3	86,5	90,6	86,7	86,1	86,2	91,6
REDUÇÃO DA DBO (X)									
Tratamento primário	17,0	19,4	25,5	46,6	19,2	33,0	14,7	59,9	44,3
Tratamento secundário	82,7	85,7	91,0	87,8	92,1	78,5	86,2	79,2	83,0
Tratamento total	81,8	88,5	93,3	91,5	93,6	85,6	71,2	91,7	91,1
REDUÇÃO DA SS (Z)									
Tratamento primário	37,2	47,7	44,9	61,9	50,7	45,7	41,1	47,1	61,4
Tratamento secundário	82,1	54,3	77,6	85,5	69,2	66,0	69,7	86,9	73,6
Tratamento total	76,3	91,8	87,7	94,8	84,8	81,5	82,1	93,1	89,9

Tabela 5 - Médias gerais, para o sistema de lodos ativados, das remoções de DBO, DQO, SS, Cianetos e metais pesados, válidas para a operação dentro dos seguintes limites:

Tempo de detenção hidráulico: 5,5 a 12,9 horas

Idade do lodo : 4,3 a 11,8 dias

Período : 2/8/79 a 19/2/80

P A R Â M E T R O (%)	TRATAMENTO PRIMÁRIO	TRATAMENTO SECUNDÁRIO	TRATAMENTO PRIM+SEC
REMOÇÃO DE DBO	32,0	85,5	90,4
REMOÇÃO DE DQO (1)	33,0	75,8	83,4
REMOÇÃO DE DQO (2)		79,5	86,3
REMOÇÃO DE SS	46,3	79,1	88,0
REMOÇÃO DE CIANETOS	19,3	94,2	94,5
REMOÇÃO DE ZINCO	33,6	63,3	75,1
REMOÇÃO DE NÍQUEL	27,7	23,5	44,7
REMOÇÃO DE CROMO	49,6	77,0	88,0
REMOÇÃO DE COBRE	37,4	60,7	74,7
REMOÇÃO DE CÁDMIO	41,6	48,5	63,6
REMOÇÃO DE FERRO	41,0	84,9	90,7

(1) Com relação à DQO total do efluente final

(2) Com relação à DQO solúvel do efluente final

Em nenhum momento houve problemas de intumescimento, ou seja, o índice volumétrico de lodo manteve-se sempre baixo, parecendo inclusive que a grande concentração de metais pesados acabou favorecendo a decantação e inibindo o desenvolvimento de microrganismos filamentosos (tabela 4).

As remoções de metais pesados e cianetos foram geralmente elevadas, ocorrendo em muito maior grau no sistema de lodos ativados do que na decantação primária (tabela 5).

As quantidades de metais pesados presentes no efluente final da estação piloto podem ser consideradas ainda relativamente elevadas (tabela 3), apesar de terem ocorrido remoções elevadas da maioria dos metais.

#### "Regimes Estacionários" Obtidos Durante a Operação dos Digestores com Lodo Doméstico e Lodos Tóxicos

Os incrementos de 5 ou 10% no conteúdo de lodo tóxico na alimentação aos digestores eram geralmente realizados após um período de 3 a 7 dias numa dada condição.

Em particular, operou-se durante 30 dias (um tempo de detenção) pelo menos, para se obter parâmetros operacionais próximos aos de regime estacionário, com três qualidades de lodo:

- Lodo primário doméstico da ERQ-Pinheiros;
- Mistura contendo 30% de lodo tóxico (primário e secundário) proveniente da estação piloto e 70% de lodo primário doméstico da ERQ-Pinheiros. Esta alimentação foi a que melhor representou a qualidade dos lodos esperados na futura ERQ-ABC;
- Mistura contendo 60% de lodo tóxico (primário e secundário) proveniente da estação piloto e 40% de lodo primário doméstico da ERQ-Pinheiros. Essa alimentação teoricamente continha o dobro das concentrações de tóxicos esperadas na futura ERQ-ABC, e imediatamente após um novo incremento na % de lodo tóxico alimentado, a partir destes 60%, ocorreu a inibição total dos digestores.

As tabelas 6 a 9 apresentam os valores médios dos regimes estacionários referentes às operações dos digestores a 29 e a 35°C, com as três qualidades de lodo citadas.

Tabela 6 - Valores Médios dos Parâmetros de Processo e de Produção de Gás nos Regimes Estacionários Relativos à Operação dos Digestores com Lodo da ETE-Pinheiros e com as Misturas de Lodo Contendo 30% e 60% de Lodo Tóxico (Prim + Sec).

P A R Â M E T R O	DIGESTOR AQUECIDO (35°C)			DIGESTOR SEM AQUECIMENTO (29°C)		
	LODO PINHEIROS	MISTURA 30Z	MISTURA 60Z	LODO PINHEIROS	MISTURA 30Z	MISTURA 60Z
TEMPO DE DETENÇÃO (DIAS)	30	31	31	30	31	31
CARGA (gSV/l.dia)	1,13	0,94	0,88	1,14	0,94	0,88
VEL. PRODUÇÃO DE GASES (lgás/l.dia)	0,64	0,48	0,30	0,73	0,44	0,31
FATOR DE CONVERSÃO (lgás/gSV adicionado)	0,57	0,51	0,34	0,64	0,47	0,35
REDUÇÃO DE SOL. VOLÁTEIS (%)	<u>67</u>	<u>61</u>	<u>52</u>	<u>62</u>	<u>56</u>	<u>48</u>
FATOR DE CONVERSÃO (lgás/gSV consumido)	0,85	0,84	0,65	1,03	0,84	0,73
CH <sub>4</sub> (% em volume)	70	70	74	71	71	74

Tabela 7 - Valores Médios de Regime das Características Físico-Químicas da Alimentação e dos Lodos Digeridos Durante a Operação dos Digestores com Lodo Primário da ETE-Pinheiros.

PARÂMETRO	OPERAÇÃO COM LODO PINHEIROS		
	ALIMENTAÇÃO (1)	DIGESTOR AQUECIDO (35 <sup>o</sup> )	DIGESTOR SEM AQUECIMENTO (29 <sup>o</sup> C)
pH	5,3	7,3	7,1
Sólidos Totais (q/t)	43,5	18,6	20,6
Sólidos Voláteis (q/t)	33,8	11,0	12,7
Sólidos Voláteis (t)	77,7	59,1	61,7
Pc. Voláteis Totais (mg/t) como acético)	1380	170	170
Alcalinidade Total (mg/t) como CaCO <sub>3</sub> )	950	4180	4240
NH <sub>4</sub> (mg/t como N)		1030	1040
Fenóis (mg/t)	0,36	0,11	1,35
Cianetos (mg/t)	1,6	4,0	5,0
Óleos e Graxas (mg/t)	7300	240	540
N Total (Kjeldahl) (mg/t)	2020	1700	2020
Fosfato Total (mg/t como P)	240	160	280
Sulfeto Total (mg/t)	56	48	55
Sulfeto Solúvel (mg/t)	-	4,0	1,7
Zinco (mg/t)	Total 59	70,0	43
	Solúvel 0,01	0,01	0,15
Níquel (mg/t)	Total 4,1	6,6	3,7
	Solúvel 0,14	0,14	-
Cromo (mg/t)	Total 10,8	18,0	12,5
	Solúvel -	-	-
Cobre (mg/t)	Total 25,0	24,0	16,0
	Solúvel < 0,01	< 0,01	0,10
Chumbo (mg/t)	Total 9,3	7,0	6,0
	Solúvel < 0,008	< 0,008	< 0,008
Cádmio (mg/t)	Total 0,2	0,4	0,20
	Solúvel < 0,005	< 0,005	< 0,005
Ferro (mg/t)	Total 582	580	360
	Solúvel	0,10	0,8
Bário (mg/t)	Total	12,0	7,0
	Solúvel		
Mercurio (ug/t)	Total 185	305	180
	Solúvel	1,6	
Prata (mg/t)	Total	2,2	1,80
	Solúvel		
Manganês (mg/t)	Total	3,2	2,3
	Solúvel		
Sódio (mg/t)	Total		
	Solúvel	40	30
Potássio (mg/t)	Total	70	48
	Solúvel		
Cálcio (mg/t)	Total	46	55
	Solúvel		
Magnésio (mg/t)	Total	70	65
	Solúvel		

(1) As médias dos sólidos de alimentação referem-se apenas aos dias em que houve análises completas.

Tabela 8 - Valores Médios de Regime e Variações das Características Físico-Químicas da Alimentação e dos Lodos Digeridos durante a Operação dos Digestores com a mistura de Lodos contendo 30% de Lodo "tóxico".

PARÂMETRO	ALIMENTAÇÃO	DIGESTOR AQUECIDO (35°C)	DIGESTOR SEM AQUECIMENTO (29°C)
pH	5,6 (5,3 a 5,8)	7,3 (7,2 a 7,4)	7,1 (7,1 a 7,2)
ST (g/l)	44,4 (42,1 a 47,5)	21,5 (19,8 a 23,1)	24,2 (23,7 a 24,5)
SV (g/l)	29,2 (26,1 a 31,9)	11,4 (10,7 a 12,1)	13,0 (12,8 a 13,2)
SV/ST (%)	65,8 (58,1 a 70,7)	53,0 (52,1 a 54,5)	53,7 (52,9 a 54,5)
Ácidos Voláteis Totais (mg/l como Ac. Acético)	555 (240 a 679)	110 (88 a 144)	120 (87 a 190)
Alcalinidade Total (mg/l como CaCO <sub>3</sub> )	823 (415 a 1289)	3720 (3229 a 4016)	3580 (2954 a 3819)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l como N)	248 (98 a 350)	780 (717 a 846)	760 (689 a 843)
Fenóis (mg/l)	1,48 (0,40 a 3,85)	0,19 (0,09 a 0,24)	0,84 (0,27 a 1,40)
Cianetos (mg/l)	12,5 (9,6 a 20,0)	12,5 (10,0 a 15,0)	10,5 (7,4 a 15,0)
Óleos e Graxas (mg/l)	7240 (5610 a 8570)	510 (241 a 903)	710 (260 a 1270)
N <sub>total</sub> (KJELDAHL) (mg/l)	660 (468 a 1380)	1310 (1070 a 1700)	1325 (1070 a 1800)
Fosfato Total (mg/l como P)	277 (161 a 370)	200 (166 a 242)	220 (81 a 327)
Sulfeto Total (mg/l)	14,5 (5,0 a 35,4)	39 (23,0 a 52,0)	42 (24,0 a 53,0)
Sulfeto Solúvel (mg/l)	1,2 (0,6 a 2,2)	1,6 (0,7 a 2,4)	1,3 (0,8 a 2,2)
Zn (mg/l) Total	179 (130 a 240)	132 (116 a 168)	139 (113 a 184)
Solúvel	2,29 (0,56 a 4,70)	0,48 (0,27 a 0,92)	0,44 (0,24 a 0,76)
Ni (mg/l) Total	27,4 (15,0 a 50,0)	18,0 (16,0 a 23,0)	19,0 (17,0 a 23,0)
Solúvel	3,54 (1,80 a 5,30)	0,25 (0,17 a 0,30)	0,17 (0,10 a 0,23)
Cr (mg/l) Total	143 (108 a 212)	90 (81 a 100)	95 (90 a 100)
Solúvel	0,16 (0,02 a 0,36)	0,34 (0,13 a 0,52)	0,22 (0,18 a 0,40)
Cu (mg/l) Total	109 (54 a 188)	86 (60 a 116)	92 (70 a 126)
Solúvel	0,13 (0,02 a 0,40)	0,43 (0,24 a 0,68)	0,31 (0,21 a 0,46)
Pb (mg/l) Total	13,1 (7,5 a 17,5)	11,5 (9,5 a 14,0)	11,9 (10 a 16)
Solúvel	0,64 (<0,008 a 3,60)	0,04 (<0,008 a 0,20)	0,02 (<0,008 a 0,10)
Cd (mg/l) Total	2,08 (1,10 a 2,70)	1,31 (1,20 a 1,55)	1,35 (1,20 a 1,70)
Solúvel	<0,005 (<0,005 a 0,01)	<0,005 (<0,005)	<0,005 (<0,005 a 0,01)
Fe (mg/l) Total	3020 (1900 a 3550)	2173 (2070 a 2250)	2263 (2220 a 2320)
Solúvel	277 (93 a 510)	19,2 (9,2 a 34,0)	34,3 (11,5 a 54,0)
Ba (mg/l) Total	19,5 (19 e 20)	17,5 (16 e 19)	20,5 (17 e 24)
Solúvel	0,55 (0,40 e 0,70)	0,02 (<0,01 e 0,40)	0,25 (<0,01 e 0,50)
Hg (µg/l) Total	208 (172 a 256)	168 (156 a 192)	202 (156 a 276)
Solúvel	<0,17 (<0,17 a 1,45)	0,52 (0,35 a 0,65)	0,53 (0,35 a 0,65)
Ag (mg/l) Total	1,05 (0,80 e 1,30)	0,70 (0,35 e 1,05)	2,13 (1,70 e 2,55)
Solúvel	0,01 (0,01)	0,01 (0,01 e 0,01)	0,005 (<0,005 e 0,01)
Mn (mg/l) Total	5,5 (4,5 e 6,5)	5,3 (4,5 e 6,0)	5,8 (4,6 e 7,0)
Solúvel	2,40 (2,10 e 2,70)	0,03 (0,01 e 0,05)	0,12 (0,01 e 0,22)
Na (mg/l) Total	51 (50 e 51)	46 (45 e 47)	44 (43 e 44)
Solúvel	48 (45 e 50)	36 (36 e 36)	35 (34 e 35)
K (mg/l) Total	75 (70 e 80)	78 (70 e 85)	78 (75 e 80)
Solúvel	42 (38 e 46)	46 (45 e 46)	34 (22 e 45)
Ca (mg/l) Total	217 (208 e 225)	253 (160 e 345)	206 (198 e 213)
Solúvel	100 (65 e 135)	22 (12 e 32)	34 (22 e 45)
Mg (mg/l) Total	105 (100 e 110)	79 (70 e 88)	88 (75 e 100)
Solúvel	25 (22 e 28)	17 (16 e 17)	20 (19 e 20)

Tabela 9 - Valores Médios de Regime e Variações das Características Físico-Químicas da Alimentação e dos Lodos Digeridos durante a Operação do Digestores com a mistura de Lodos Contendo 60% de Lodo Tóxico.

P A R Â M E T R O		ALIMENTAÇÃO	DIGESTOR AQUECIDO (35°)	DIGESTOR SEM AQUECIMENTO (29°)
pH		5,8 (5,5 a 6,0)	7,2 (7,1 a 7,3)	7,1 (7,0 a 7,2)
Sólidos Totais (g/l)		44,1 (38,0 a 54,1)	24,9 (23,8 a 25,7)	27,7 (24,8 a 29,4)
Sólidos Voláteis (g/l)		26,0 (19,0 a 31,2)	12,4 (11,7 a 13,2)	14,1 (13,1 a 14,9)
Sólidos Voláteis (%)		59,0 (44,1 a 68,6)	49,8 (47,0 a 52,5)	50,9 (47,6 a 52,8)
Ác. Voláteis Totais (mg/l como acético)		552 (322 a 926)	179 (103 a 269)	253 (106 a 418)
Alcalinidade Total (mg/l como CaCO <sub>3</sub> )		884 (743 a 1174)	3220 (3010 a 3491)	3153 (2856 a 3380)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l como N)		164 (67 a 403)	610 (484 a 745)	517 (403 a 650)
Fenóis (mg/l)		2,38 (0,44 a 4,20)	0,36 (0,26 a 0,45)	0,46 (0,24 a 0,63)
Cianetos (mg/l)		13,3 (6,0 a 20,0)	19,4 (10,0 a 35,0)	21,9 (10,0 a 35,0)
Óleos e Graxas (mg/l)		4270 (2590 a 5380)	425 (204 a 568)	430 (354 a 621)
N <sub>T</sub> total (KJELDAHL) (mg/l)		1123 (261 a 1710)	1415 (1320 a 1490)	1595 (1470 a 1830)
Fosfato Total (mg/l como P)		394 (266 a 602)	329 (321 a 343)	355 (273 a 412)
Sulfeto Total (mg/l)		34 (4 a 86)	28 (16 a 48)	28 (19 a 46)
Sulfeto Solúvel (mg/l)		1,4 (0,3 a 3,8)	0,33 (0,2 a 0,6)	0,40 (0,40 a 0,40)
Zinco (mg/l)	Total	292 (212 a 430)	195 (180 a 210)	209 (200 a 215)
	Solúvel	2,3 (1,4 a 3,8)	3,7 (20 a 6,4)	3,3 (2,6 a 4,0)
Níquel (mg/l)	Total	48,6 (22,5 a 75,0)	30,6 (28,5 a 33,5)	32,1 (29,0 a 35,0)
	Solúvel	4,6 (1,5 a 7,1)	0,86 (0,60 a 1,30)	0,98 (0,80 a 1,30)
Cromo (mg/l)	Total	280 (197 a 387)	179 (163 a 188)	186 (175 a 197)
	Solúvel	0,15 (0,11 a 0,20)	4,0 (2,0 a 6,2)	3,4 (2,2 a 4,8)
Cobre (mg/l)	Total	185 (90 a 362)	132 (118 a 150)	133 (115 a 160)
	Solúvel	0,08 (0,006 a 0,14)	3,2 (1,8 a 5,4)	3,5 (2,2 a 5,4)
Chumbo (mg/l)	Total	17,4 (13,5 a 21,5)	11,8 (11,0 a 13,8)	12,8 (12,0 a 13,8)
	Solúvel	0,05 (<0,008 a 0,20)	0,43 (<0,008 a 1,00)	0,28 (<0,008 a 0,4)
Cádmio (mg/l)	Total	2,5 (1,8 a 4,3)	2,0 (1,6 a 2,4)	2,0 (1,6 a 2,3)
	Solúvel	0,03 (<0,005 a 0,02)	0,05 (0,02 a 0,06)	0,05 (0,04 a 0,06)
Ferro (mg/l)	Total	3925 (2750 a 6250)	2418 (2000 a 3120)	2593 (2250 a 2870)
	Solúvel	81 (44 a 135)	30 (24 a 40)	38 (25 a 46)
Bário (mg/l)	Total	16,3 (7,5 a 25,0)	13,8 (5,5 a 22,0)	14,3 (7,0 a 21,5)
	Solúvel	0,2 (<0,01 a 0,30)	0,25 (<0,01 a 0,50)	0,25 (<0,01 a 0,50)
Mercúrio (µg/l)	Total	230 (160 a 365)	145 (132 a 165)	178 (168 a 185)
	Solúvel	<0,17	1,38 (0,50 a 2,40)	1,99 (1,25 a 2,90)
Prata (mg/l)	Total	1,0 (0,3 a 1,6)	1,0 (0,8 a 1,2)	0,9 (0,4 a 1,4)
	Solúvel	0,01 (<0,005 a 0,02)	0,01 (<0,005 a 0,002)	0,02 (<0,005 a 0,04)
Manganês (mg/l)	Total	10,5 (7,0 a 14,0)	7,5 (6,0 a 9,0)	7,5 (7,0 a 8,0)
	Solúvel	1,7 (1,6 a 1,8)	0,11 (0,06 a 0,16)	0,13 (0,10 a 0,16)
Sódio (mg/l)	Total	47 (31 a 63)	43 (35 a 50)	44 (35 a 52)
	Solúvel	38 (20 a 55)	35 (21 a 48)	36 (21 a 50)
Potássio (mg/l)	Total	52 (49 a 55)	46 (45 a 47)	50 (45 a 55)
	Solúvel	24 (19 a 29)	37 (32 a 41)	33 (30 a 36)
Cálcio (mg/l)	Total	193 (175 a 210)	173 (137 a 208)	180 (147 a 213)
	Solúvel	40 (37 a 43)	32 (22 a 39)	33 (30 a 35)
Magnésio (mg/l)	Total	101 (90 a 112)	75 (60 a 90)	82 (65 a 99)
	Solúvel	17 (14 a 19)	17 (16 a 17)	19

Processo Limitante numa Estação de Tratamento de Esgotos

Tendo em vista que os esgotos não precisaram sofrer qualquer diluição para seu tratamento por lodos ativados, e que os lodos gerados tiveram que sofrer diluições com lodos domésticos para serem digeridos, conclui-se que num sistema convencional de tratamento de esgotos por lodos ativados precedido de decantação primária e de tratamento dos lodos gerados por digestão anaeróbia, o processo limitante quanto à capacidade de recebimento de compostos tóxicos é a digestão anaeróbia.

Eficiência dos Digestores da Futura ERQ-ABC-SANEGRAN

A melhor avaliação possível da eficiência a se esperar dos digestores da futura ERQ-ABC do SANEGRAN, a partir dos dados apresentados neste estudo, considerando-se a situação crítica em que não haja nenhum grau de pré-tratamento dos despejos industriais, antes de seu lançamento nas redes coletoras, está apresentada na tabela 10.

*Tabela 10 - Avaliação da eficiência a se esperar dos digestores da futura ERQ-ABC.*

PARÂMETRO	DIGESTOR A 35°C	DIGESTOR A 29°C
Redução de Sólidos Voláteis (%)	59	54
Fator de Conversão (l gás/gSV consumido)	0,80	0,85
Conteúdo de CH <sub>4</sub> nos gases (% em volume)	72	72

Estes resultados mostraram a viabilidade técnica do tratamento por digestão anaeróbia dos lodos esperados na futura ERQ-ABC, tanto para digestores operando a 35°C, como a 29°C, caso se mantenham as condições previstas.

Foi observada uma defasagem significativa entre as concentrações de tóxicos nos lodos alimentados e nos lodos digeridos, nos mesmos períodos de tempo, provavelmente devido à variabilidade das características da alimentação e ao pouco tempo em que os digestores foram alimentados com lodos de mesmas características.

Devido a este fato, por motivo de segurança, a avaliação da eficiência dos digestores da futura ERQ-ABC, ou seja, da eficiência dos mesmos operando com as concentrações de tóxicos iguais às da mistura com 30% de lodo tóxico, foi realizada no período em que as concentrações de tóxicos nos lodos em digestão atingiram valores próximos àqueles da mistura com 30% de lodo tóxico.

De fato, se os digestores da futura ERQ-ABC forem alimentados com lodos contendo tóxicos em quantidades iguais às da mistura com 30% de lodo tóxico, conforme o previsto, após um intervalo de tempo suficiente as concentrações de metais pesados nos lodos alimentados e nos lodos em digestão se igualariam.

Limites de Toxicidade à Digestão Anaeróbia

Os digestores foram operados até sua inibição praticamente completa, ocorrida em ambos os digestores a partir do momento em que estes passaram a ser alimentados com misturas de lodo contendo mais de 60% de lodo tóxico. A inibição ficou caracterizada pelo rápido aumento na concentração de ácidos voláteis (figura 1), pelo acentuado decréscimo na produção de gases (figura 2) e pela brusca diminuição na redução de sólidos voláteis (figura 3).

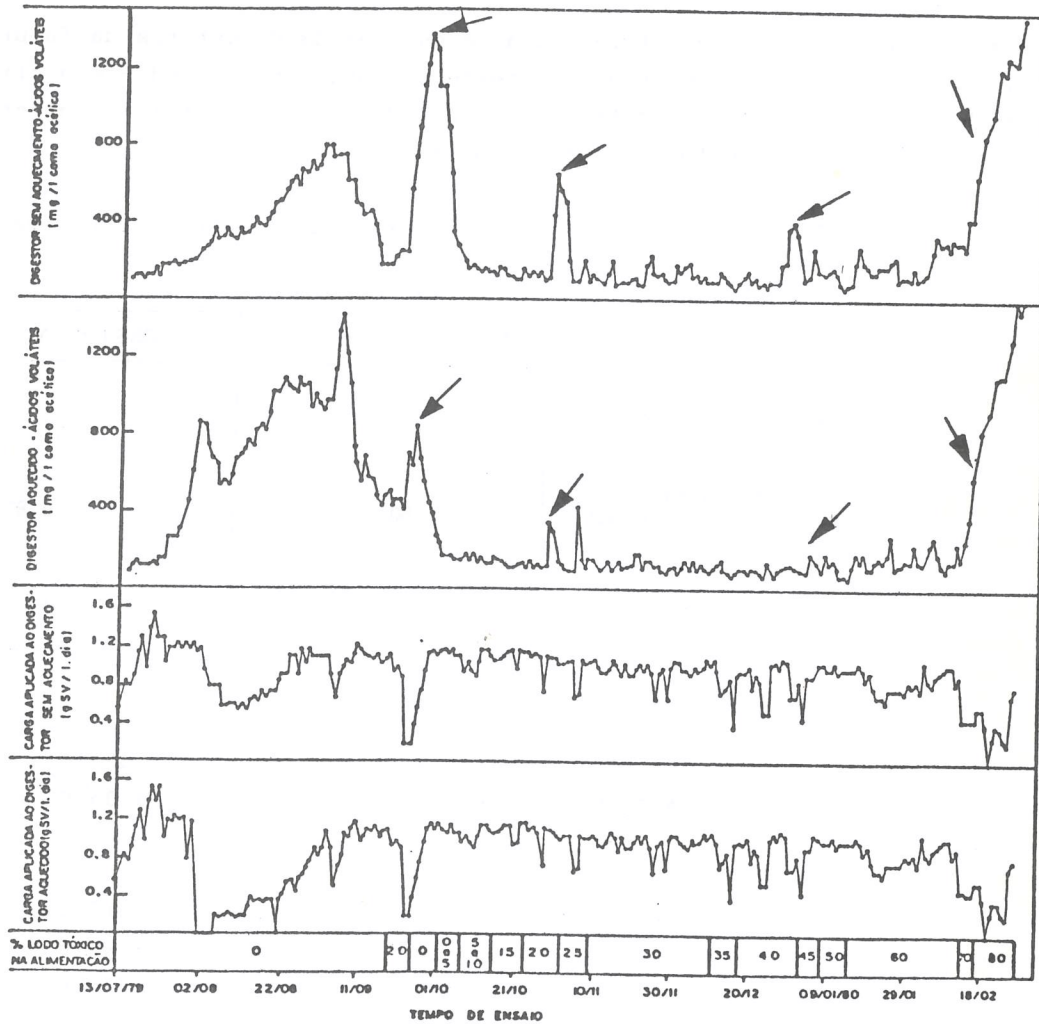


Figura 1 - Variação dos Ácidos Voláteis (Determinados pelo Método Simplificado) nos Lodos Digeridos e das Cargas Aplicadas aos Digestores.  
 Digestor Aquecido: 35°C  
 Digestor sem Aquecimento: 29°C

Obs. As setas indicam os choques por toxicidade sofridos pelos digestores.

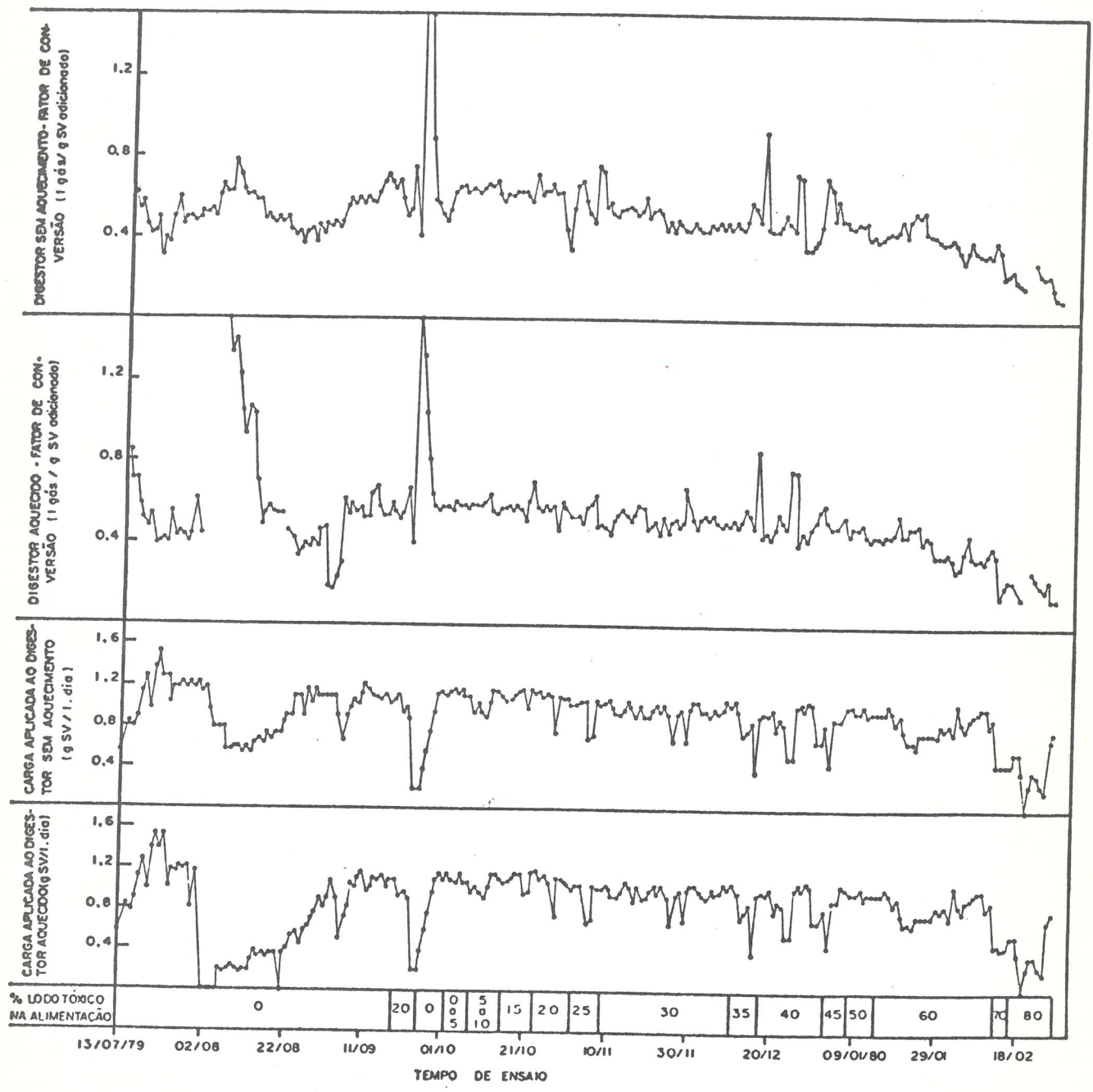


Figura 2 - Variação dos Fatores de Conversão dos Sólidos Voláteis Adicionados em Gases, nos Digestores, e das Cargas Aplicadas aos Digestores.

Digestor Aquecido: 35°C

Digestor sem Aquecimento: 29°C

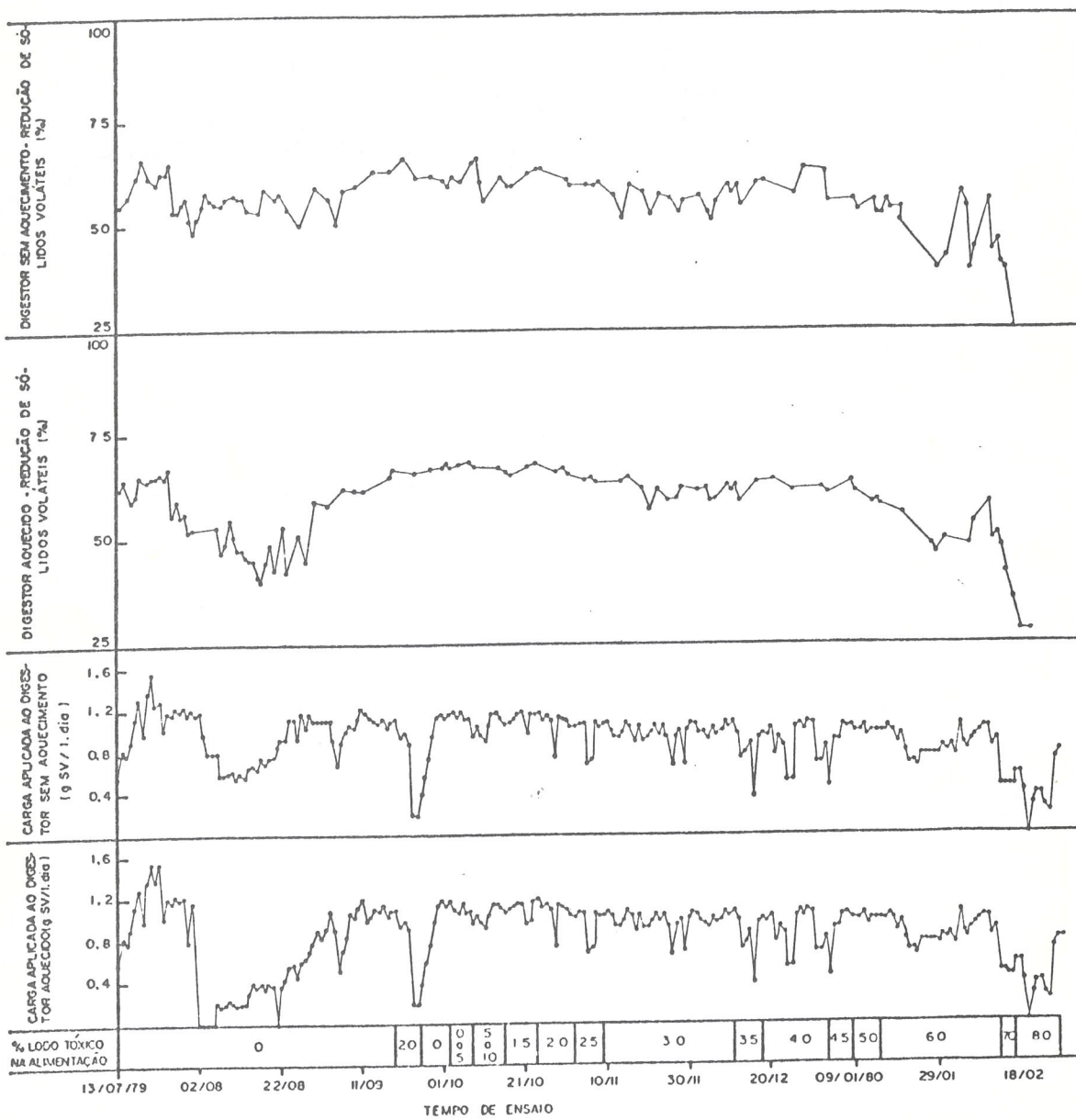


Figura 3 - Variação das Reduções de Sólidos Voláteis Ocorridos nos Digestores e das Cargas Aplicadas aos Digestores.

Digestor Aquecido: 35°C

Digestor sem Aquecimento: 29°C

Foram consideradas como concentrações limites de toxicidade, por motivo de segurança, as concentrações médias de tóxicos presentes nos lodos em digestão, durante o regime estacionário (últimos 15 dias) correspondente à operação com 60% de lodo tóxico (tabela 11).

Tabela 11 - Limites das Concentrações dos Principais Elementos Tóxicos Suportados pela Digestão Anaeróbia nas Condições Estudadas (1)

PARÂMETRO (mg/l quando não indicado)		LODO EM DIGES- TÃO-DIGESTOR AQUECIDO (A 35°C)	LODO EM DIGES- TÃO-DIGESTOR SEM AQUECIMENTO (A 29°C)
ZINCO	TOTAL	195	209
	SOLÚVEL	3,65	3,27
NÍQUEL	TOTAL	31	32
	SOLÚVEL	0,86	0,98
CROMO	TOTAL	179	186
	SOLÚVEL	3,97	3,40
COBRE	TOTAL	132	133
	SOLÚVEL	3,20	3,53
FERRO	TOTAL	2418	2593
	SOLÚVEL	30,1	37,8
CHUMBO	TOTAL	12	13
	SOLÚVEL	0,43	0,28
CÁDMIO	TOTAL	2,0	2,0
	SOLÚVEL	0,05	0,05
MERCÚRIO (µg/l)	TOTAL	145	178
	SOLÚVEL	1,38	1,99
MANGANÊS	TOTAL	8	8
	SOLÚVEL	0,11	0,13
BÁRIO	TOTAL	14	14
	SOLÚVEL	0,25	0,25
FENÓIS		0,36	0,46
CIANETOS		19	22
ST (g/l)		24,9	27,7

(1) Os limites são válidos para a presença simultânea de todos os tóxicos citados, não se referindo apenas aos limites para cada substância sem a presença das demais.

Mosey (4) definiu o parâmetro K, cujo valor indica o grau de toxicidade devido ao conjunto dos metais pesados Zn, Ni, Pb, Cd e Cu, e verificou que para valores de  $K > 400$  meq/kg, a inibição total da digestão anaeróbia é provável.

O Parâmetro K é calculado pela fórmula:

$$K = \frac{Zn/32,7 + Ni/29,4 + Pb/103,6 + Cd/56,2 + 0,67Cu/31,8}{ST}$$

ST

onde:  $Z_n$ , Ni, etc: concentrações totais de metais nos lodos em digestão (mg/l)

32,7; 29,4; etc: massas equivalentes dos respectivos metais no estado divalente

0,67; fator devido à redução apenas parcial do cobre ao estado cuproso

ST: concentração de sólidos totais no lodo em digestão (kg/l)

Nos estudos aqui descritos, calculando-se o valor de K nos limites de toxicidade observados (tabela 11), temos:

$$K_{35^{\circ}\text{C}} = \frac{195/32,7 + 31/29,4 + 12/103,6 + 2/56,2 + 0,67 \times 132/31,8}{0,0249}$$

$$K_{29^{\circ}\text{C}} = \frac{209/32,7 + 32/29,4 + 13/103,6 + 2/56,2 + 0,67 \times 133/31,8}{0,0277}$$

ou seja,  $K_{35^{\circ}\text{C}} = 400 \text{ meq/kg}$      $K_{29^{\circ}\text{C}} = 377 \text{ meq/kg}$

Estes valores de K são bastante próximos, e concordam bem com o valor limite de 400 estabelecido por Mosey.

Deve-se lembrar, porém, que neste estudo, além da presença dos metais considerados no cálculo de K, ocorreram ainda elevadas concentrações de outros metais, como ferro e cromo, e de cianetos, simultaneamente presentes nos lodos em digestão nos limites de toxicidade, e que são potencialmente tóxicos à digestão anaeróbia<sup>(5,6)</sup>.

#### Influência dos Compostos Tóxicos na Digestão Anaeróbia

Os digestores suportaram melhor os incrementos nas concentrações de metais pesados nos lodos em digestão, quando estes ocorreram lenta e gradualmente.

Os incrementos nos conteúdos de lodos tóxicos das misturas de lodos alimentadas aos digestores provocaram diminuições gradativas nas eficiências de remoção de sólidos e de produção de gases; porém, estas eficiências ainda se mantiveram relativamente elevadas, até se atingir o limite de toxicidade suportável pelos digestores (60% de conteúdo de lodo tóxico na alimentação), quando então houve uma queda brusca na eficiência do processo (figuras 2 e 3).

Com o intuito de ampliar o campo de aplicação dos resultados obtidos neste estudo, tentou-se relacionar as diminuições observadas na eficiência da digestão anaeróbia, não apenas com a % de lodo tóxico contido na mistura alimentada aos digestores, mas com as próprias concentrações de compostos tóxicos nos lodos em digestão.

Para uma maior confiabilidade, foram consideradas as concentrações de tóxicos nos lodos em digestão, mais uniformes, e não nas alimentações. Tendo em vista os compostos tóxicos efetivamente presentes nos lodos estudados, foram considerados apenas os metais pesados que se acumularam gradativamente nos lodos em digestão (Zn, Ni, Cr, Cu, Fe) e cujas concentrações atingiram valores consideravelmente elevados (figuras 4 a 8); são eles os responsáveis pela inibição gradativa da digestão anaeróbia observada no estudo, exceção feita talvez ao ferro. Os cianetos, pela sua presença nos lodos em picos de concentração, e não gradativamente, (figura 9) serão considerados à parte, visto que seus efeitos foram similares aos de choques por toxicidade. Com exceção dos efeitos sinérgicos e antagônicos, impossíveis de serem computados nesta experiência, o único parâmetro, além dos metais pesados citados, que foi considerado (visto que pode ter sido responsável por parte das reduções

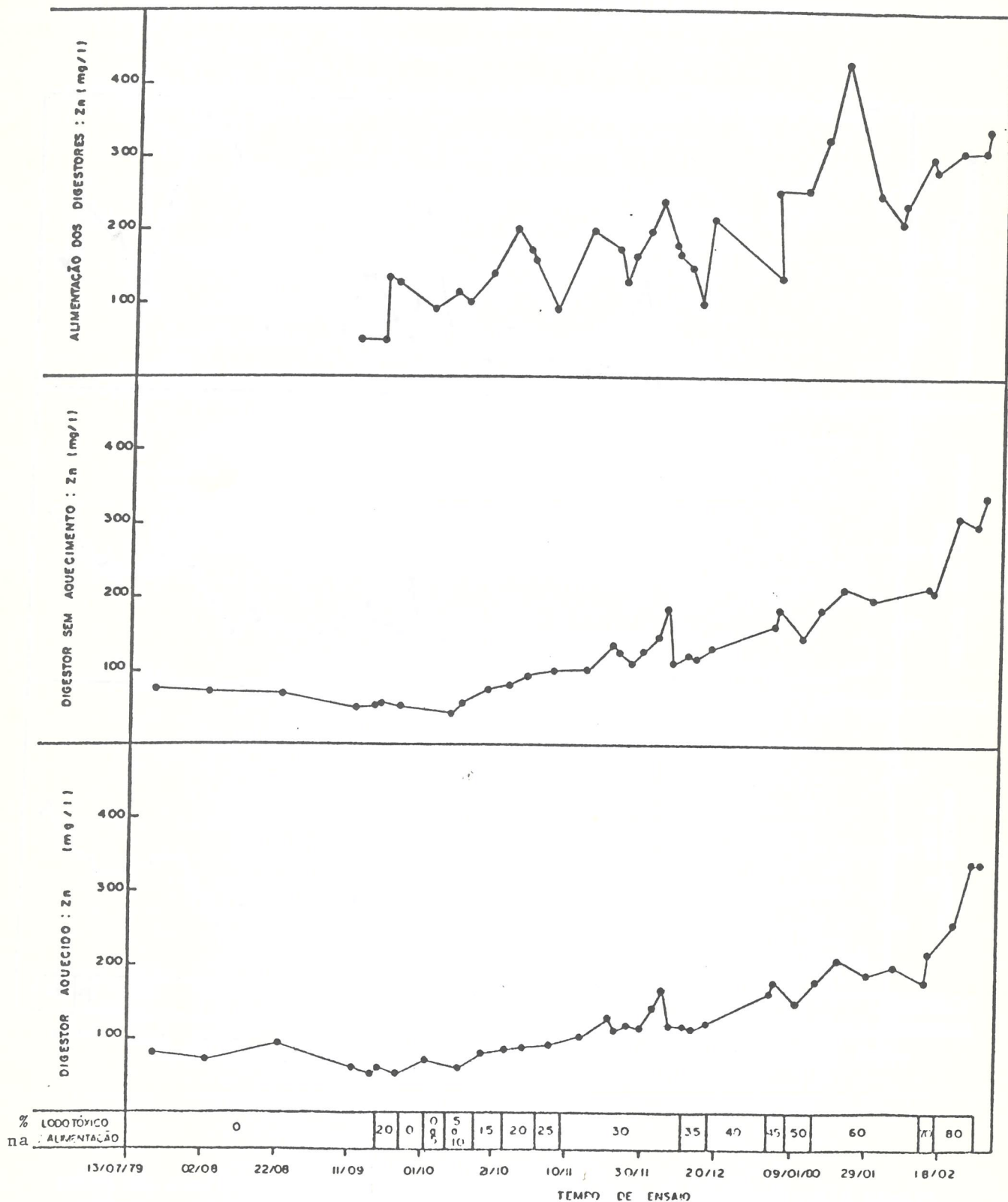


Figura 4 - Variação da Concentração de Zinco Total na Mistura de Lodos Usada para Alimentar os Digestores e nos Lodos Digeridos.  
 Digestor Aquecido: 35°C  
 Digestor sem Aquecimento: 29°C

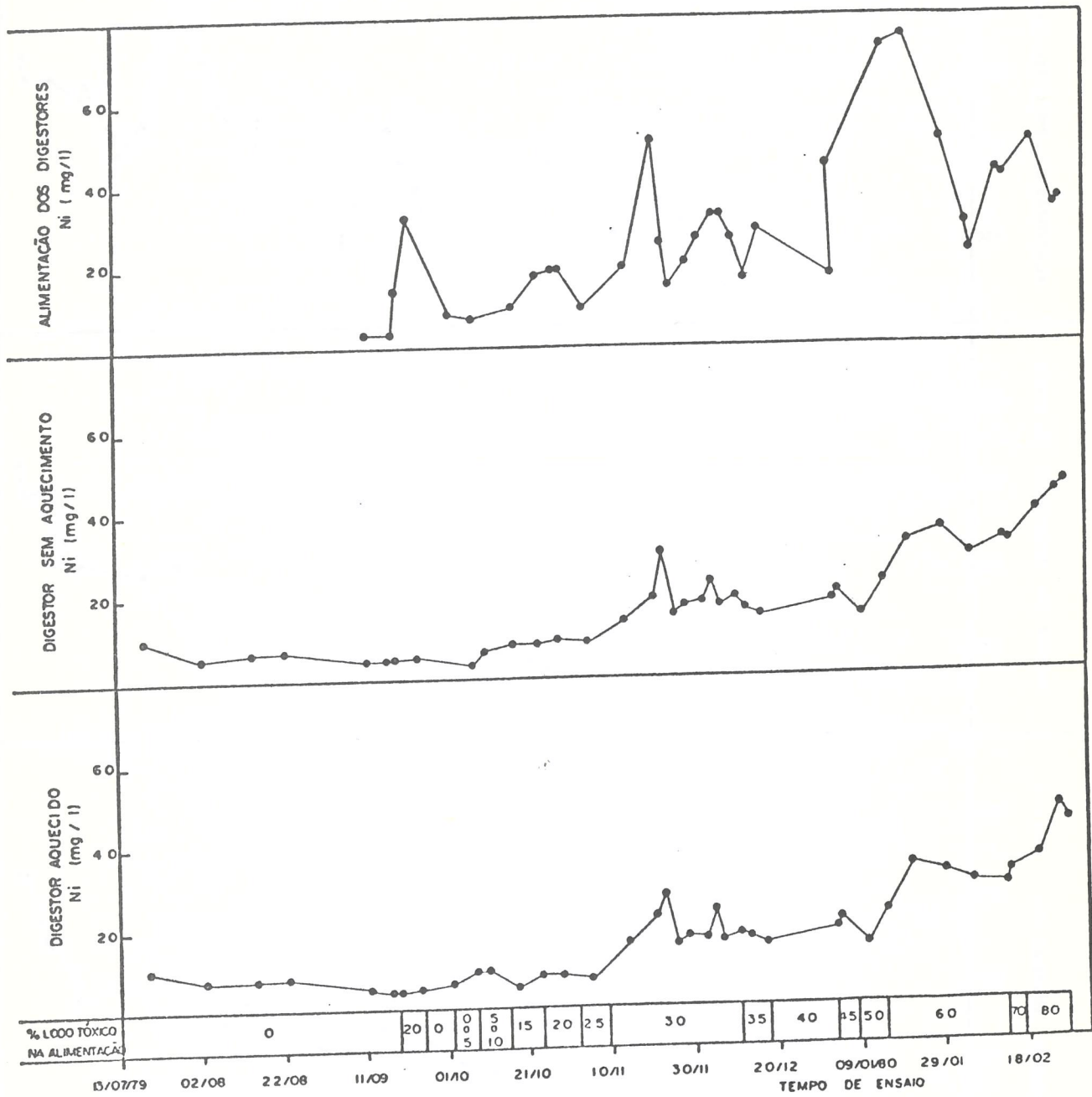


Figura 5 - Variação da Concentração de Níquel Total na Mistura de Lodos Usada para Alimentar os Digestores e nos Lodos Digeridos.  
 Digestor Aquecido: 35°C  
 Digestor sem Aquecimento: 29°C

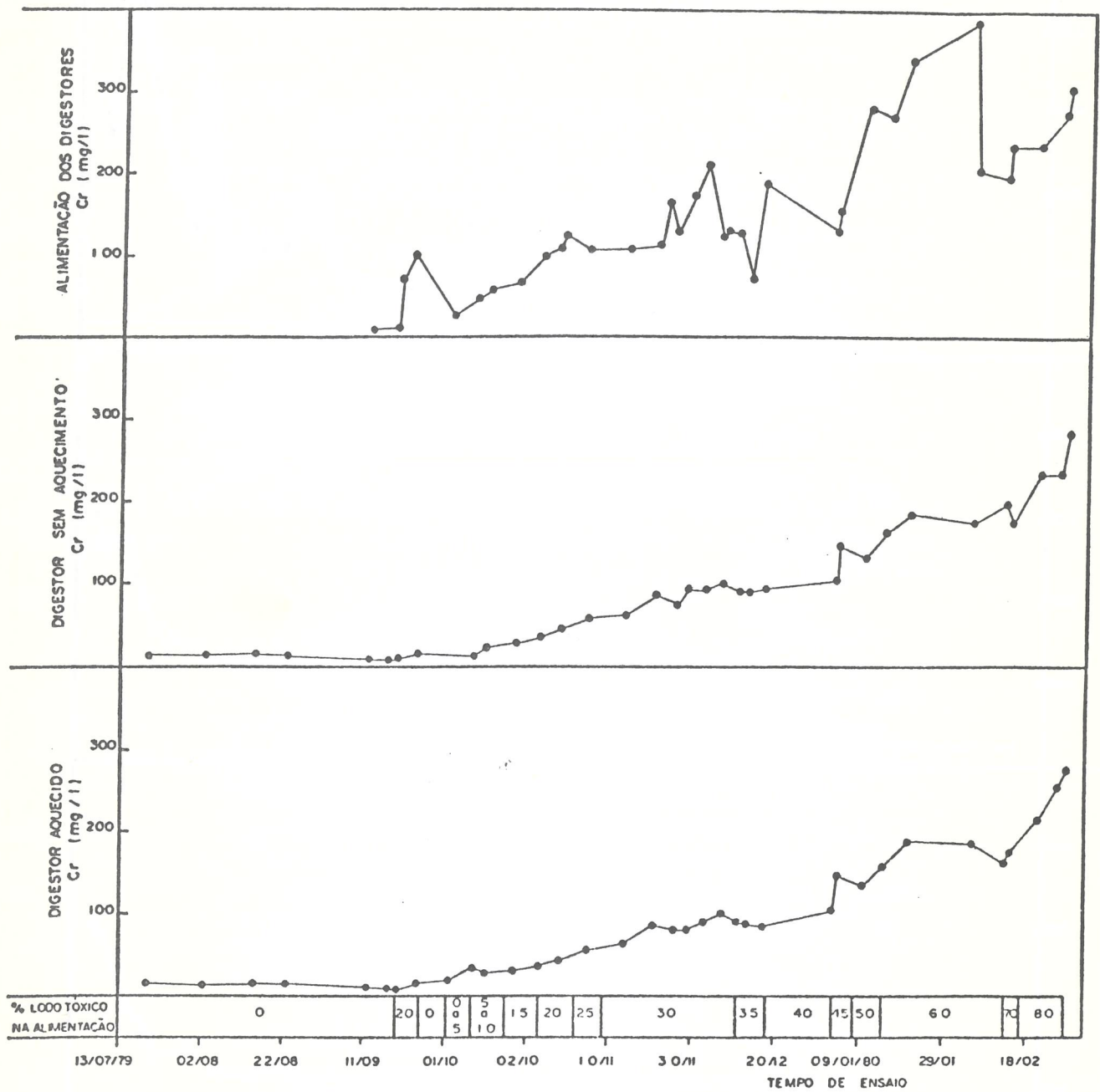


Figura 6 - Variação da Concentração de Cromo Total na Mistura de Lodos Usada para Alimentar os Digestores e nos Lodos Digeridos.  
 Digestor Aquecido: 35°C  
 Digestor sem Aquecimento: 29°C

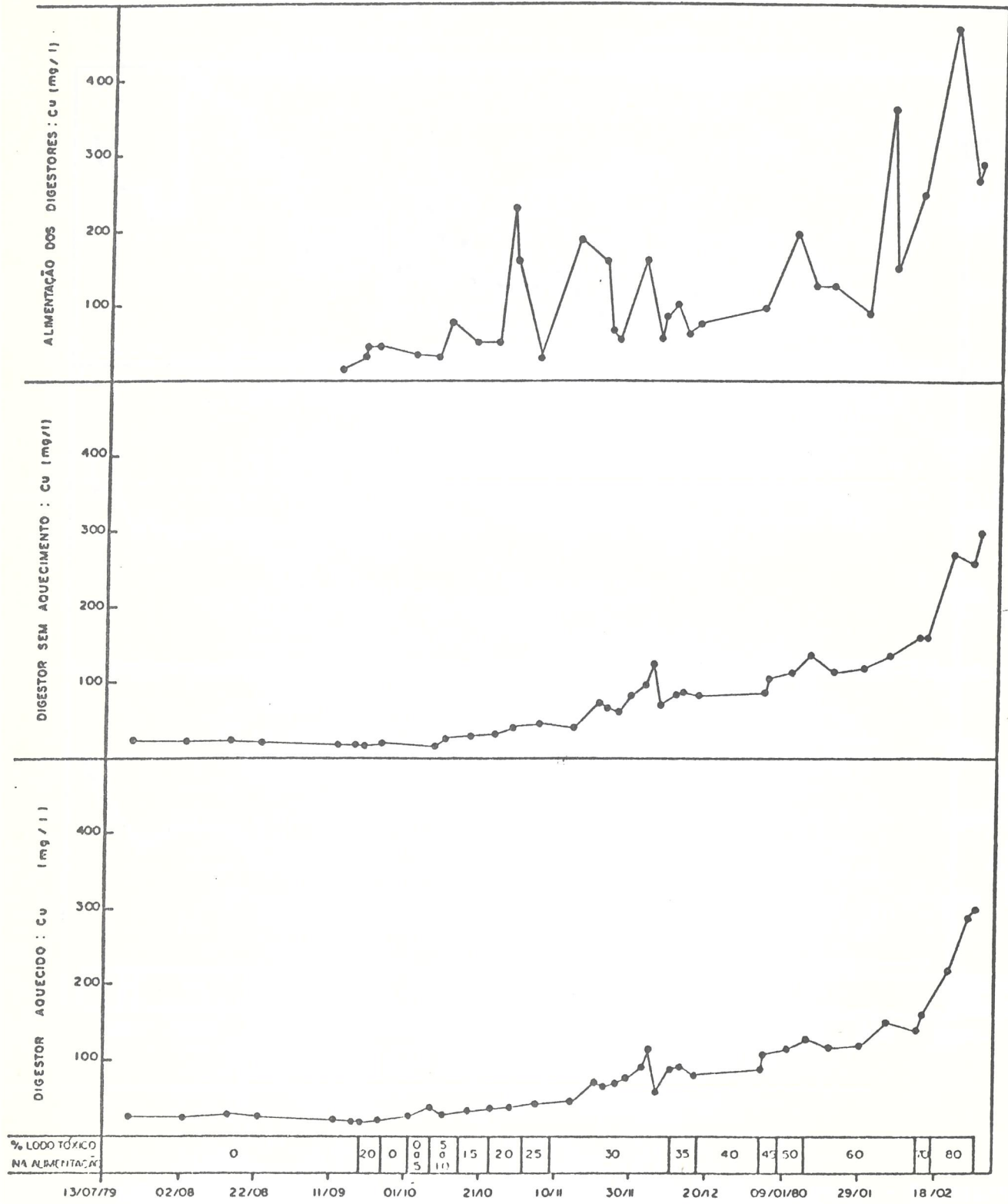


Figura 7 - Variação da Concentração de Cobre Total na Mistura de Lodos Usada para Alimentar os Digestores e nos Lodos Digeridos.  
 Digestor Aquecido: 35°C  
 Digestor sem Aquecimento: 29°C

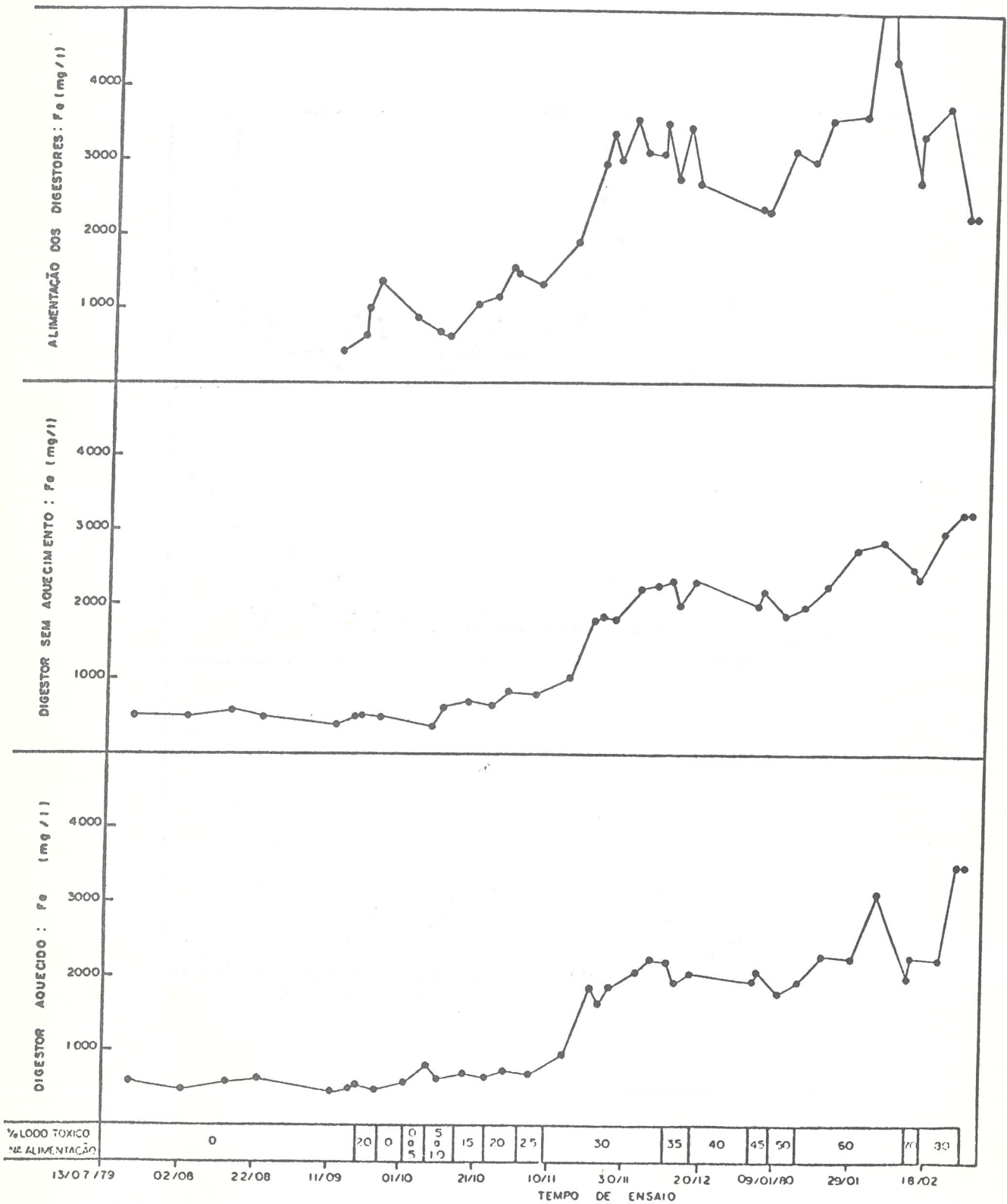
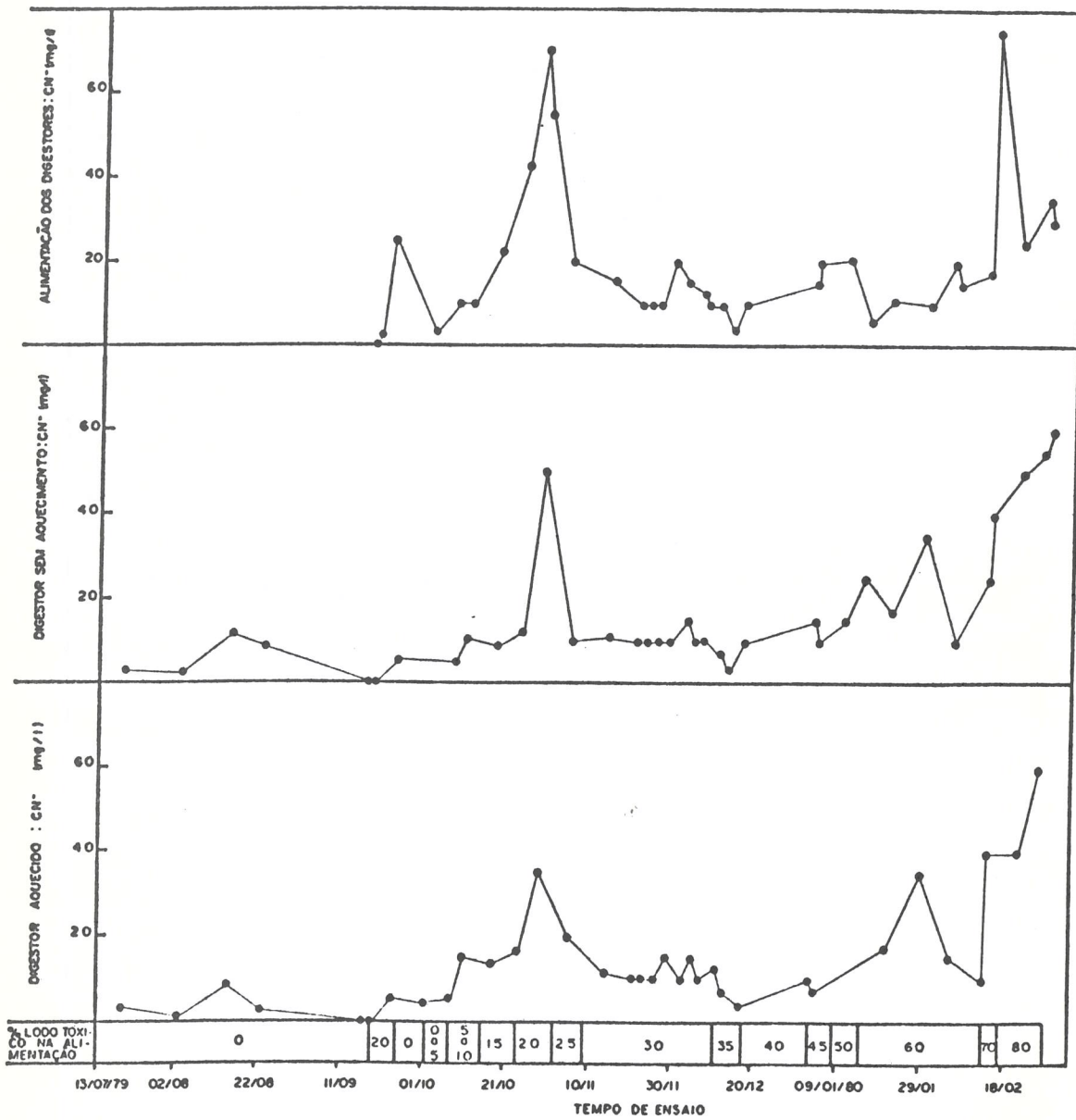


Figura 8 - Variação da Concentração de Ferro-Total na Mistura de Lodos Usada para Alimentar os Digestores e nos Lodos Digeridos.  
 Digestor Aquecido: 35°C  
 Digestor sem Aquecimento: 29°C



de eficiência observadas), foi o conteúdo volátil dos sólidos totais das alimentações.

Os dados básicos para a correlação (tabela 12) foram obtidos tomando-se os valores médios das concentrações de sulfetos (figura 10) e dos metais pesados. Cr, Ni, Zn, Cu e Fe nos lodos em digestão, das eficiências de remoção de sólidos voláteis e de produção de gases dos digestores, e dos conteúdos de sólidos dos lodos alimentados e dos lodos em digestão, em períodos de tempo correspondentes às alimentações com lodo primário doméstico (0% de lodo tóxico), 30% e 60% de lodo tóxico. Foram computados também os valores médios correspondentes aos períodos de transição entre as operações com 0 e 30% de lodo tóxico e com 30 e 60% de lodo tóxico. Estes períodos de tempo abrangem todo o intervalo experimental, com exceção dos períodos inicial de aclimatação e final, quando ocorreu inibição total dos digestores. Os coeficientes de correlação obtidos são mostrados nas tabelas 13 e 14.

A melhor forma encontrada para a utilização destes dados foi através da montagem de tabelas, a partir das regressões lineares individuais entre as eficiências de digestão e as concentrações de metais pesados nos lodos em digestão ou ao conteúdo volátil dos sólidos totais da alimentação (tabela 15 e 16).

Nestas tabelas, os eventuais desvios experimentais são corrigidos pela utilização de valores provenientes das regressões lineares, e os valores de eficiência de remoção de sólidos voláteis ou de produção de gases são tomados a intervalos regulares e pouco distantes entre si, de modo a facilitar sua utilização.

Deste modo, estas tabelas 15 e 16 podem ser utilizadas em estações de tratamento de esgotos, para se prever faixas de valores de eficiência da digestão anaeróbia de lodos de esgoto que os digestores devem atingir, se foram adequadamente projetados e operados, quando submetidos a determinadas concentrações dos metais pesados tabelados e a alimentações com determinados conteúdos voláteis em relação aos seus sólidos totais, e para temperaturas de operação de 29 ou 35°C.

Note-se que todo o raciocínio desenvolvido não leva em conta que a adição de sulfetos ou carbonatos aos digestores pode precipitar os metais pesados em solução, reduzindo certamente seus efeitos inibidores (7, 8, 9, 10). Neste estudo não foram acrescentados produtos químicos aos digestores; as concentrações de sulfetos nos digestores foram também inseridas na tabela 12, para permitir posteriores comparações.

#### Choques por Toxicidade e Inibição Total dos Digestores: Causas e Consequências

Os digestores foram recuperados de quase todos os choques ocorridos, simplesmente reduzindo-se o volume de lodo alimentado. Apenas no último choque por toxicidade, quando ocorreu inibição total dos digestores, mesmo a eliminação de toda a alimentação não foi suficiente para recuperar o processo. Os choques por toxicidade estão indicados com setas na figura 1.

As causas destes choques foram as seguintes:

- Aumento repentino nas concentrações de cianetos nos lodos em digestão
- Aumento repentino nas concentrações totais dos principais metais pesados nos lodos em digestão.
- Aumento nas concentrações solúveis dos principais metais pesados nos lodos em digestão, acompanhado da inexistência, no período, de sulfetos em concentração suficiente para a precipitação destes metais.

Tabela 12 - Valores Médios das Eficiências de Digestão, das Concentrações de Sólidos nas Alimentações e nos Lodos Digeridos e das Concentrações de Metais Pesados e de Sulfetos nos Lodos Digeridos, Referentes aos Períodos em que as Alimentações Continham 0; 5 a 25; 30; 35 a 50 e 60% de Lodo Tóxico  
 Digestor 1 a 35°C  
 Digestor 2 a 29°C

DIGESTOR	PERÍODO	% LODO TÓXICO NA ALIMENT.	ST ALIMENT. (g/l)	SV ALIMENT. (g/l)	SV ALIMENT. (% de ST)	ST LODO DIC. (g/l)	SV LODO DIC. (g/l)	SV (% de ST)	REDUÇÃO DE SV (%)	FATOR (kg/gsvad.)	Cr (mg/l)		Ni (mg/l)		Zn (mg/l)		Cu (mg/l)		Fe (mg/l)		S <sup>2-</sup> (mg/l)	
											TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL
1	25/9 a 1/10	0	45,0	33,3	74,0	13,7	11,0	58,6	67,0	0,57	18	0,05	6,6	0,14	70	0,01	24	0,01	580	0,1	48	-
	25/9 a 7/10	0	44,5	33,6	75,5	20,9	12,8	61,9	61,6	0,61	12	0,02	3,7	0,10	43	0,15	16	0,10	360	0,8	55	1,7
	2/10 a 8/11	5 a 25	44,2	32,3	73,1	19,0	11,1	58,4	65,6	0,56	37	0,24	7,7	0,26	81	0,54	36	0,29	682	4,0	47	2,7
2	8/10 a 8/11	5 a 25	44,5	32,2	72,4	21,2	12,6	59,4	60,9	0,60	37	0,22	8,1	0,23	80	0,54	34	0,26	722	3,8	49	3,0
	9/11 a 10/12	30	44,4	29,2	65,9	21,3	11,4	53,5	61,0	0,51	84	0,25	18,8	0,24	125	0,39	75	0,33	1837	15,8	35	1,2
1	11/12 a 14/1	35 a 50	43,2	29,0	67,1	22,0	11,6	52,7	60,0	0,47	120	1,31	17,9	0,42	151	1,44	102	1,23	1963	23,1	30	1,5
	4/12 a 14/1	35 a 50	43,2	29,0	67,1	24,7	13,3	53,8	54,1	0,46	122	1,47	17,9	0,42	155	1,64	103	1,34	2058	33,3	33	1,1
1	15/1 a 12/2	60	44,1	26,0	58,9	24,4	12,4	50,8	52,3	0,39	179	3,97	30,6	0,86	195	3,65	132	3,20	2418	30,1	28	0,3
	15/1 a 12/2	60	44,1	26,0	58,9	26,7	13,9	51,7	46,9	0,41	186	3,40	32,1	0,98	209	3,23	133	3,53	2593	37,8	28	0,4

Obs.: São foram considerados os fatores de conversão (kg/gsvadicionado) provenientes da operação dos digestores com tempo de detenção de 30 dias.

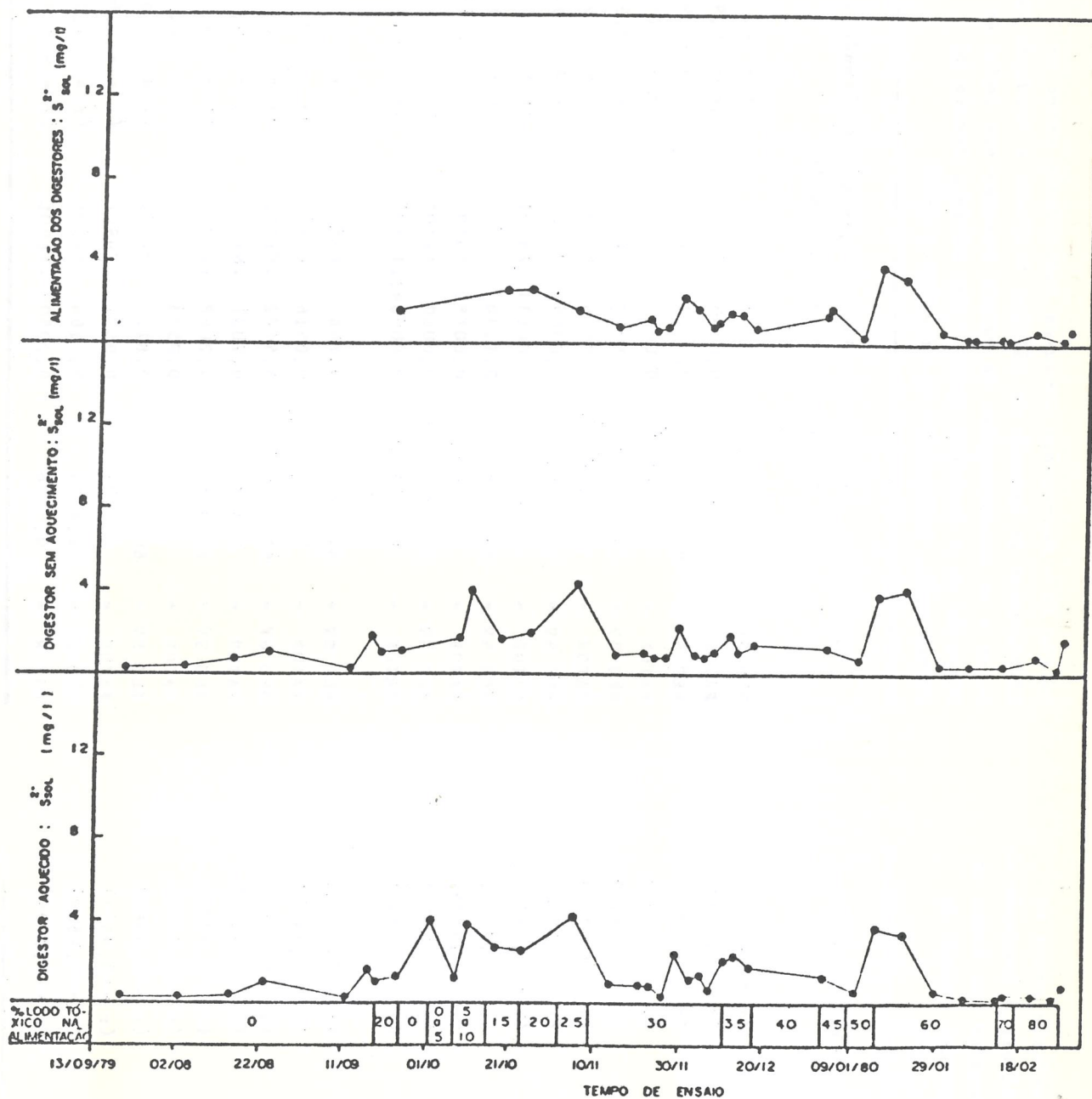


Figura 10 - Variação da Concentração de Sulfetos Solúveis na Mistura de Lodos Usada para Alimentar os Digestores e nos Lodos Digeridos.

Digestor Aquecido: 35°C    Digestor sem Aquecimento: 29°C

Tabela 13 - Regressões Lineares Individuais entre as Eficiências de Redução de Sólidos Voláteis e Produção de Gases e as Concentrações de Metais Pesados nos Lodos em Digestão ou o Conteúdo Volátil dos Sólidos Totais da Alimentação, Referentes ao Digestor a 35°C.

UNIDADES:	RED SV (%)	FATOR (lgas/gSVadicionado); SV (% de ST); METAIS (mg/l)	(r)
RED SV =	-2,0364	+ 0,9324 .SV	(r = 0,9871)
FATOR =	-0,2842	+ 0,0116 .SV	(r = 0,9633)
RED SV =	68,3767	- 0,0879 .CrTOT	(r = -0,9856)
FATOR =	0,5988	- 0,00113 .CrTOT	(r = -0,9952)
RED SV =	70,7571	- 0,5866 .NiTOT	(r = -0,9911)
FATOR =	0,6194	- 0,0073 .NiTOT	(r = -0,9725)
RED SV =	74,9523	- 0,1108 .ZnTOT	(r = -0,9832)
FATOR =	0,6768	- 0,00142 .ZnTOT	(r = -0,9924)
RED SV =	70,3651	- 0,1245 .CuTOT	(r = -0,9683)
FATOR =	0,6185	- 0,00161 .CuTOT	(r = -0,9825)
RED SV =	71,0539	- 0,0066 .FeTOT	(r = -0,9356)
FATOR =	0,6253	- 0,000084 .FeTOT	(r = -0,9340)
RED SV =	64,9964	- 3,2787 .CrSOL	(r = -0,9330)
FATOR =	0,5490	- 0,0421 .CrSOL	(r = -0,9422)
RED SV =	68,5528	- 19,2000 .NiSOL	(r = -0,9445)
FATOR =	0,5942	- 0,2454 .NiSOL	(r = -0,9498)
RED SV =	65,6472	- 3,7042 .ZnSOL	(r = -0,9377)
FATOR =	0,5574	- 0,0476 .ZnSOL	(r = -0,9477)
RED SV =	65,4186	- 4,1884 .CuSOL	(r = -0,9464)
FATOR =	0,5445	- 0,0538 .CuSOL	(r = -0,9571)
RED SV =	67,5909	- 0,4385 .FeSOL	(r = -0,9568)
FATOR =	0,5827	- 0,00565 .FeSOL	(r = -0,9706)

Tabela 14 - Regressões Lineares Individuais entre as Eficiências de Redução de Sólidos Voláteis e Produção de Gases e as Concentrações de Metais Pesados nos Lodos em Digestão ou o Conteúdo Volátil dos Sólidos Totais da Alimentação, Referentes ao Digestor a 29°C.

UNIDADES:	RED SV (%)	FATOR (lgas/gSVadicionado); SV (% de ST); METAIS (mg/l)	(r)
RED SV =	-5,8037	+ 0,9704 .SV	(r = 0,9749)
FATOR =	-0,3658	+ 0,0130 .SV	(r = 0,9501)
RED SV =	63,4107	- 0,0852 .CrTOT	(r = -0,9903)
FATOR =	0,6257	- 0,00124 .CrTOT	(r = -0,9801)
RED SV =	64,4571	- 0,5037 .NiTOT	(r = -0,9833)
FATOR =	0,6387	- 0,0076 .NiTOT	(r = -0,9560)
RED SV =	66,9562	- 0,0899 .ZnTOT	(r = -0,9766)
FATOR =	0,6975	- 0,00133 .ZnTOT	(r = -0,9807)
RED SV =	64,6026	- 0,1198 .CuTOT	(r = -0,9704)
FATOR =	0,6476	- 0,00180 .CuTOT	(r = -0,9951)
RED SV =	64,9624	- 0,0060 .FeTOT	(r = -0,9461)
FATOR =	0,6555	- 0,000091 .FeTOT	(r = -0,9883)
RED SV =	59,9320	- 3,864 .CrSOL	(r = -0,9316)
FATOR =	0,5703	- 0,0516 .CrSOL	(r = -0,8473)
RED SV =	61,7880	- 15,5182 .NiSOL	(r = -0,9240)
FATOR =	0,5932	- 0,2021 .NiSOL	(r = -0,8201)
RED SV =	60,8778	- 4,2668 .ZnSOL	(r = -0,9224)
FATOR =	0,5834	- 0,0573 .ZnSOL	(r = -0,8449)
RED SV =	60,0229	- 3,8122 .CrSOL	(r = -0,9294)
FATOR =	0,5707	- 0,0501 .CuSOL	(r = -0,8316)
RED SV =	62,4214	- 0,3164 .FeSOL	(r = -0,9152)
FATOR =	0,6196	- 0,00500 .FeSOL	(r = -0,9848)

Tabela 15 - Listagem a intervalos Regulares das Variações das Eficiências de Remoção de Sólidos Voláteis e Produção de Gases em Função das Concentrações de Metais Pesados nos Lodos em Digestão e do Conteúdo Volátil dos Sólidos Totais da Alimentação, Para o Digestor a 35°C.

REDUÇÃO DE SV (%)	FATOR (lgás / gSVadic.)	SV ALIMENT. (% de ST)	Cr (mg/l)		Ni (mg/l)		Zn (mg/l)		Cu (mg/l)		Fe (mg/l)	
			TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL
68,0	0,59	75	10		5	0,03	63		19		460	
66,0	0,56	73	33		8	0,13	81		35		760	4
64,0	0,54	71	56	0,3	11	0,24	99	0,4	51	0,3	1070	8
62,0	0,51	69	78	0,9	15	0,34	117	1,0	67	0,8	1370	13
60,0	0,48	67	101	1,5	18	0,45	135	1,5	83	1,3	1680	17
58,0	0,46	64	124	2,1	22	0,55	153	2,1	99	1,8	1920	22
56,0	0,43	62	147	2,7	25	0,65	171	2,6	115	2,3	2290	26
54,0	0,41	60	169	3,4	29	0,76	189	3,1	131	2,7	2590	31
52,0	0,38	58	192	4,0	32	0,86	207	3,7	147	3,2	2890	36

Obs.: Esta tabela foi obtida a partir das regressões lineares da tabela 13.

Tabela 16 - Listagem a Intervalos Regulares das Variações das Eficiências de Remoção de Sólidos Voláteis e Produção de Gases em Função das Concentrações de Metais Pesados nos Lodos em Digestão e do Conteúdo Volátil dos Sólidos Totais da Alimentação, Para o Digestor a 29°C.

REDUÇÃO DE SV (%)	FATOR (lgás / gSVadic.)	SV ALIMENT. (% de ST)	Cr (mg/l)		Ni (mg/l)		Zn (mg/l)		Cu (mg/l)		Fe (mg/l)	
			TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL	TOT	SOL
63,0	0,62	76	3		2		43		13		340	
61,0	0,59	74	27		6		65		30		670	5
59,0	0,56	72	51	0,2	10	0,17	88	0,4	47	0,2	1000	11
57,0	0,53	69	75	0,7	14	0,31	111	0,9	63	0,8	1340	17
55,0	0,50	67	99	1,3	18	0,45	133	1,4	80	1,3	1670	23
53,0	0,47	65	123	1,3	22	0,59	156	1,9	97	1,9	2000	30
51,0	0,44	62	147	2,4	26	0,73	178	2,4	114	2,5	2320	36
49,0	0,41	60	171	3,0	30	0,86	201	2,9	131	3,0	2670	42
47,0	0,38	58	195	3,5	33	1,00	223	3,4	147	3,6	3000	48

Obs. Esta tabela foi obtida a partir das regressões lineares da tabela 14.

A presença ou adição de sulfetos poderia, possivelmente, evitar ou reduzir os efeitos da inibição.

A consequência mais notável dos choques por toxicidade ou da inibição dos digestores foi a quase imediata suspensão na produção de gases, o que pode ser observado pela leitura que era feita de 2 em 2 horas.

A segunda consequência, que também fica evidenciada rapidamente, e que confirma a existência de problemas, é a elevação na concentração dos ácidos voláteis nos lodos em digestão (figura 1).

Uma outra consequência, não tão imediata, é a diminuição na eficiência de remoção de sólidos voláteis.

Os demais parâmetros normalmente acompanhados em processos de digestão anaeróbia, como pH, alcalinidade e composição dos gases, não tiveram variações significativas à medida que se aumentava o conteúdo de tóxicos nos digestores, e não variaram significativamente quando da ocorrência de choques por toxicidade. Portanto, estes parâmetros não se prestaram para a detecção de inibição de digestores por metais pesados ou cianetos.

#### Comparação entre a Digestão a 29°C e a 35°C

A eficiência de remoção de sólidos voláteis manteve-se durante praticamente toda a experiência, maior em cerca de 5% no digestor a 35°C, em relação ao digestor a 29°C, qualquer que fosse o conteúdo de compostos tóxicos dos lodos alimentados (figura 3) (tabela 6).

O digestor a 35°C mostrou-se, ainda, mais resistente aos choques por toxicidade, principalmente porque suas concentrações de ácidos voláteis aumentaram menos que no digestor a 29°C, nestas ocasiões (figura 1).

Porém, os dois digestores apresentaram sinais de inibição completa ao mesmo tempo, quando submetidos a alimentações idênticas, mostrando portanto a mesma resistência à toxicidade, quando as concentrações de tóxicos aumentam gradativamente.

#### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- O sistema de lodos ativados precedido de decantação primária, mesmo operando com efluentes contendo elevadas concentrações de metais pesados e cianetos, apresentou elevadas eficiências de remoção de DBO, DQO e SS e baixos índices volumétricos de lodo. As remoções de metais pesados e cianetos foram geralmente elevadas.
- Recomenda-se a realização de estudos visando determinar qual ou quais dos metais pesados foi responsável pela inibição desejável dos microrganismos filamentosos no processo de lodos ativados, o que acabou favorecendo a decantação dos lodos.
- Num sistema convencional de tratamento de esgotos por lodos ativados precedido de decantação primária, e de tratamento dos lodos gerados por digestão anaeróbia, o processo limitante quanto à capacidade de recebimento de compostos tóxicos é a digestão anaeróbia.
- Foi avaliada a eficiência a se esperar dos digestores da futura ERQ-ABC do SANEGRAN, e mostrada a viabilidade técnica deste tratamento, mesmo na situação crítica em que não

haja pré-tratamento dos despejos industriais, antes de seu lançamento na rede coletora de esgotos. Recomenda-se, portanto, a adoção deste processo de tratamento dos lodos. O pré-tratamento, ao menos para os despejos das principais indústrias, deve contribuir para a segurança operacional do processo.

- Foram determinados os limites de toxicidade suportáveis pela digestão anaeróbia de lodos, para o conjunto dos metais pesados Zn, Ni, Cr, Cu, Fe, para os cianetos, e para outros tóxicos presentes em menores quantidades nos lodos em estudo.
- O digester operando a 35°C mostrou-se mais resistente a choques por toxicidade, e manteve-se sempre em cerca de 5% mais eficiente que o digester operando a 29°C, no tocante à remoção de sólidos voláteis, qualquer que fosse a qualidade dos lodos alimentados. Porém, os limites de toxicidade suportados pela digestão anaeróbia foram praticamente iguais em ambos os digestores.
- O cálculo do Número de Mosey nos limites de toxicidade resultaram em valores que concordaram bastante bem como o valor de 400 meq de metais/kgST nos lodos em digestão, estabelecido por Mosey como limite acima do qual a inibição da digestão anaeróbia é provável.
- Os digestores suportaram melhor os incrementos nas concentrações de metais pesados nos lodos em digestão quando estes ocorreram lenta e gradualmente.
- Os digestores foram recuperados de quase todos os choques ocorridos devido a compostos tóxicos, simplesmente reduzindo-se o volume de lodo alimentado.
- Em Estações de Tratamento cujos digestores estejam sujeitos a toxicidade por metais pesados, recomenda-se a análise constante da concentração de sulfetos nos lodos em digestão, e a previsão de instalações adequadas para uma eventual necessidade de adição de sulfetos ou sulfatos aos digestores.
- As consequências mais notáveis dos choques por toxicidade sofridas pelos digestores foram a quase imediata parada na produção de gases e a elevação subsequente na concentração de ácidos voláteis nos lodos em digestão. Recomenda-se portanto, para digestores sujeitos à ação de compostos tóxicos, monitorar continuamente a produção de gases e frequentemente a concentração de ácidos voláteis nos lodos em digestão.
- Alguns parâmetros normalmente acompanhados em processos de digestão anaeróbia, tais como pH, alcalinidade e composição dos gases, não sofreram variações significativas pela presença de compostos tóxicos, não se prestando, portanto, para a detecção de inibição por metais pesados ou cianetos.
- Foram correlacionadas as diminuições na eficiência da digestão anaeróbia com os incrementos nas concentrações de compostos tóxicos nos lodos em digestão, desde uma situação de praticamente inexistência de tóxicos (operação com lodos tipicamente domésticos), até o ponto em que as concentrações de tóxicos simultaneamente presentes nos lodos em digestão (202 mgZn/l, 32 mgNi/l, 183 mgCr/l, 133 mgCu/l, 2.506 mgFe/l, 21 mgCN<sup>-</sup>/l), atingiram os limites acima dos quais ocorreu inibição total do processo, em ambos os digestores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SOUZA, MARCOS E. - "Influência Simultânea de Elevadas Concentrações de Metais Pesados e Cianetos na Digestão Anaeróbia de Lodos de Esgotos" - *Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, USP* - 1982, 175 p.
2. SOUZA, MARCOS E; ALEM, P. - "Estudos da Tratabilidade de Esgotos e Lodos de Áreas Altamente Industrializadas" - *CETESB*, 1980, 167 p.
3. SOUZA, MARCOS E.; ALEM, P.; SILVA, M.O.S.A.; REIS, V.V. - "Tratamento de Esgotos de Áreas Altamente Industrializadas pelo Processo de Lodos Ativados" - *XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental* - Fortaleza-CE, 20 a 25 set. 1981, 17 p.
4. MOSEY, F.E. - "Assessment of the Maximum Concentration of Heavy Metal in Crude Sewage which will not Inhibit the Anaerobic Digestion of Sludge". *Water Pollution Control*, London 75 (1): 10-20, 1976.
5. YANG, J. et alii - "The Response of Methane Fermentation to Cyanide and Chloroform". *Prog. Wat. Tech.*, Toronto 12: 977-989. IAWPR/Pergamon Press Ltda. - 1980.
6. McCARTY, P. L. - "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals - Part Three: Toxic Material and their Control". *Public Works*, 91-94, nov. 1964.
7. LAWRENCE, A.W. & McCARTY, P.L. - "The Role of Sulfide in Preventing Heavy Metal Toxicity in Anaerobic Treatment". *Journal W.P.C.F.*, Washington 37 (3): 392-406, mar. 1965.
8. MOSEY, F. E. & HUGHES, D.A. - "The Toxicity of Heavy Metal Ions to Anaerobic Digestion". *Water Pollution Control*, London 74 (1): 18-39, 1975.
9. MOSEY, F.E.; SWANWICK, J.D. & HUGHES, D.A. - "Factors Affecting the Availability of Heavy Metals to Inhibit Anaerobic Digestion". *Water Pollution Control*, London 70 (4): 668-680, 1971.
10. LAWRENCE, A.W. & McCARTY, P.L. - "Effects of Sulfides on Anaerobic Treatment" - *Proceedings 19 th. Purdue Industrial Waste Conference*, 1964.



CETESB

**Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**  
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - CEP 05459  
PABX - 210-1100 - São Paulo - Brasil

---