

Resultados de operação e recomendações para o projeto de sistema de decanto-digestor e filtro anaeróbico para o tratamento de esgotos sanitários (*)

Química Sonia M. M. Vieira (MSc) (**)
Eng. Pedro Alem Sobrinho (MSc, Dr.) (***)

INTRODUÇÃO

A solução para o problema de esgotos sanitários de pequenas populações vinha sendo dada comumente, de acordo com a Norma Brasileira n.º 41, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (NB-41-ABNT), que prevê a utilização de decanto-digestores seguida de infiltração no terreno através de sumidouro ou de valas de infiltração quando a capacidade de infiltração do terreno permite tal solução. Quando o solo não permite a infiltração dos efluentes dos decanto-digestores, a solução recomendada pela NB-41, para estes efluentes era a utilização de valas de filtração, constituída de tubulação e leito filtrante, capaz de produzir um efluente final de muito boa qualidade; porém, esta é uma solução que pode ser considerada bastante onerosa.

A NBR-7229 de março de 1982, que é a revisão da NB-41 da ABNT, propõe como solução alternativa para o tratamento complementar de efluentes de decanto-digestores (de câmara única, de câmara sobreposta ou de compartimentos em série) a utilização de filtros anaeróbios de fluxo ascendente, antes do lançamento dos efluentes em corpos de água receptores.

Tendo em vista a escassez de dados sobre a utilização de um sistema composto de decanto-digestor e filtro anaeróbico de fluxo ascendente, para o tratamento de esgotos domésticos e em vista da recomendação de tal sistema como uma das alternativas para a solução do problema dos esgotos de pe-

quenas populações, uma pesquisa sobre o desempenho do referido sistema de tratamento de esgotos foi considerada bastante oportuna.

Foi então desenvolvido, na Cetesb, um trabalho com o objetivo de se estudar o comportamento do sistema composto de decanto-digestor seguido de filtro anaeróbico de fluxo ascendente, para o tratamento de esgotos domésticos, operando sob diferentes condições de vazão e carga orgânica a ele aplicada, bem como procurar obter parâmetros que permitam um adequado dimensionamento do filtro anaeróbico e a aplicabilidade do sistema como proposto pela NBR-7229 ou com alguma modificação, tendo em vista a legislação relativa ao controle de poluição das águas atualmente em vigor.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO

Fossa Séptica

As fossas sépticas recebem as águas residuárias, separam os sólidos do líquido, digerem parcialmente a matéria orgânica; estocam sólidos e, o líquido clarificado é encaminhado para outro tratamento e/ou posterior disposição. Os sólidos sedimentáveis vão para o fundo do tanque, onde sofrem digestão anaeróbia e se acumulam. Periodicamente esses sólidos, já digeridos, são removidos. Os materiais mais leves ficam na superfície do líquido, formando uma espuma e para evitar que os óleos e graxas ou outros materiais flutuantes saiam junto com o líquido clarificado, coloca-se um anteparo na frente da saída da fossa séptica. Esse líquido clarificado pode sofrer infiltração se as condições do solo forem adequadas, ou ser submetido a outro tratamento, para ser disposto no corpo d'água receptor.

A eficiência dos tanques sépticos varia com a geometria do tanque, taxa

de escoamento superficial, dispositivos de entrada e saída, número de compartimentos do tanque, temperatura, operação e manutenção do sistema (1).

Dimensionamento de Fossas Sépticas

O parâmetro mais usual para projeto dos tanques sépticos de câmara única é a capacidade do tanque e, portanto, o tempo de detenção necessário para sedimentação do material sólido e a capacidade para estocagem e digestão do lodo.

Segundo o Water Research Centre-Inglaterra (WRC), que recomenda a aplicação desse sistema de tratamento para populações de até 300 pessoas, a capacidade do tanque é dada pela fórmula (2):

$$V = (180 P + 2.000) \text{ litros}$$

onde V é o volume do tanque (l) e P o número de pessoas.

A EPA-Environmental Protection Agency - USA recomenda para vazões entre 2.840 e 5.680 l/dia que a capacidade do tanque seja 1 a 0,5 vezes o volume diário de alimentação. Para vazões entre 5.680 e 56.800 l/dia a capacidade do tanque, pode ser calculada pela fórmula (1):

$$V = 4.258 + 0,75 Q$$

onde V é a capacidade do tanque (l) e Q a vazão diária (l/dia).

A ABNT, através da NBR-7229, recomenda que a capacidade de fossas sépticas, de câmara única, recebendo até 75 mil l/dia, seja calculada pela seguinte fórmula (3):

$$V = N (CT + 100 L_r)$$

onde

V = volume útil (l), que deve ser no mínimo de 1.250 l

(*) Trabalho desenvolvido na Cetesb dentro do Convênio DAEE-Cetesb.

(**) Química da Diretoria de Pesquisas da Cetesb.

(***) Engenheiro da Diretoria de Pesquisas da Cetesb. Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP e da E.E. Mauá.

Tabela 1 — Comparação entre os volumes de fossa séptica de câmara única, calculados segundo os critérios de WRC, EPA e ABNT

Nº de Pessoas	Volume de Fossa Séptica (litros)		
	WRC	EPA	NBR-7229/ABNT
10	3.800	750 a 1500	2.500 *
100	20.000	15.508	17.500 **

* $L_f = 1,0$ /pessoa x dia $T = 1,0$ dia

** $L_f = 1,0$ /pessoa x dia $T = 0,5$ dia

N = número de contribuintes

C = contribuição de despejos (l/pessoa/d)

T = período de detenção (d). Valor tabelado na NBR-7229 em função da contribuição diária

L = contribuição de lodos frescos (l/pessoa . d). Valor tabelado na NBR-7229.

Para efeito de comparação suponhamos um tanque que deva atender, por exemplo, a uma população de dez pessoas com contribuição unitária de 150 l/dia. O volume necessário, segundo cada um dos dimensionamentos propostos, será conforme a tabela 1.

A NBR-7229 da ABNT apresenta detalhadamente os procedimentos para o dimensionamento de fossas sépticas de câmaras sobrepostas e também de fossas sépticas com câmaras em série.

● FILTRO ANAERÓBIO

O efluente da fossa séptica necessita tratamento adicional, para ser disposto no corpo d'água quando a infiltração no terreno não é viável.

Uma alternativa que não requer o uso de energia para bombeamento ou aeração, é o filtro de fluxo ascendente operando sob condições anaeróbias. Sua facilidade de construção e operação tornam interessante a sua utilização para o tratamento complementar dos efluentes das fossas sépticas.

Os processos anaeróbios convencionais têm sido utilizados para resíduos de alta carga orgânica e grande concentração de sólidos (*) e esses processos necessitam tempos de detenção longos. O filtro anaeróbio é um processo de tratamento que pode ser apropriado para resíduos de relativamente baixa carga orgânica e relativamente baixa concentração de sólidos em suspensão, desde que não se exija um efluente final de alta qualidade.

Os filtros anaeróbios de fluxo ascendente consistem basicamente de um leito de pedras ou de outro material inerte, que acumula em sua superfície os microorganismos responsáveis pelo processo. O líquido penetra pela base, flui através de uma camada de material de enchimento e é descarregado pelo topo. De acordo com Raman et alii (*) a distância entre o nível do líquido e o leito filtrante deve ser de 2,5 a 15 cm durante o funcionamento

e a altura do leito filtrante de 0,6 a 1,2 m. O leito de pedras se apóia numa placa perfurada que distribui o líquido pela superfície. O processo pode ser operado por longos períodos de tempo, sem necessidade de limpeza, pois a produção de sólidos é baixa. Young e McCarty (*) operaram um filtro anaeróbio com resíduo sintético constituído de proteínas e carboidratos durante um ano, sem perda da eficiência de tratamento; Raman e Chakladar (3) operaram filtros anaeróbios com efluentes de fossa séptica para tratamento de efluentes de sanitários e observaram que após 19 meses de funcionamento contínuo, o filtro começou a apresentar problemas de entupimento. Sugerem que a retirada de lodo seja feita esvaziando o filtro através da base e escoando água através do topo. Para manter a eficiência de funcionamento dos filtros sugerem programar a retirada de lodo uma ou duas vezes por ano, como para as fossas sépticas. Observaram também que a eficiência dos filtros anaeróbios não é afetada pela natureza intermitente do fluxo de alimentação.

Para melhorar a eficiência de remoção de DBO do efluente a ser lançado no corpo d'água pode ser necessário um sistema simples de aeração. Assim estará sendo descartado um efluente não deficiente em oxigênio dissolvido.

Kobayashi et alii (*), operaram em escala de laboratório, um filtro anaeróbio, com enchimento plástico de alta área superficial específica, para o tratamento de esgotos domésticos com DBO média de 288 mg/l, tempo de detenção de 24 horas, temperaturas de 20, 25 e 35° C e taxa de aplicação média de 0,32 kg DBO/m³ / dia. O efluente do filtro, operando durante 60 dias, apresentou valores médios de DBO de 38 mg/l e DQO de 78 mg/l, dando eficiências de 79% e 73% respectivamente a esses parâmetros. A eficiência do sistema praticamente não sofreu influência da variação da qualidade do efluente ao longo do dia. O comportamento do filtro para as temperaturas de 25 e 35°C foi basicamente o mesmo, porém a eficiência de remoção de DBO e SS caiu sensivelmente a 20°C. A produção de gás foi em média 0,027 l por litro de esgoto afluente ou 117 l/kg de DQO afluente. Foi observado um grande aumento no nível de sulfetos no efluente.

O dimensionamento de filtros anaeróbios, segundo a NBR 7229 da ABNT, será apresentado quando da verificação da capacidade do filtro anaeróbio utilizado no trabalho experimental.

Descrição das Instalações

Para testar a eficiência desse processo anaeróbio de tratamento, a Cetesb instalou na Estação de Tratamento Experimental do Caxingui um decanto-digestor de câmaras sobrepostas e um filtro anaeróbio que seguem os padrões estabelecidos pela NBR-7229 da ABNT(*), fabricados e cedidos pela "OMS" do Brasil S.A.

O decanto-digestor instalado é do tipo de câmaras sobrepostas. É construído em concreto, com a câmara de decantação de 0,71 m² de área superficial e volume de 0,5 m³. O volume das câmaras de digestão e armazenamento de lodo totalizam 1,5 m³.

O filtro anaeróbio é construído do mesmo material, seu volume total é de 2 m³ e o volume de vazios é da ordem de 60%. O material de enchimento é a brita n.º 4.

De acordo com a ABNT, e considerando-se a contribuição de 150 l/d.hab., o decanto-digestor tem capacidade para 15 pessoas e o filtro anaeróbio para oito pessoas, conforme verificações que são apresentadas a seguir.

O sistema recebe esgoto doméstico que passa por uma grade fina e por caixa de areia.

A figura n.º 1 apresenta o esquema de instalação da chegada de esgoto bruto, do decanto-digestor e do filtro anaeróbio.

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DO DECANTO-DIGESTOR DE CÂMARAS SOBREPOSTAS

A verificação da capacidade do decanto-digestor será feita de acordo com a NBR-7229 da ABNT, cujas recomendações são:

— Volume da câmara de decantação
 $V_1 = NCT$

onde

V_1 = volume, em litros

N = número de contribuintes

C = contribuição de despejos em l/pessoa/dia.

T = período de detenção, em dia;

Nota: a) para efeito de cálculo adotar $T = 0,20$ dia e considerar a vazão máxima não inferior a 2,4 vezes a vazão média.

b) volume mínimo da câmara de sedimentação = 500 l

— Volume decorrente do período de armazenamento do lodo digerido (V_2)

$V_2 = R_1 NL_1 Ta$

onde:

V_2 = volume em litros

Tabela 2 — Resultados obtidos por Raman, V. e Chakladar, N., para tratamento de esgoto doméstico com fossa séptica e filtro anaeróbio (ref. 5)

Filtro	Mallickpur			Jalaghata			Apurbapur		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
Afluente (mg/l)	240	464	812	225	465	673	212	771	264
Efluente (mg/l)	60	211	318	60	176	247	52	328	76
Eficiência de remoção (%)	73	53	64	71	60	65	75	57	65

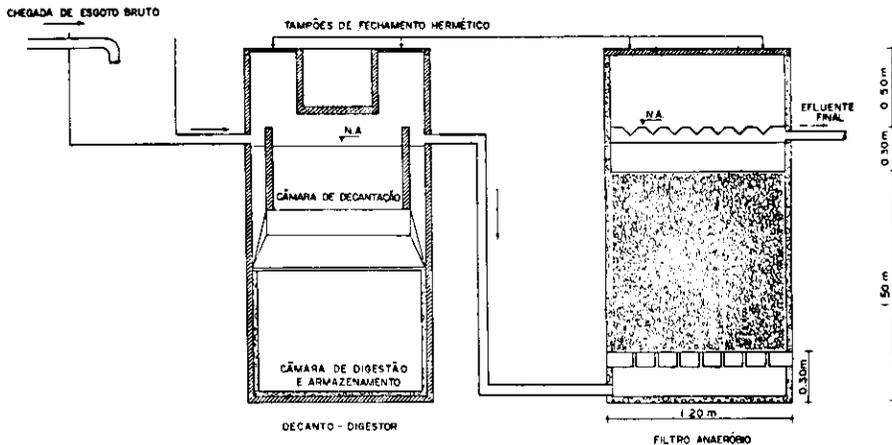


Figura 1 — Representação esquemática do sistema decanto-digestor/filtro anaeróbio em estudo para tratamento de esgoto doméstico

$R_1 = 0,25$ coeficiente de redução do volume do lodo digerido

N = número de contribuintes

L_1 = contribuição de lodos frescos l/pessoa/dia (para edificações de uso permanente $L_1 = 1,0$)

T_a = período de armazenamento de lodo, 300 dias

— Volume correspondente ao lodo em digestão (V_3)

$$V_3 = R_2 N L_1 T_a$$

onde

V_3 = volume em litros

$R_2 = 0,50$ coeficiente de redução do volume de lodo em digestão

N = número de contribuintes

T_d = período de digestão do lodo, 50 dias.

Como a capacidade do sistema utilizado nestes ensaios está fixada, adotou-se o tempo de detenção para o compartimento de decantação indicado pela NBR-7229 e calculou-se a partir daí, a vazão que esta câmara pode receber, como é mostrado a seguir:

$$V_1 = Q_1 T$$

onde

Q_1 é a vazão afluente à câmara de decantação.

Como o volume da câmara de decantação é de 500 l, tem-se:

$$500 = Q_1 \times 0,2$$

$$Q_1 = 2.500 \text{ l/dia}$$

que poderia atender a 15 habitantes com contribuição de 150 l/habitante/dia, que é o considerado pela NBR-7229 para residências.

Como as capacidades das câmaras de digestão e armazenamento de lodo são calculadas em função da quantidade de lodo fresco afluente a estas câmaras, cujo volume total é conhecido, pode-se então verificar a quantidade total de lodo fresco, que o sistema pode receber por dia (NL_1), o que é mostrado a seguir:

$$V_2 + V_3 = R_1 (NL_1) T_a + R_2 (NL_1) T_d$$

$$\text{como } V_2 + V_3 = 1.500 \text{ l}$$

tem-se:

$$1.500 = 0,25 \times 300 (NL_1) + 0,50 \times 50 (NL_1)$$

$$(NL_1) = \frac{1.500}{0,25 \times 300 + 0,50 \times 50}$$

$$(NL_1) = 15 \text{ l/dia}$$

Como $L_1 = 1$ para edificações de uso permanente, tem-se $N = 15$ pessoas.

A fossa séptica de câmaras sobrepostas tem, portanto, capacidade para 15 habitantes de residência, ou 2,5 m³/dia, de esgotos.

VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DO FILTRO ANAERÓBIO

O dimensionamento do filtro anaeróbio, pela NBR-7229, indica:

$$V_f = 1,6$$

$$Q_f T$$

onde

V_f = volume total do filtro anaeróbio (litros)

Q_f = vazão média afluente ao filtro anaeróbio (l/dia) e

T = período de detenção (dias)

com

$T = 1$ dia (para $Q_f \geq 6.000$ l/dia a NBR-7229 indica $T = 1$ dia)

Para

$$V_f = 2.000 \text{ l}$$

tem-se

$$2.000 = 1,6 \times Q_f \times 1$$

$Q_f = 1.245$ l/dia, que corresponde a oito habitantes, à base de 150 l/habitante/dia.

METODOLOGIA DO TRABALHO

Após a instalação do sistema decanto-digestor/filtro anaeróbio foram observados problemas de vazamento. Depois de solucionar estes problemas, corrigindo todas as emendas do filtro e da ligação entre o decanto-digestor e o filtro, iniciou-se o funcionamento do sistema.

O decanto-digestor e o filtro foram preenchidos com água e adicionaram-se ao decanto-digestor 70 l de lodo digerido proveniente dos digestores da ETE-Pinheiros da Sabesp. Iniciou-se então a alimentação com esgoto bruto que passa pelo gradeamento e caixa de areia da estação experimental de tratamento de esgotos do Caxingui da Cetesb. A vazão de alimentação era controlada através de válvula de gaveta, corrigindo-se sua abertura a cada duas horas. Como esta vazão apresentou no início muita variação por problema de entupimento, foi necessário acrescentar-se uma tela na caixa de passagem dos esgotos antes da válvula de gaveta.

Até o 769.º dia a alimentação era no período das 8h30 às 16h30 e do 770.º até o 783.º dia de operação, o sistema foi alimentado durante 24 horas com a mesma vazão horária que vinha sendo aplicada na condição anterior. Portanto, durante o período que a alimentação só permanecia oito horas aberta, a vazão de alimentação era três vezes a vazão média.

A vazão de alimentação do decanto-digestor e do filtro anaeróbio era igual, exceto no período entre o 236.º e o 507.º dia.

O acompanhamento dos ensaios era feito duas vezes por semana, através de determinações analíticas de amostras coletadas em três pontos do sistema, para caracterização da alimentação, do efluente do decanto-digestor e do efluente do filtro anaeróbio.

As amostras eram compostas, coletadas a cada hora durante o período diário de funcionamento.

As determinações analíticas efetuadas nas três amostras eram: DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), SST (Sólidos Suspensos Totais), SSV (Sólidos Suspensos Voláteis), pH e ainda no efluente do filtro anaeróbio eram determinadas a concentração de ácidos voláteis, a alcalinidade e a temperatura. Do 548.º dia em diante, foram

efetuadas nos três pontos de amostragem, análises de nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total.

Os métodos de análise empregados são os descritos pelo "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" — 14.ª edição, exceto para a determinação de ácidos voláteis que era feita de acordo com "Operations Manual Anaerobic Sludge Digestion - fevereiro/1976 - EPA 430/9-76-001".

Para se ter uma idéia do decaimento bacteriano através do sistema, a partir do 155. dia de operação foi iniciada a determinação de coliformes totais nos três pontos de amostragem, pelo método de contagem de placas, utilizando-se como meio de cultura o **Agar MacConkey**.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os valores médios das determinações analíticas efetuadas na alimentação, no efluente do decanto-digestor e do filtro anaeróbio, para cada condição de vazão aplicada ao sistema, estão contidos nas tabelas numeradas de 3 a 5.

A porcentagem de remoção de DBO, DQO, SS e coliformes totais, para cada condição testada, são mostrados na tabela 6.

A tabela 7 indica os tempos de detenção na câmara de decantação do decanto-digestor e no filtro anaeróbio correspondentes a cada vazão aplicada.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

O estudo do comportamento do sistema decanto-digestor seguido de filtro anaeróbio foi feito variando-se a vazão afluente a cada uma das unidades.

A primeira condição imposta ao sistema, do primeiro ao 106.º dia de operação, foi a indicada pela NBR-7229, da ABNT, para o decanto-digestor: tempo de detenção de dois dias para a vazão média afluente, na câmara de decantação, o que corresponde a 2,5 m³/dia. Esta mesma vazão média foi aplicada ao filtro anaeróbio e representa o dobro do valor recomendado pela NBR-7229, para esta unidade, cuja capacidade já obtida anteriormente é para o tratamento de 1,25 m³/dia. Devido a problemas de obstrução parcial de um registro, a vazão média nesse período de operação foi de 2,1 m³/dia.

Comparando-se os resultados de remoção obtidos numa condição inicial, com os outros obtidos nos 400 dias subsequentes, observa-se que, esse período inicial foi necessário para a "aclimação" do sistema.

Pelos parâmetros de acompanhamento do desempenho do sistema, nota-se que nos primeiros 100 dias de operação, a remoção de carga orgânica foi muito baixa. O início da operação do filtro anaeróbio com efluente do decanto-digestor, com vazão quase que o

Tabela 3 — Médias das determinações de DBO, DQO, SS e coliformes totais na alimentação

Tempo de Ensaio (dias)	Vazão afluente ao decanto-digestor		Vazão afluente ao filtro anaeróbio		DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	Coliformes Totais (org/ml)
	m ³ /dia	l/h	m ³ /dia	l/h				
54-106	2,1	64	2,1	264	130	366	144	
141-181	1,5	189	1,5	189	177	540	256	51x10 ⁴
210-232	1,6	201	1,6	201	146	627	301	66x10 ⁴
258-302	1,5	189	0,6	75	257	683	319	26x10 ⁴
330-366	1,9	237	0,7	87	304	758	357	51x10 ⁴
388-423	2,2	275	0,7	87	305	979	482	82x10 ⁴
451-506	3,0	375	1,3	162	207	625	161	70x10 ⁴
533-584	3,1	387	3,1	387	325	683	272	51x10 ⁴
639-764	2,6	324	2,6	324	372	726	403	41x10 ⁴
771-783	6,6	275	6,6	275	379	1.068	362	108x10 ⁴

Tabela 4 — Médias das determinações de DBO, DQO, SS e coliformes totais no efluente do decanto-digestor

Tempo de Ensaio (dias)	Vazão afluente ao decanto-digestor		Vazão afluente ao filtro anaeróbio		DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	Coliformes Totais (org/ml)
	m ³ /dia	l/h	m ³ /dia	l/h				
54-106	2,1	264	2,1	264	89	344	138	
141-181	1,5	189	1,5	189	43	199	75	7,3x10 ⁴
210-232	1,6	201	1,6	201	67	283	132	16x10 ⁴
258-302	1,5	189	0,6	75	94	339	167	18x10 ⁴
330-366	1,9	237	0,7	87	138	404	213	33x10 ⁴
388-423	2,2	275	0,7	87	96	343	169	53x10 ⁴
451-506	3,0	375	1,3	162	91	228	76	29x10 ⁴
533-584	3,1	387	3,1	387	142	402	156	28x10 ⁴
639-764	2,6	324	2,6	324	240	514	216	19x10 ⁴
771-783	6,6	275	6,6	275	158	489	410	47x10 ⁴

Tabela 5 — Médias das determinações de DBO, DQO, SS e coliformes totais no efluente do filtro anaeróbio

Tempo de Ensaio (dias)	Vazão afluente ao decanto-digestor		Vazão afluente ao filtro anaeróbio		DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	Coliformes Totais (org/ml)
	m ³ /dia	l/h	m ³ /dia	l/h				
54-106	2,1	264	2,1	264	55	208	57	
141-181	1,5	189	1,5	189	26	116	29	2,9x10 ⁴
210-232	1,6	201	1,6	201	24	119	34	4,0x10 ⁴
258-302	1,5	189	0,6	75	39	166	45	5,2x10 ⁴
330-366	1,9	237	0,7	87	34	174	79	4,2x10 ⁴
388-423	2,2	275	0,7	87	42	156	49	7,8x10 ⁴
451-506	3,0	375	1,3	162	45	133	27	7,5x10 ⁴
533-584	3,1	387	3,1	387	99	239	78	17x10 ⁴
639-764	2,6	324	2,6	324	172	362	96	6,9x10 ⁴
771-783	6,6	275	6,6	275	90	259	107	8,4x10 ⁴

dobro daquela recomendada pela NBR-7229 implicou um período excessivamente longo para a aclimação do filtro anaeróbio. Com um tempo de detenção bem mais elevado no início da operação do filtro anaeróbio e com uma diminuição gradual desse tempo de detenção, possivelmente se teria reduzido esse período de aclimação.

Passou-se então a se operar o sistema com vazões menores, inicialmente iguais para o decanto-digestor e para o filtro anaeróbio e posteriormente

com vazões diferentes afluentes a essas unidades, conforme mostrado nas tabelas de 3 a 7. No período do 107.º ao 506.º dia de operação, a vazão afluente ao decanto-digestor foi gradativamente aumentada. Neste período, o tempo médio de detenção na câmara de sedimentação do decanto-digestor variou de 17 a 33 dias e no filtro anaeróbio de 8 a 2,1 dias. As eficiências observadas nas duas unidades do sistema foram praticamente independentes da vazão afluente e as

eficiências globais de remoção do sistema permaneceram nas seguintes faixas:

- DBO — 78% a 89% de remoção
- DOO — 76% a 84% de remoção
- SS — 78% a 90% de remoção.

Quando se atingiu a vazão média de 3.1 m³/dia para o decanto-digestor e para o filtro anaeróbio, que correspondia a tempo de detenção médio de 16 dias e mínimo de 5 dias para a câmara de decantação e tempos de detenção médio de 39 dias e mínimo de 13 dias para o filtro anaeróbio, observou-se uma deterioração acentuada da qualidade do efluente final.

Resolveu-se então fazer uma limpeza com remoção de quase todo o conteúdo do decanto-digestor, deixando apenas uma pequena camada de lodo no fundo do mesmo. Esta limpeza se deu no 588.º dia de operação do sistema.

Um fato interessante observado foi que a eficiência do decanto-digestor na remoção de matéria orgânica no período de 141. dia até o 584. dia foi bem superior aos valores característicos de decantação simples, e que foram observados no início da operação do sistema (até o 106. dia) e no período posterior a limpeza geral do decanto-digestor realizado no 588.º dia e quando se esvaziou totalmente a câmara de decantação. No período de operação do 350.º dia ao 420.º dia, observou-se um aumento bem significativo de sólidos em suspensão no efluente do decanto-digestor e então fez-se uma remoção parcial de sólidos desta unidade, porém sem chegar a esvaziar a câmara de decantação e observou-se que no período subsequente não houve perda da eficiência do decanto-digestor na remoção de matéria orgânica, que continuou a ser superior àquela normalmente obtida para simples sedimentação. Dessas observações concluiu-se que parece ter havido um certo acúmulo de sólidos biológicos na câmara de decantação, que proporcionou uma remoção adicional de matéria orgânica, por ação biológica, e que é muito importante na eficiência global do sistema.

Quando da limpeza do decanto-digestor no 588.º dia de operação, já se notava que o filtro anaeróbio também necessitava de uma remoção de sólidos, porém a instalação, feita de acordo com a NBR-7229, não possuía dispositivos para tal limpeza.

No caso do filtro que trabalha submerso, uma solução para facilitar o trabalho de limpeza poderia ser um tubo de descarga colocado um pouco abaixo do nível do líquido, como é indicado no esquema ao lado.

Para melhorar a qualidade do efluente, tentou-se efetuar uma separação dos sólidos nele contidos. Procedeu-se então à aeração do efluente e deixou-se decantar. No entanto, esses sólidos são de difícil separação. Pra-

Tabela 6 — Remoções de DBO, DQO, SS e coliformes totais obtidos no esgoto doméstico tratado através do sistema decanto-digestor e filtro anaeróbio, nas diversas condições de vazão testadas

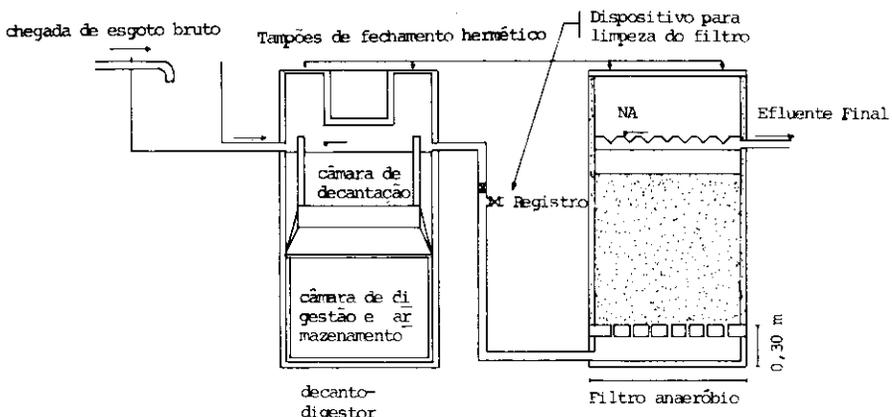
Tempo de Ensaio (dias)	Vazão Média diária (m ³ /dia)		DBO (%)			DQO (%)			SS (%)			COLIFORMES TOTAIS (%)		
	Afluente do Decanto-Digestor	Afluente do Filtro Anaeróbio	Remoção no Decanto-Digestor	Remoção no Filtro Anaeróbio	Remoção no Sistema Decanto-Digestor-Filtro Anaeróbio	Remoção no Decanto-Digestor	Remoção no Filtro Anaeróbio	Remoção no Sistema Decanto-Digestor-Filtro Anaeróbio	Remoção no Decanto-Digestor	Remoção no Filtro Anaeróbio	Remoção no Sistema Decanto-Digestor-Filtro Anaeróbio	Remoção no Decanto-Digestor	Remoção no Filtro Anaeróbio	Remoção no Sistema Decanto-Digestor-Filtro Anaeróbio
54-106	2,1		31	38	58	6	39	43	4	59	60			
141-181	1,5		76	39	85	63	42	78	71	61	88	66	60	84
219-232	1,6		34	64	44	55	58	81	56	74	89	74	75	84
234-302	1,5	0,6	63	59	85	50	51	76	48	73	86	31	71	80
330-366	1,9	0,7	55	75	89	47	57	77	40	63	78	33	83	82
388-424	2,2	0,7	48	56	74	65	55	84	65	71	90	33	85	89
451-506	3,0	1,3	56	31	78	64	42	79	37	64	83	59	74	89
535-584	3,1		56	30	70	61	41	63	63	50	73	45	39	67
639-704	2,6		35	33	37	89	34	55	46	56	76	54	64	83
771-778	6,6		58	45	76	54	47	76	-	74	70	56	82	82

Tabela 7 — Tempos de detenção da câmara de decantação do decanto-digestor e do filtro anaeróbio nas diversas condições de vazão aplicadas

Tempo de Ensaio (dias)	Vazão Média diária afluente ao decanto-digestor (m ³ /dia)	Vazão Média diária afluente ao filtro anaeróbio (m ³ /dia)	Tempo de detenção na câmara de decantação do decanto-digestor (dia)		Tempo de detenção no filtro anaeróbio (dia)	
			médio	mínimo*	médio	mínimo*
9-106	2,1	2,1	0,24	0,08	0,60	0,20
107-189	1,5	1,5	0,33	0,11	0,83	0,28
190-233	1,6	1,6	0,31	0,10	0,78	0,26
234-302	1,5	0,6	0,33	0,11	2,08	0,69
303-370	1,9	0,7	0,26	0,09	1,78	0,59
371-424	2,2	0,7	0,23	0,08	1,78	0,59
425-508	3,0	1,3	0,17	0,06	0,96	0,32
509-584	3,1	3,1	0,16	0,05	0,39	0,13
608-769	2,6	2,6	0,20	0,07	0,49	0,16
771-778	6,6	6,6	0,08	0,08	0,19	0,19

* O tempo de detenção mínimo é calculado levando-se em conta a vazão aplicada durante 8 horas/dia que é igual a 3 vezes a vazão média, até o 769º dia de ensaio.

** O tempo de detenção no filtro anaeróbio é calculado levando-se em conta o volume útil do mesmo, que é cerca de 80% do volume total.



ticamente não houve decantação e a DBO e DQO permaneceram na mesma faixa de resultado. Portanto, os sólidos em suspensão devem ser removidos no decanto-digestor e no filtro anaeróbio pois após passarem pelo processo anaeróbio, sua separação torna-se difícil.

O efluente do filtro anaeróbio não

possui oxigênio dissolvido. Quando necessário ou conveniente deve-se efetuar sua aeração, por meios naturais, como o cascadeamento, por exemplo, ou outro meio viável.

As temperaturas na saída do filtro anaeróbio e ambiente foram medidas durante o dia nos primeiros dez meses de operação do sistema e observou-se

que enquanto a temperatura ambiente variou de 15°C a 32°C o efluente do filtro anaeróbio esteve entre 20°C e 26°C, com variações graduais não prejudicando o processo anaeróbio que é muito sensível a mudanças de temperatura.

Foram efetuadas medidas de nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo total do 548.º dia em diante, não se observando remoções significativas desses nutrientes no sistema.

A avaliação da capacidade de remoção de microorganismos patogênicos do sistema foi feita utilizando-se a medida dos coliformes totais, por ser de mais fácil determinação por se pretender apenas uma indicação da potencialidade do sistema para este fim. A remoção obtida pelo sistema variou de 80% a 94%, mas a quantidade de coliformes totais no efluente é ainda muito alta.

Todos esses estudos foram efetuados com o sistema operando cerca de oito horas diárias, havendo interrupção do processo durante a noite. Apesar disso o sistema não apresentou problemas. Este procedimento tentava simular o que acontece na prática em que se observam períodos de pico e períodos praticamente sem esgoto, especialmente em pequenos aglomerados.

Uma consequência desse fato é que os tempos de detenção médios apresentados, correspondem na realidade a tempos de detenção três vezes maiores do que aqueles aplicados durante o período de funcionamento. Então com o sistema funcionando 24 horas/dia, é quase certo que esses tempos de detenção médios possam ainda ser reduzidos.

Do 770.º a 783.º dia de operação, o sistema permaneceu recebendo alimentação durante as 24 horas do dia, mas o período de funcionamento foi curto para se poder tirar alguma conclusão. A operação do sistema foi interrompida devido à desativação da Estação de Tratamento, mas outros aspectos desse estudo deveriam ainda ser abordados, além de se operar o sistema por algum tempo com alimentação durante 24 horas.

Seria importante avaliar o rendimento do processo com outro tipo de material de enchimento, que poderia ser o agregado leve de lodo de esgoto. Esse material produzido pela Sabesp a partir de lodo digerido anaerobicamente é interessante do ponto de vista prático e econômico. Os anéis plásticos também poderiam ser testados.

Resumo e conclusões dos resultados obtidos

Foram obtidos os seguintes resultados com o sistema operando após aclimação, durante 400 dias, com amostras coletadas de hora em hora, duas vezes por semana.

Características do sistema:

Decanto-digestor com volume para

Tabela 8 — Condições de operação

Parâmetro	Decanto Digestor	Filtro Anaeróbio
Vazão média (m ³ /dia)	1,5 a 3,0	0,6 a 1,6
Vazão Máxima (l/h)	189 a 375	75 a 201
Tempo de detenção (h) em relação à vazão média	4 a 8	19 a 50
Tempo de detenção (h) em relação à vazão máxima	1,3 a 2,7	6,3 a 17

Tabela 9 — Médias das porcentagens de remoções obtidas com o sistema

Remoção de DBO	85%
Remoção de DQO	79%
Remoção de SS	86%
Remoção de coliformes	90%

digestão e armazenamento de lodo de 1,5 m³ e com câmara de decantação de 0,5 m³.

Filtro anaeróbio de 2 m³.

Enchimento do filtro: pedra britada n.º 4.

Material de construção: concreto.

Temperatura do líquido: 20°C a 26°C.

Sistema operado das 8h30 às 16h30 com esgoto doméstico.

Os seguintes comentários podem ser feitos sobre o sistema, com base na experiência de cerca de dois anos de operação.

- O sistema necessita de um tempo de aclimação de cerca de três meses, ou a partida tem que ser controlada, aumentando-se lentamente a carga do sistema.
- É desejável que os efluentes do decanto-digestor e do filtro sejam analisados pelo menos uma vez por ano.
- O sistema atingiu bons resultados de remoção de DBO, DQO e SS a tempos de detenção mínimos de 4,1 horas na câmara de decantação do decanto-digestor e 19 horas no filtro anaeróbio, em relação à vazão média, que são inferiores aos recomendados pela NBR-7229 (4,8 horas na câmara de decantação do decanto-digestor e um dia no

filtro anaeróbio para contribuições de até 6 mil l/dia).

- O decanto-digestor necessita limpeza adequada. A primeira descarga de sólidos pode ser após cerca de um ano de funcionamento e as outras em intervalos de tempo menores, em função dos resultados de acompanhamento de operação. Nas limpezas não se deve esvaziar totalmente a câmara de decantação, mesmo que isto acarrete menores intervalos entre as limpezas.
- O filtro anaeróbio necessita a primeira limpeza após cerca de 1,5 ano de funcionamento. Na figura 2 é mostrada uma sugestão do dispositivo a ser acrescentado ao sistema para se efetuar essa limpeza. Uma altura de líquido sobre o enchimento do filtro, superior àquela recomendada pela NBR-7229, melhorará as condições de limpeza. Na limpeza, o filtro não deve ser esvaziado. Os resultados do acompanhamento da operação indicarão a época adequada da limpeza.
- Os sólidos contidos no efluente são de difícil separação, não sendo viável sua remoção por simples sedimentação após serem eliminados junto com o efluente. Por isso, a limpeza do decanto-

Tabela 10 — Características médias do esgoto e dos efluentes

PARÂMETRO	ESGOTO BRUTO	EFLUENTE DECANTO DIGESTOR	EFLUENTE FILTRO ANAERÓBIO
DBO (mg/l)	233	88	35
DQO (mg/l)	702	299	144
SS (mg/l)	313	139	44
Coliformes Totais (org/ml)	58×10^4	26×10^4	$5,3 \times 10^4$

digestor e filtro anaeróbio são de extrema importância para tornar eficiente a remoção de sólidos pelo sistema.

- Não são necessários equipamentos como bombas de recalque, aeradores, agitadores ou controle de temperatura. O sistema também não exige cuidados operacionais, exceto a retirada de lodo a cada cinco a seis meses. Isso torna o sistema muito vantajoso do ponto de vista prático e econômico.
- O sistema praticamente não remove nitrogênio e fósforo.
- Com o sistema instalado abaixo da superfície da terra, as variações de temperatura não interferem no processo.

BIBLIOGRAFIA

- 1 — U.S. Environmental Protection Agency. Design Manual Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems. October, 1980.
- 2 — MANN, H.T. Technical Report 107. Septic Tanks and Small Sewage — Treatment Plants. *Water Research Centre*. March, 1979.
- 3 — Norma NB-41 da ABNT. Construção e Instalação de Fossas Sépticas e de Disposição dos Efluentes Finais, 1963.
- 4 — PLUMMER, Jr. A.H., MALINA, J.F., ECKENFELDER, Jr. W.W., — Etabilization of a Low Solids Carbohydrate Waste by an Anaerobic Submerged Filter. *Proc. 23rd Int. Wastes Conf. Purdue Univ.*; 462-73, 1968.
- 5 — RAMAN, V. and CHAKLADAR, N. Upflow filters for septic tank effluents. *Journal WPCF* 44 (8): 1552-60, 1972.
- 6 — YOUNG, J.C. and McCARTY P.L. The Anaerobic Filter for Waste Treatment. *Journal WPCF* 41 (5): R160-73, 1969.
- 7 — MOSEY, F.E.. Anaerobic Biological Treatment. Proc. of Symposium Newcastle upon Tyne. 1974.
- 8 — Norma NBR-7229 da ABNT. Construção e Instalação de Fossas Sépticas e Disposição dos Efluentes Finais, março 1982.
- 9 — KOBAYASHI, H.A.; STENSTROM, M. K.; and MAH, R.A. — Treatment of Low Strength Domestic Wastewater Using the Anaerobic Filter, *Water Research* 17 (8): 903-909, 1983.