

# Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente(\*)

Química Sônia Maria Manso Vieira (MSc) (\*\*)

## 1 — INTRODUÇÃO

Para melhorar as condições de saneamento no Brasil é indispensável o desenvolvimento de sistemas de tratamento de esgotos simples e econômicos, de fácil operação e manutenção e que dispensem equipamentos sofisticados.

Quando se dispõe de grandes áreas, e quando o custo do terreno é pouco significativo, as lagoas de estabilização convencionais constituem um processo de tratamento adequado, pois são simples e não exigem cuidados especiais nem custos elevados para sua construção, operação e manutenção.

Os processos que utilizam aeração forçada, tais como lodos ativados, lagoas aeradas, valos de oxidação etc., constituem opções eficientes para o tratamento de esgotos, particularmente em zonas urbanas, visto que requerem áreas relativamente pequenas. No entanto, estes processos são caros e sofisticados, exigem equipamentos mecânicos, consomem energia, produzem grandes quantidades de lodo indesejável e são de difícil e cara operação e manutenção. Sua utilização só se justificava até o presente, por falta de opções tecnológicas, especialmente no que se refere ao tratamento de esgotos de médias e grandes populações.

Para o tratamento de esgotos de pequenas populações (até 500 habitantes), já está se tornando tradicional a utilização de processos anaeróbios, tais como fossas sépticas e decantadores seguidos de filtros anaeróbios,<sup>1</sup> que são simples e baratos, do ponto de vista operacional e construtivo.

Estes processos anaeróbios não exigem nenhum equipamento mecânico e geram quantidades relativamente pequenas de lodo. No entanto, a baixa velocidade de tratamento, característica dos processos anaeróbios, não permitia sua utilização para comunidades maiores, visto que seriam necessários digestores muito grandes.

Para ampliar a aplicação desses processos era necessário aumentar a velocidade de tratamento para se poder reduzir o tamanho dos tanques e aumentar a taxa de conversão de matéria orgânica a metano. A grande dificuldade consistia em manter ou retornar os microrganismos ao sistema, já que os sólidos digeridos anaerobicamente eram de difícil decantação. O desenvolvimento de novos processos anaeróbios como o de Contato, o Filtro Anaeróbio, o Fluxo Ascendente com Manto de Lodo e o Leito Fluidizado, que favorecem o acúmulo de sólidos biológicos no digestor, tornaram viável a utilização da Digestão Anaeróbia para o tratamento de efluentes industriais. De fato, a comercialização de digestores para tratamento de resíduos de alta carga orgânica e baixa concentração de sólidos em suspensão tem aumentado consideravelmente.

Este trabalho relata as experiências realizadas pela Equipe de Digestão Anaeróbia da Gerência de Pesquisas de Tratamento de Resíduos e Qualidade de Água, da Cetesb, com vistas à aplicação desses desenvolvimentos para o tratamento de esgotos domésticos que possuem baixa carga orgânica e reduzida concentração de sólidos em suspensão, utilizando um digestor anaeróbio de fluxo ascendente.

## 2 — EVOLUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS

Há pelo menos 100 anos a fermentação anaeróbia é utilizada para o tratamento de esgotos domésticos<sup>2</sup>. No início esses processos consistiam em manter o resíduo por um determinado tempo dentro de um tanque hermeticamente fechado, para remover os sólidos em suspensão do esgoto. Ao longo do tempo, esses tanques foram sendo modificados, através de colocação de dispositivos internos para melhorar sua eficiência.

Uma espécie de filtro anaeróbio foi constituído por Scott Moncrieff em 1890<sup>3</sup>. O tanque continha uma camada de pedras acima de um espaço vazio, que melhorava significativamente a remoção de sólidos do esgoto. Nos Estados Unidos, em 1897, o gás prove-

niente do tratamento de esgotos de Exeter foi aproveitado para fins de iluminação e aquecimento<sup>4</sup>. Em 1914 o tanque Imhoff, que contém um decantador na parte superior e um separador de gases, era largamente empregado nos Estados Unidos<sup>5</sup>. Entretanto, sua aplicação se tornava limitada pelo tamanho do tanque. Para amenizar este problema, a câmara de decantação e a de digestão foram separadas. Assim, foi possível introduzir no digestor, o aquecimento e a agitação, para aumentar a velocidade de tratamento<sup>6</sup>. Surgiu então, o digestor anaeróbio convencional para tratamento de lodo de esgoto. Esta é a solução que tem sido adotada até hoje nas grandes estações de tratamento de esgotos. O sobrenadante dos decantadores, no entanto, é tratado por processos aeróbios e somente os lodos gerados são tratados em digestores anaeróbios convencionais.

As investigações realizadas, no sentido de melhorar o rendimento do processo anaeróbio para o tratamento de esgotos domésticos, são escassas e até recentemente sem vantagens econômicas suficientes para justificar a substituição dos processos aeróbios convencionais.

Em 1910, Winslow e Phelps<sup>4</sup> realizaram experimentos com um tanque que chamaram de Biolítico. O esgoto doméstico era alimentado pelo fundo de um tanque cônico invertido passando através de um manto de lodo digerido. Verificaram que a remoção de sólidos em suspensão era tão boa quanto a obtida com os tanques sépticos e que a liquefação dos sólidos era melhor.

O processo anaeróbio de contato foi experimentado por Coulter, Soneda e Ettinger em 1957<sup>7</sup>, utilizando um sistema de dois estágios que consistia de um tanque de decantação cônico de 4,7 m<sup>3</sup> e um filtro anaeróbio de 2,6 m<sup>3</sup>. Eles obtiveram bons resultados de remoção de DBO (48 a 65%) e sólidos em suspensão (90 a 95%). Mesmo sem inocular o processo com lodo ativo, foram atingidas boas remoções, após quatro a seis semanas do início de operação. Nos ensaios prévios de laboratório obtiveram remoção de DBO de 55 a 80% a 4°C e 80 a 90% a 25°C.

Baseando-se nesses resultados, Fall e Krauss<sup>8</sup> estudaram, em escala-piloto,

(\*) Trabalho desenvolvido na Diretoria de Pesquisa da Cetesb, dentro do Convênio Dae-Cetesb.

(\*\*) Química da GTRA-Gerência de Pesquisas de Tratamento de Resíduos e Qualidade de Água, da Diretoria de Pesquisa da Cetesb, São Paulo.

o processo anaeróbio de contato para o tratamento de esgotos domésticos num tanque retangular de 12x6x5.2 m com oito entradas distribuídas ao longo das duas paredes longitudinais e com o efluente saindo pelo centro do reator, também na longitudinal. Os resultados não foram animadores. A média de eficiência do processo foi de 34% de remoção de DBO e 77% de remoção de sólidos em suspensão. Segundo os autores, durante o verão a eficiência do processo foi mais baixa que no inverno, pois o reator apresentava fermentação ácida e os ácidos orgânicos produzidos eram carreados com o efluente.

Simpson<sup>9</sup>, com um reator de contato de 1.700 l seguido de dois decantadores em série, de 450 l cada, obteve redução de DBO de 78% com tempo de detenção de 12 horas. Iniciou o processo preenchendo o reator com esgoto e lodo bruto a uma concentração de 11 g/l em sólidos totais e aguardou 35 dias para adicionar a alimentação.

Pretorius<sup>10</sup> também experimentou o processo anaeróbio de contato para o tratamento de esgotos domésticos. Com um sistema de decantador constituído de um cone invertido, na parte superior do tanque, seguido de um filtro anaeróbio, obteve até 90% de remoção de DBO com tempo de residência de 24 horas, à temperatura de 20°C. Os resultados foram semelhantes em escala de laboratório e num sistema-piloto de 2 m<sup>3</sup>.

Raman e Chakladar<sup>11</sup> relataram o funcionamento de três filtros anaeróbios de 460 l, 224 l e 436, precedidos de fossa séptica, instalados na Índia. O despejo de alimentação desses sistemas consistiu unicamente das águas residuárias provenientes das descargas dos sanitários de residências. Vieira e Alem<sup>12</sup> testaram um sistema de decanto-digestor e filtro anaeróbio para tratamento de esgotos domésticos, obtendo remoção de 85% de DBO e 79% de DQO, operando com tempo de detenção médio de 19 horas, e mínimo de 6 horas no filtro anaeróbio. Kobayashi<sup>13</sup> et alii operaram um filtro anaeróbio de 17 l com tempo de detenção de 24 horas e obtiveram 79% de remoção de DBO.

Todos estes experimentos apresentam um ponto em comum: o relativamente alto tempo de detenção, que só permite sua aplicação a pequenas quantidades de esgoto.

A utilização de filtro anaeróbio para tratamento de esgoto doméstico, sem decantador, em escala-piloto, foi experimentada por Genung et alii<sup>14</sup> que mostraram ser possível o tratamento de esgoto doméstico com ótimas remoções de DBO (80%), a tempos de detenção bastante baixos (5 e 6.4 horas). Com esses tempos de detenção, o

processo passa a ser competitivo com os aeróbios.

Lettinga et alii<sup>15</sup> desenvolveram um novo tipo de reator anaeróbio chamado de "Fluxo Ascendente com Manto de Lodo" para tratamento de resíduos de alta carga orgânica. Este reator, além de utilizar os desenvolvimentos até então existentes em processos anaeróbios, como os sistemas aqui citados, acrescenta mais algumas características importantes.

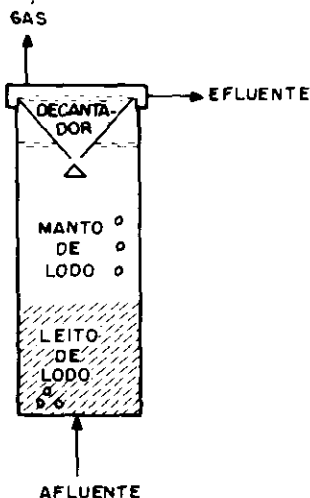


Figura 1 — Esquema do reator de fluxo ascendente e manto de lodo desenvolvido para o tratamento anaeróbio de altas cargas orgânicas.<sup>15</sup>

Um esquema desse reator é mostrado na figura 1. Observa-se que não existe sistema de agitação ou recirculação de lodo e existem na parte superior do reator um decantador e separador de gases, que permitem a separação entre os sólidos, o gás e o líquido.

Forma-se na parte inferior do reator um manto de lodo com características superiores de decantabilidade favorecida pelas condições físicas e químicas impostas ao sistema. Este manto de lodo se mantém estável e capaz de resistir a forças de agitação relativamente altas, fazendo com que o lodo permaneça no reator. Recentemente Lettinga et alii<sup>16</sup> efetuaram o tratamento de esgoto doméstico num reator deste tipo, utilizando como inóculo lodo ativo de tratamento de vinhaça, obtendo-se 65 a 80% de redução de DQO com a temperatura variando de 8 a 20°C. O tempo de detenção hidráulico aplicado foi de 12 horas e a produção de gás variou de 100 a 220 l/kg DQO adicionado.

Um outro sistema de tratamento anaeróbio foi desenvolvido por Jewel<sup>17</sup> et alii e utilizado para o tratamento de esgoto doméstico decantado. Este reator, denominado de "Filme Fixo em Leito Expandido" já exige um pouco mais de cuidados operacionais. Além da necessidade de recirculação, a velocidade do fluxo deve ser tal que o leito

permaneça com 10 a 20% de expansão. Com o tempo de detenção de apenas uma hora, obtiveram remoção de DQO de 70% fornecendo um efluente com cerca de 40 mg/l de DQO e 5 mg/l de SS.

Num sistema de tratamento mais completo, para tratar esgoto em grande quantidade, este processo pode ser bastante promissor, desde que sua operação seja simplificada.

Em vista da problemática descrita, e considerando as condições específicas brasileiras, foi escolhido o digestor anaeróbio de fluxo ascendente, como sistema a ser desenvolvido e adaptado para o tratamento de esgotos domésticos, conforme é relatado neste trabalho.

### 3 — DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA REALIZADA NA CETESB

Um reator de fluxo ascendente e manto de lodo de 106 l de capacidade útil, foi projetado especialmente para o tratamento de esgotos, construído em PVC e operado continuamente com esgoto pré-decantado, durante cerca de sete meses. O esquema do reator é mostrado na figura 2. O esgoto era proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos da Sabesp, em Pinheiros. A temperatura de operação foi controlada em 35°C, recirculando água aquecida por uma serpentina que envolve o reator. Utilizou-se como inóculo, apenas no início da experiência, lodo digerido, também da ETE-Pinheiros.

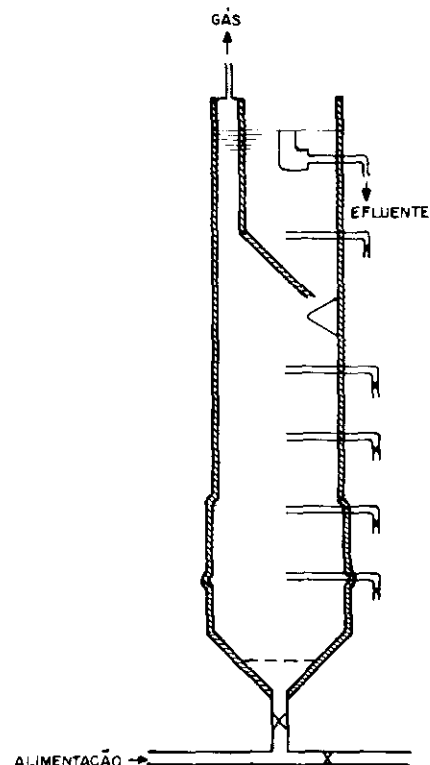


Figura 2 — Reator de fluxo ascendente de manto de lodo utilizado para o tratamento de esgoto doméstico.

Foram efetuadas medidas diárias da produção de gases, do pH e da temperatura. As análises físico-químicas foram realizadas três vezes/semana, em amostras compostas coletadas de hora em hora, das 8 h às 17 h. Para as análises microbiológicas eram coletadas amostras instantâneas. Foram efetuadas, ainda, determinações de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio), em amostras da alimentação e do efluente, coletadas de hora em hora, durante 24 horas. Todas as determinações analíticas foram efetuadas segundo os métodos descritos pelo "Standard Methods"<sup>1</sup>.

Durante a maior parte da experiência, o reator foi operado com uma vazão de esgoto correspondente a um tempo de detenção hidráulico de apenas 4 (quatro) horas. Em particular, este foi o tempo de detenção utilizado durante todo o período considerado como de regime estacionário, relativamente ao qual foram calculados os valores médios de eficiência do processo.

#### 4 — APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS

##### 4.1 — DBO, DQO, sólidos em suspensão e pH

A figura 3 apresenta a variação das características físico-químicas (DBO, DQO e sólidos em suspensão) determinadas durante todo o transcorrer da experiência, em relação ao esgoto e ao efluente final. Pode-se observar que durante os últimos 55 dias da experiência houve uma estabilização dos resultados. Este período foi considerado como de regime estacionário, e durante o mesmo, o tempo de detenção hidráulico foi de quatro horas.

A tabela 1 indica as eficiências médias de remoção de DBO, DQO e sólidos, obtidas durante o regime estacionário, e a tabela 2 indica os valores médios destes parâmetros e do pH, para o esgoto alimentado e para o efluente do sistema, também durante o regime estacionário.

Considerando-se que o digestor foi operado com esgoto decantado (que já sofreu uma remoção de cerca de 30% da DBO, em relação ao esgoto bruto), obteve-se uma excelente remoção de DBO, de 72% em média.

Assim, pode-se prever que se o digestor for alimentado com esgoto bruto, que não tenha sofrido prévia decantação, o digestor deverá apresentar remoção de DBO superior a 80%. Este teste será efetuado a seguir, como continuidade dos estudos.

Da mesma forma, foram bastante elevadas as eficiências de remoção de

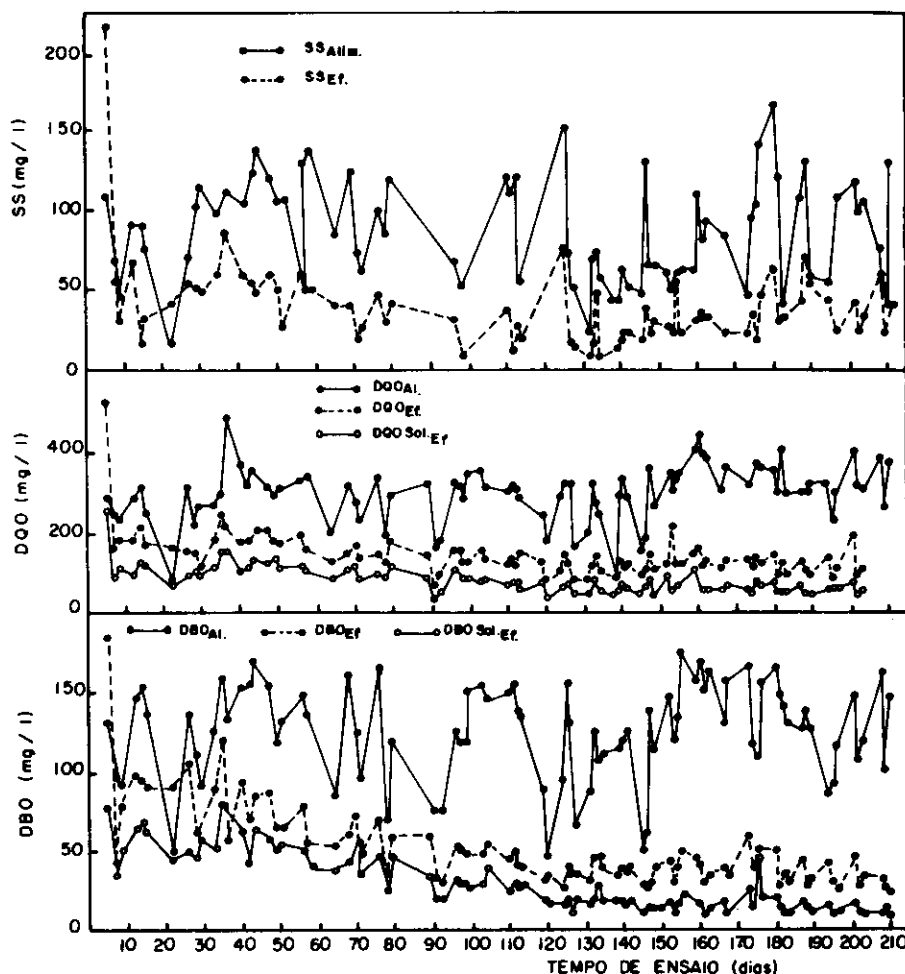


Figura 3 — Características físico-químicas do esgoto de alimentação e do efluente do processo determinadas durante o ensaio.

Tabela 1 — Remoções médias de carga orgânica e de sólidos em suspensão obtidas durante o regime estacionário

Remoção de DBO no efluente total	72%
Remoção de DBO no efluente filtrado	88%
Remoção de DQO no efluente total	65%
Remoção de DQO no efluente filtrado	83%
Remoção de SS	61%

Tabela 2 — Médias das determinações das características físico-químicas da alimentação e do efluente durante o regime estacionário

	ALIMENTAÇÃO (ESGOTO DECANT.)	EFLUENTE
DBO (mg/l)	137	38
DBO Sol. (mg/l)	-	16
DQO (mg/l)	341	119
DQO Sol. (mg/l)	-	59
SS (mg/l)	88	34
pH	7,0	6,9

DQO (65%) e sólidos em suspensão (61%). Observe-se ainda que, considerando-se o efluente filtrado, as remoções de DBO e DQO foram mais ele-

vadas ainda (88% e 83%, respectivamente).

O efluente final do sistema é de boa qualidade, contendo apenas 38 mg/l

de DBO (16 mg/l se considerarmos o efluente filtrado), e 34 mg/l de sólidos em suspensão. No entanto, evidentemente, o efluente não possui oxigênio dissolvido. O pH do efluente situa-se na faixa neutra, em torno de 7.

#### 4.2 — Produção e composição dos gases

A figura 4 indica as medidas de produção de gases efetuadas e as tabelas 3 e 4 mostram as médias, respectivamente, de produção e composição dos gases, durante o regime estacionário.

O fator de produção de gás atingido foi de 118 l de gás seco a CNTP por kg de DQO adicionado, em média. O mínimo atingido foi de 88 e o máximo 180, durante o regime estacionário.

Com relação ao volume de esgoto tratado, o fator foi de 39 l de gás seco, a CNTP, por m<sup>3</sup> de esgoto tratado, apresentando pequena variação, mesmo quando ocorria diminuição da vazão de alimentação. Esta produção de gás é função da carga orgânica do resíduo tratado. Operando-se com esgoto bruto, este fator será bem mais elevado, devendo atingir 140 l de gás/m<sup>3</sup>/esgoto, ou o correspondente a cerca de 30 l de gás por habitante, por dia.

A composição do gás foi de 75% de metano e 5% de gás carbônico, sendo o restante praticamente de nitrogênio. Estes valores são bastante diferentes daqueles normalmente obtidos na digestão anaeróbia de lodos de esgoto (65% de metano e 35% de gás carbônico). Isto se deve à dissolução do gás carbônico e de parte do metano produzidos, no líquido em digestão, com a consequente liberação de parte do nitrogênio que originalmente se encontrava dissolvido no esgoto.

Estão sendo iniciadas experiências que poderão permitir a obtenção de um gás contendo mais de 90% de metano.

#### 4.3 — Temperatura

A temperatura foi mantida em 35°C para evitar as bruscas variações que poderiam ocorrer neste reator em pequena escala. Num sistema real de tratamento, operando em clima temperado ou tropical, as variações são bem menores, podendo o reator operar sem controle de temperatura.

#### 4.4 — Características e quantidade do lodo formado

O reator, que foi parcialmente preenchido com lodo digerido, após seis meses de operação não apresentava ainda necessidade de retirada de lodo, apesar de os sólidos já terem atingido a metade do reator. Assim, na opera-

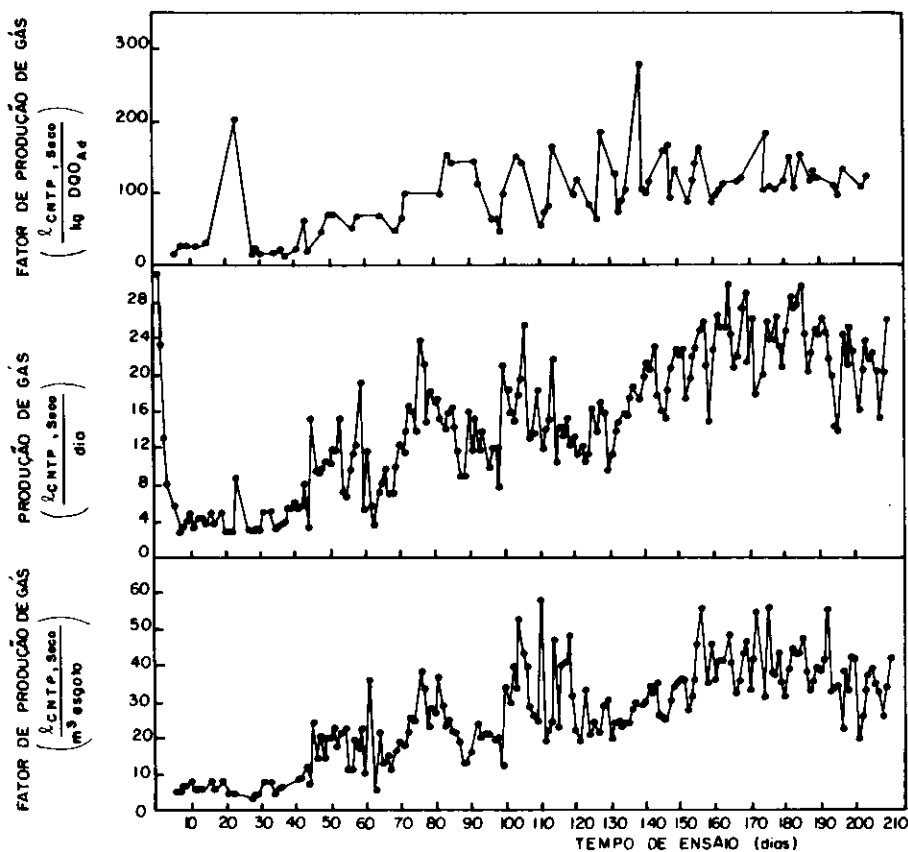


Figura 4 — Variação da produção de gás com o tempo de ensaio

Tabela 3 — Resultados de produção de gases durante o regime estacionário

PRODUÇÃO DE GÁS $\left(\frac{l_{CNTP,seco}}{dia}\right)$	23
FATOR DE PRODUÇÃO DE GÁS $\left(\frac{l_{CNTP,seco}}{m^3\ esgoto}\right)$	39
FATOR DE PRODUÇÃO DE GÁS $\left(\frac{l_{CNTP,seco}}{kgDQO\ ad.}\right)$	118

Tabela 4 — Composição do gás obtido da digestão do esgoto

CH <sub>4</sub>	75%
CO <sub>2</sub>	5%
N <sub>2</sub>	19%
O <sub>2</sub>	1%

ção com esgoto decantado, uma retirada de parte do lodo a cada seis meses deverá ser suficiente. Na operação com esgoto bruto esta frequência deverá ser maior.

O lodo digerido utilizado para iniciar o processo mostrou-se satisfatório. Após um período de três meses de operação o lodo já apresentava atividade intensa, proporcionando elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica. Gradativamente, durante o decorrer do ensaio, observou-se a formação de um lodo granulado de ótima atividade biológica e com boa decantabilidade, correspondente a índices volumétricos de lodo (IVL) de 25 ml/g.

A formação deste lodo foi o que permitiu o tratamento do esgoto, com apenas quatro horas de tempo de detenção, e com elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica e sólidos.

#### 4.5 — Efeitos de variações na concentração de matéria orgânica do esgoto

Ao longo do dia ocorrem variações na carga orgânica do esgoto afluente à estação. No entanto, o processo é capaz de absorver esta variação de carga, como é mostrado na figura 5. Num período de 24 horas, amostras da alimentação e do efluente, coletadas de hora em hora, foram analisadas. As duas determinações de DQO do efluente que apresentam comportamento irregular, indicam a ocorrência de falhas na análise. Observou-se que quando a carga orgânica da alimentação aumentou a porcentagem de remoção também aumentou, fazendo com que a DBO do efluente permanecesse na faixa de 25 a 62 mg/l, para variações na alimentação de 58 a 214 mg/l e que a DQO do efluente permanecesse entre 72 e 168 mg/l para variações na alimentação de 146 a 426 mg/l. Isto mostra a estabilidade e capacidade do processo em absorver cargas de choque que possam ocorrer na prática.

#### 4.6 — Eliminação de organismos patogênicos

Foi também avaliada a capacidade do sistema na remoção de Coliformes, como mostra a figura 6. O valor médio de 34 determinações na alimentação e no efluente indicou que a remoção de Coliformes Totais foi de 74% e a de Fecais de 70%, e que a quantidade existente no efluente é ainda muito alta (tabela 5).

#### 4.7 — Nutrientes e detergentes

Determinou-se a quantidade de nutrientes e de agentes tensoativos dos detergentes presentes na alimentação e no efluente. Como se esperava, praticamente não ocorreu variação de nitrogênio e fósforo total e observou-se

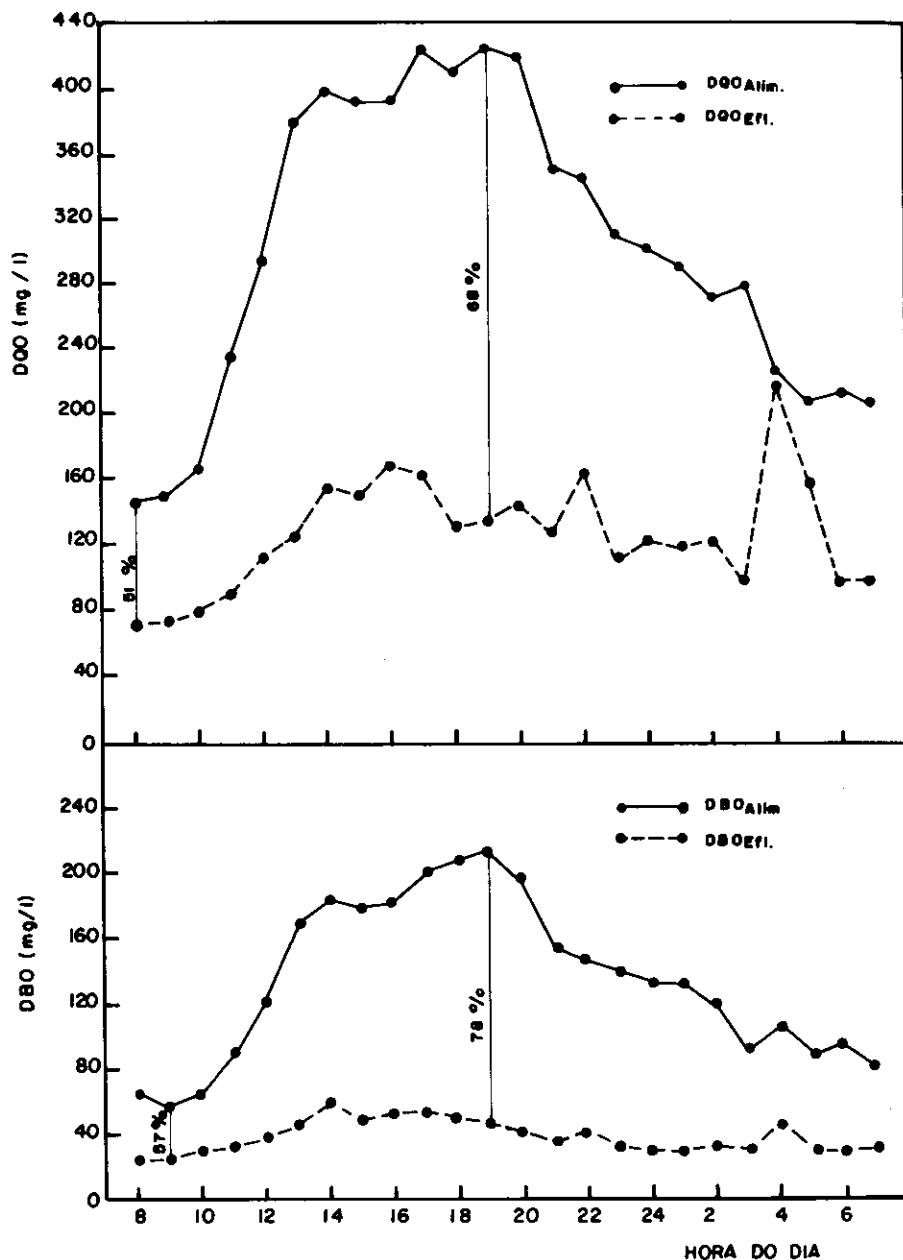


Figura 5 — Determinação da variação da carga orgânica no esgoto de alimentação e no efluente do processo, ao longo de 24 horas.

Tabela 5 — Médias de 34 determinações de NMP de Coliformes Totais e Fecais na alimentação e efluente durante o regime estacionário

	ALIMENTAÇÃO	EFLUENTE	REMOÇÃO
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	$7,3 \times 10^7$	$1,9 \times 10^7$	74%
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	$9,4 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	70%

um pequeno aumento do nitrogênio na forma amoniacal (tabela 6).

Quanto aos agentes tensoativos, determinados pela reação com azul de

metileno (MBAS), a remoção verificada foi bastante baixa, de cerca de 43%, não apresentando comportamento regular (tabela 7).

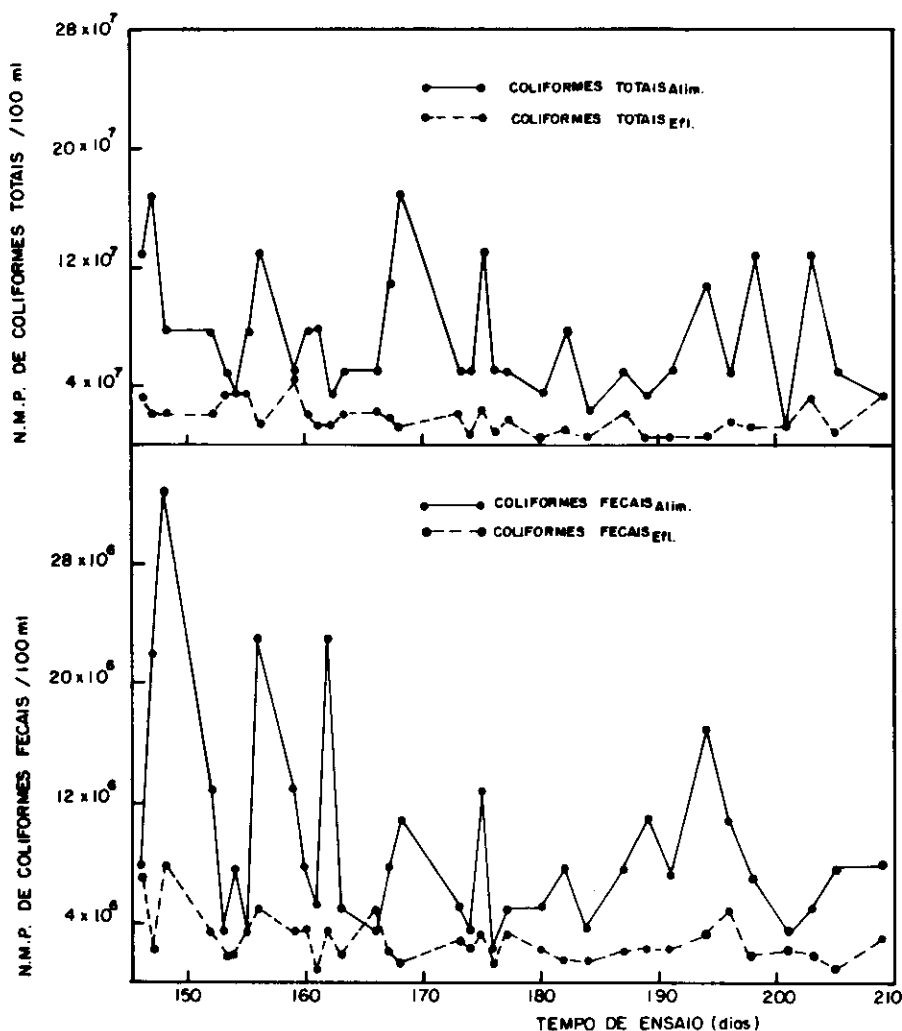


Figura 6 — Determinação do NMP de Coliformes Totais e Fecais na alimentação e no efluente, durante o regime estacionário.

Tabela 6 — Médias de cinco determinações de nitrogênio e fósforo na alimentação e efluente durante o regime estacionário

	ALIMENTAÇÃO	EFLUENTE
$N_T$ (mg/l)	35	39
$N_{NH_3}$ (mg/l)	15	21
$P_T$ (mg/l)	4,1	4,3

Tabela 7 — Médias de 14 determinações de MBAS (agentes tensoativos aniônicos detectados pelo método do azul de metileno) efetuadas na alimentação e efluente durante o regime estacionário

	ALIMENTAÇÃO	EFLUENTE	REMOÇÃO
MBAS (mg/l)	3,83	2,19	43%

## 5 — CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

O tratamento de esgoto em digestor de fluxo ascendente mostrou-se bas-

tante eficiente. Para esgoto decantado obtiveram-se 72% de remoção de DBO com apenas quatro horas de tempo de detenção, fornecendo um efluente com 38 mg/l de DBO no efluente filtrado.

Com o mesmo tempo de detenção, esperam-se mais de 80% de remoção de DBO, para o tratamento de esgoto bruto.

Comparado ao processo convencional de tratamento de esgotos de lodos ativados, esse sistema dispensa o decantador primário, o tanque de aeração, os compressores ou aeradores, o decantador secundário, o adensador, o digestor de lodo e as bombas de recalque. Tudo isto é substituído pelo digestor de fluxo ascendente (ver figura 7), o qual terá aproximadamente as mesmas dimensões do tanque de aeração do sistema de lodos ativados.

Em vista dessas considerações, o espaço necessário para implantação desses digestores é bastante reduzido, tornando-os vantajosos em regiões de alta concentração urbana ou onde a disponibilidade de terreno, ou o custo dos mesmos, impeça a utilização de lagoas de estabilização. Os digestores de fluxo ascendente devem ocupar áreas até 500 vezes menores que as lagoas.

O excesso do lodo é produzido em quantidade bem menor do que nos processos aeróbios e ainda se encontra na forma granulada, o que facilita o processo de desidratação.

Como a remoção de Coliformes Fecais é baixa, em algumas situações o efluente poderá necessitar desinfecção, de acordo com as características do corpo d'água receptor em que for lançado. Além disso, como o processo é anaeróbio, não existe oxigênio dissolvido no efluente obtido, podendo haver necessidade de aeração posterior antes de sua disposição final.

No entanto, ressalte-se que o processo remove, com elevadas eficiências, matéria orgânica e sólidos em suspensão dos esgotos, o que no caso brasileiro já é suficiente e altamente desejável, na maioria dos casos.

O processo constitui-se numa fonte importante de energia. Produz 38 l de biogás a CNTP, seco/m<sup>3</sup>/esgoto operando com esgoto decantado, devendo chegar a 140 l de biogás/m<sup>3</sup> de esgoto quando tratando esgoto bruto, o que equivale a 28 l de biogás/habitante/dia.

Para o tratamento dos esgotos de uma população de dez mil habitantes seria necessário um digestor de apenas 330 m<sup>3</sup> de volume, e se obteria uma produção de gases da ordem de 100 milhões de l/ano, os quais equivalem, por exemplo, a cerca de 75 mil l de diesel/ano.

Para testar o funcionamento dos digestores de fluxo ascendente em escala real estão sendo reprojctados e adaptados três tanques Imhoff, um em São Paulo de 650 m<sup>3</sup>, em convênio com a Sabesp, e outros de 1.500 m<sup>3</sup> e 200 m<sup>3</sup> em Campinas, em convênio com a Sanasa.

## 6 BIBLIOGRAFIA

- 1 — NORMA NBR - 7229 da ABNT. Construção e Instalação de Fossas Sêpticas e Disposição dos Efluentes Finais, março 1982.
- 2 — McCARTY, P.L. One hundred years of anaerobic treatment. Proceedings of the Second International Symposium on Anaerobic Digestion. **Anaerobic Digestion 1981**. Hughes, D.E. et al (ad.) Elsevier Press, Amsterdam, 1982.
- 3 — METCALF, L.; EDDY, H. P. (1915) **American Sewerage Practice**, III. Disposal of Sewage. 1st ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York. in: McCarty, P. L. in **Anaerobic Digestion 1981**. Hughes, D. E. et al (eds) Elsevier Press. Amsterdam, 1982.
- 4 — BUSWELL, A. M.; HATFIELD, W. D. (1930). Studies on Two-Stage Sludge Digestion, 1928-1929, State Water Survey, Bulletin n.º 29, State of Illinois, Urbana, Illinois in: McCarty P. L. in **Anaerobic Digestion 1981**. Hughes, D.E. et al (eds) Elsevier Press. Amsterdam, 1982.
- 5 — IMHOFF, K. (1938) "Sedimentation and Digestion in Germany" in: Pearse, L. (ed), Modern Sewage Disposal, Lancaster Press, Lancaster, Penn. p. 47 in: McCarty, P. L. in **Anaerobic Digestion 1981**. Hughes, D.E. et al (eds) Elsevier Press. Amsterdam, 1982.
- 6 — WINSLOW, C.E.A.; PHELPS, E. B. Investigation on the Purification of Boston Sewage. **Jour. Infect. Diseases**, 8, 3 Apr. 1911, in **Journal WPCF** 33 (10): 1045-49. 1961.
- 7 — COULTER, J. B.; SONEDA, S.; ETTINGER, M. B. Anaerobic Contact Process for Sewage Disposal. **Sewage and Industrial Wastes**, 29 (4): 468-77 Apr. 1957.
- 8 — FALL, E. B. Jr.; KRAUS, L. S. The Anaerobic Contact Process in Practice. **Journal WPCF**, 33 (10): 1038-45. Oct. 1961.
- 9 — SIMPSON, D. E. Investigations on a Pilot-Plant Contact Digester for the Treatment of a Dilute Urban Waste. **Water Research** 5: 523-32. 1971.
- 10 — PRETORIUS, W. A. Anaerobic Digestion of Raw Sewage. **Water Research** 5: 681-87. 1971.
- 11 — RAMAN, V.; CHAKLADAR, N. Up-flow Filters for Septic Tank Effluents. **Journal WPCF**, 44 (8): 1552-60. Aug. 1972.

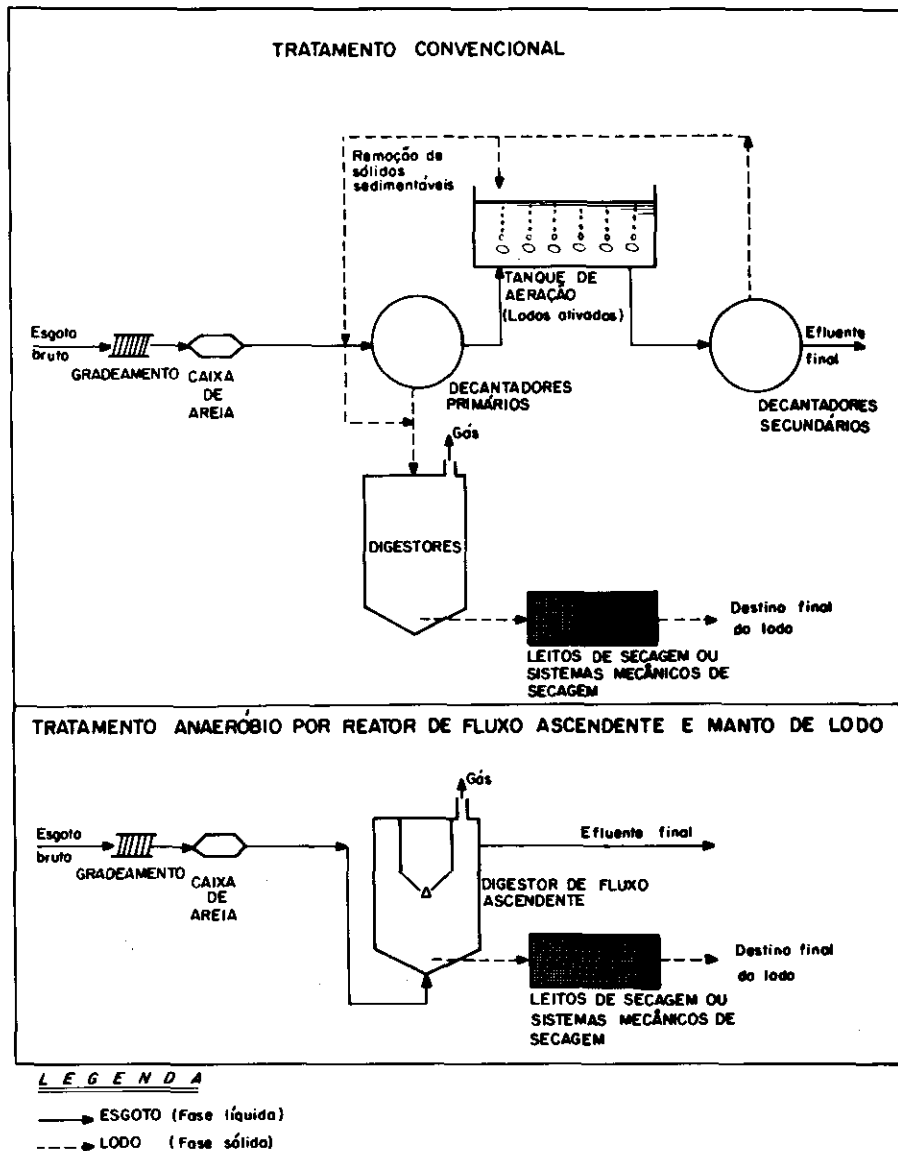


Figura 7 — Comparação entre o processo aeróbio convencional e o processo anaeróbio em reator de fluxo ascendente e manto de lodo, para o tratamento de esgotos.

- 12 — VIEIRA, S.M.M.; ALEM, P. S. Resultados de Operação e Recomendações para o Projeto de Sistemas de Decanto-Digester e Filtro Anaeróbio para o Tratamento de Esgotos Sanitários. **Revista do DAE** (135): 51-7. Dez. 1983.
- 13 — KOBAYASHI, H. A.; STENSTROM, M. K.; MAH, R. A. Treatment of Low Strength Domestic Wastewater Using the Anaerobic Filter. **Water Research** 17 (8): 903-9. 1983.
- 14 — GENUNG, R. K.; PITT, W. W.; DAVIS, G. M.; KOON, J. H. Energy Conservation and Scale-Up Studies for a Wastewater Treatment System Based on a Fixed-Film, Anaerobic Bioreactor. **Biotechnology and Bioengineering Symp.** (10): 295-316. 1980.
- 15 — LETTINGA, G.; Van VELSEN, A.F.M.; HOBMA, S. W.; ZEEUW, W. Use of the Upflow Sludge Blanket (USB)

Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Especially for Anaerobic Treatment. **Biotechnology and Bioengineering** 22 (4): 699-734. Apr. 1980.

- 16 — LETTINGA, G.; ROERSMA, R.; GRIN, P. Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient Temperatures Using a Granular Bed UASB Reactor. **Biotechnology and Bioengineering** 25: 1701-23, 1983.
- 17 — JEWELL, W. J.; SWITZENBAUM, M. S.; MORRIS, J. W. Municipal Wastewater Treatment with the Anaerobic Attached Microbial Film Expanded Bed Process. **Journal WPCF** 53 (4) 482-90, Apr. 1981.
- 18 — "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 15th Ed. Amer. Public Health Assoc., Amer. Water Works Assoc., Water Poll. Control Fed., Washington, D. C.