

# Pré-tratamento de lodo de tanques sépticos mediante flotação, antes do lançamentos em ETEs

## *Pre-treatment of sludge from septic tanks by flotation, before to release in WWTP*

**Nayara Batista Borges (\*)**

*Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo – Escola Engenharia de São Carlos*

**José Roberto Campos**

*Engenheiro Civil pela Universidade de São Paulo. Professor titular da Universidade de São Paulo – Escola Engenharia de São Carlos*

**Endereço para correspondência (\*):**

*Avenida trabalhador são-carlense, 400, CEP: 13566-590, São Carlos – SP/Brasil \_ E-mail: naybatista@yahoo.com.br*

**Data de Entrada:** 25/10/2010 **Data de Aprovação:** 27/06/2011

### RESUMO

O lodo proveniente de tanques sépticos contém elevada concentração de sólidos suspensos, óleos e graxas, matéria orgânica, fragmentos fibrosos, grosseiros e patogênicos. Geralmente, em algumas regiões ou cidades, esse tipo de lodo é lançado sem os cuidados adequados em estações de tratamento de esgoto (ETEs), podendo ocasionar sobrecarga nas mesmas. O presente trabalho tem como objetivo a concepção, o desenvolvimento e a avaliação de uma unidade piloto para pré-tratamento de lodo de tanques sépticos. Essa unidade, constituída por gradeamento, desarenação e flotação, foi instalada no Campus da Universidade de São Paulo em São Carlos – SP – Área 1, junto da sua Estação de Tratamento de Esgoto, e visa à remoção de sólidos grosseiros, areia e materiais flutuantes, agindo como pré-tratamento, além de proporcionar o adensamento do lodo. A instalação piloto foi operada com diferentes taxas de aplicação superficial (80; 110; 140 e 200 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>), sendo que os melhores resultados foram alcançados com a condição de 110 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, quando foram obtidas remoções de 91,7% de sólidos suspensos; 89,3% de DQO e 81,9% de óleos e graxas; sem a adição de produtos químicos. Os dados obtidos demonstraram que o sistema de flotação foi eficiente na remoção de DQO, de óleos e graxas e de sólidos suspensos. Também, foi avaliada a potencialidade de se efetuar a degradação do material flotado pelos processos anaeróbio e aeróbio. A digestão aeróbia do lodo flotado mostrou-se eficiente quando foi aplicado inóculo e com período de aeração superior a 20 dias, sendo que foram obtidas eficiências de 88,3% e 90,0% para remoção de DQO e de óleos e graxas, respectivamente.

### ABSTRACT

The septic sludge contains high concentrations of suspended solids, oils and greases, organic material and pathogenics. Generally, in some regions or cities, this kind of sludge is dis-

charged without the appropriate care in Wastewater Treatment Plants (WWTP), which may lead to overload on them. The objective of this research was to design, construct and evaluate a treatment pilot plant to be used for prior treatment of the sludge generated in septic tanks. This pilot plant, composed by a sieve, a degritter, and flotation devices, was assembled in the São Paulo University Campus in São Carlos – SP – Área 1, near the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of this Campus. It had the purpose to remove suspended solids, sand and the floating material before their entry in the Wastewater Treatment Plant. The pilot plant was managed to work at different surface rates (80; 110; 140 and 200 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>). The 110 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> rate displayed the highest removal efficiency, reaching 91.7% of suspended solids, 89.3% of the Chemical Oxygen Demand, and 81.9% of oils and greases; without addition chemicals. The results showed the applicability of this system in removing suspended solids, oils and greases. Additionally, it was evaluated the capability of degrade the floated material by aerobic or anaerobic processes. The aerobic digestion of the floated material was efficient when it received previous inoculation and aeration period greater than 20 days, which allowed COD removal of 88.3% and 90% of oils and greases.

**Palavras-chave:** lodo de fossa e tanque séptico; pré-tratamento de lodo; flotação; degradação anaeróbia; degradação aeróbia

**Key words:** aerobic digestion; flotation; treatment of septic tanks sludge, sludge thickening

### INTRODUÇÃO

Os tanques sépticos são sistemas de pequeno porte utilizados para tratamento parcial do esgoto sanitário produzido em áreas urbana e rural, quando não beneficiadas por sistema de esgotamento sanitário. Foram uma das primeiras unidades idealizadas para tratamento de esgoto e até hoje são extensivamente empregadas. Com base em dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007), cerca de 37,68% da população urbana e 63,72% da população rural, no Brasil, utilizam-se de fossa ou tanque séptico; portanto cerca de 80.000.000 de habitantes.

Observa-se no país a significativa utilização de tais unidades, porém, devido à falta de monitoramento das mesmas e do lodo gerado, as condições operacionais e o destino dos resíduos de limpeza são geralmente problemáticos. O lodo acumulado no interior dos tanques sépticos deve ser removido periodicamente, visando manter a eficiência do sistema. De maneira quase generalizada, a limpeza dessas unidades processa-se de forma desordenada e sem controle.

O lodo retirado dos tanques sépticos tem composição bastante

heterogenea e variável, dependendo do afluente e da concepção das unidades. Cerca de 75% dos sólidos são constituídos de matéria orgânica degradável, com grande quantidade de micro-organismos provenientes de fezes humanas e com elevada probabilidade de ocorrência de patógenos. A adição de efluentes industriais, por sua vez, pode incluir, ainda metais e outros componentes distintos daqueles decorrentes do esgoto doméstico (METCALF e EDDY, 1991).

Onde possível, o lodo proveniente das limpezas dos tanques sépticos é lançado em ETEs, e, nos outros casos, as principais formas de disposição são: lançamento direto em rios, ou aplicação na agricultura sem o devido controle (LEITE et al., 2006). Há pouca informação sobre a potencialidade do uso do tratamento preliminar, responsável pela remoção da areia, sólidos grosseiros, óleos e graxas. Tais materiais, quando lançados em ETEs podem causar uma série de agravantes, tais como: aumento dos custos de operação e de manutenção dos equipamentos devido à presença de materiais abrasivos, fibras, trapos; comprometimento do funcionamento das etapas do tratamento; aumento na geração de lodo; e redução da eficiência das ETEs.

### Pré-tratamento de lodo de tanque séptico

O presente trabalho tem como proposta o pré-tratamento do lodo proveniente de tanques sépticos, visando a remoção de sólidos grosseiros, areia, material particulado e óleos e graxas, mediante a aplicação de flotação por microbolhas. Como é uma proposta inédita, a concepção da unidade piloto utilizada na pesquisa foi baseada em conceitos aplicados a esgoto sanitário, adaptando-os para o despejo em questão. Ressalta-se que lodo de tanques sépticos tem particularidades distintas do esgoto bruto, pois contém elevado teor de sólidos suspensos e grosseiros e maiores quantidades de fibras, trapos e, às vezes, de detritos abrasivos, que podem causar danos em componentes eletromecânicos das ETEs. Tal resíduo não deve ser lançado em ETEs, sem o devido tratamento preliminar, composto, no mínimo, por gradeamento, com aberturas entre barras da ordem de 1,0 cm.

A proposta de se utilizar flotação de lodo de tanques sépticos, da forma aqui tratada, não foi encontrada pelos seus autores na literatura técnica. Dessa forma, a abordagem da presente pesquisa, estabeleceu-se em casos em que há necessidade de se reduzir a carga de DBO, de DQO ou sólidos em Estações de Tratamento de Esgoto, ou quando deseja-se promover o pré-adensamento do lodo, visando posterior desaguamento (com ou sem digestão). O pré-desaguamento do lodo com flotação também pode beneficiar soluções baseadas em cenários em que se deseja efetuar sua posterior compostagem ou co-disposição. Com relação a forma de se obter a flotação de resíduos em geral, recentemente, tem se utilizado a geração de bolhas empregando-se dispositivos especiais, como bombas multifásicas, em substituição aos sistemas de saturação tradicionais (câmaras de saturação).

As vantagens desse tipo de equipamento, em relação aos usuais (associados à compressores de ar e câmara de saturação) são: (i) alta eficiência, fornecendo grande massa de ar por unidade de volume na recirculação; (ii) eliminação da necessidade do

uso de câmaras de saturação; (iii) o suprimento do ar pode ser efetuado mediante compressores de baixa pressão ou a partir do próprio ar atmosférico (não necessita de compressores). Em contrapartida, as desvantagens são: (i) podem resultar bolhas com dimensões maiores, em decorrência do possível excesso de ar fornecido; (ii) maior requerimento de potência; (iii) pode reduzir a efetividade da bomba com o tempo, devido ao possível desgaste causado por partículas sólidas (ROSS, SMITH e VALENTINE, 2000).

Lee C.H et al. (2007), por exemplo, realizaram estudo em uma unidade de Flotação por Ar Dissolvido (FAD) com capacidade de  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , aplicada à pré-clarificação de água para abastecimento com objetivo de avaliar o desempenho de uma bomba (DAF 40 Shin Shin Pump Inc. Korea) na geração de microbolhas de ar. O sistema foi aplicado para águas que apresentavam diferentes valores de turbidez, buscando-se, dessa forma, determinar o melhor desempenho operacional, avaliando-se taxas de recirculação e condições de operação da bomba. Os autores chegaram às seguintes conclusões: (i) em condições de operação otimizadas, a vazão de ar deve ser de 8% a 10% da vazão de água e a taxa de recirculação de 30%, para pressão de 5,1 atm; (ii) a fração de ar quando se usa ar “dissolvido” pela ação da bomba, devido ao menor tempo de contato entre a água e ar, é menor que a câmara de saturação; (iii) a fração de bolhas menores que 70  $\mu\text{m}$  em todas as medidas foi superior a 97%; (iv) a bomba tem controles simplificados, não sendo necessária a utilização de compressor de ar e câmara de saturação.

O estudo objeto deste artigo, envolveu a concepção, o desenvolvimento e a avaliação de uma unidade de pré-tratamento de lodo de tanque séptico, constituída de gradeamento, desarenação e flotação, visando a remoção de sólidos grosseiros, areia e óleos e graxas, bem como o adensamento do lodo. Também, foi avaliada a potencialidade de se efetuar a degradação do material flotado pelos processos anaeróbio ou aeróbio.

É importante mencionar o fato de que o presente projeto fez parte de uma Rede Nacional de Pesquisas, com o objetivo de estudar a Caracterização, o Tratamento e a Disposição de Lodo Proveniente de Fossas Sépticas, no Âmbito do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, buscando avanços em conhecimento e a inclusão de aspectos originais. Trata-se do Convênio entre a Financiadora de Estudo e Projetos (FINEP) e a Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial (FIPAI), relativos ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, EDITAL 5, TEMA 6 e desenvolvida pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos/EESC- USP nesse contexto (PROSAB).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Sistema experimental para pré-tratamento de lodo de tanques sépticos

O sistema experimental de pré-tratamento (Figura 1) é composto por medição de vazão, gradeamento, desarenação e flotação. Foi instalado no Campus da Universidade de São

Paulo em São Carlos-SP – Área 1 , junto a sua Estação de Tratamento de Esgoto.

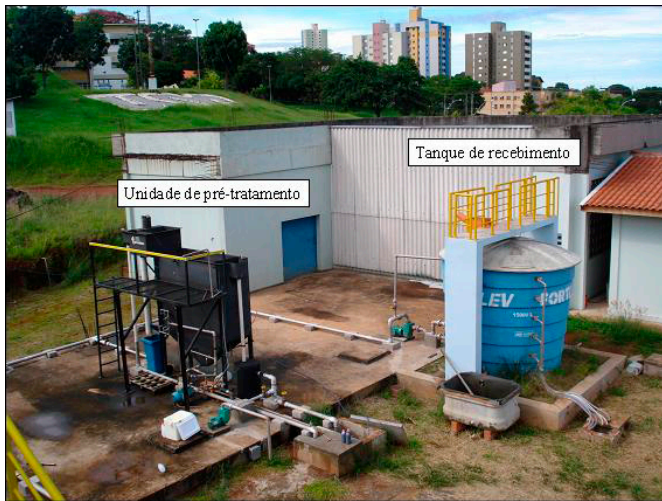
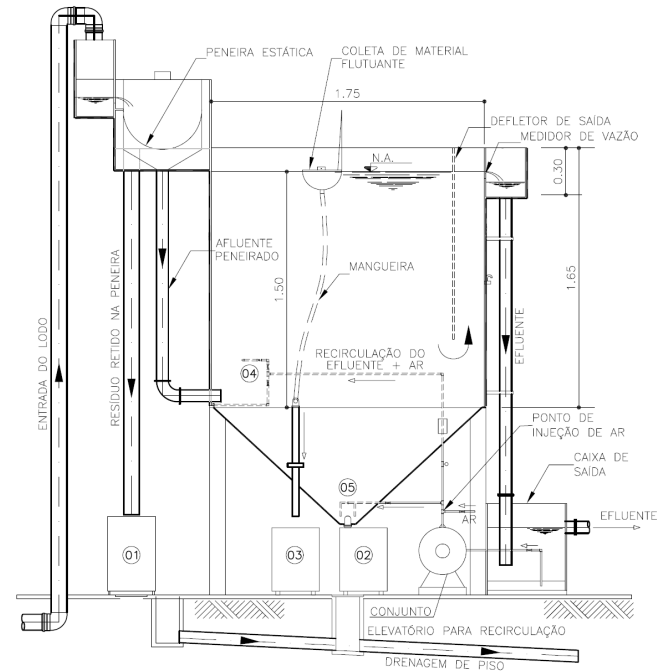


Figura 1 – Foto do sistema experimental: unidade de pré-tratamento e tanque de recebimento

A alimentação da unidade de pré-tratamento com lodo proveniente dos caminhões limpa-fossa era feita após homogeneização do material num tanque de recebimento de 15 m<sup>3</sup>, o qual dispunha de uma placa com furos em sua parte superior, para remoção de sólidos grosseiros, com tamanho superior a 5,0 cm. Após passar pela placa, o despejo do tanque era recalcado até a unidade de pré-tratamento por bomba centrífuga, auto-escovante, que admitia ajustes de vazão mediante o uso de inversor de frequência.

Na unidade experimental ocorria a retenção de sólidos grosseiros numa peneira fina inclinada, do tipo estática, com espaçamento entre barras de 1,0 cm. O material retido na peneira era removido manualmente e direcionado para recipiente de acúmulo. Finalmente, o lodo era encaminhado para unidade de flotação/desarenação.

A unidade de flotação/desarenação foi dimensionada com volume útil de 2,50 m<sup>3</sup>, (incluindo a zona de acúmulo de material sedimentado), largura de 0,70 m, comprimento de 1,75 m e altura útil de 1,65 m. Foi concebida sem câmara de saturação, pois nessa configuração, incluindo os acessórios, certamente apresentaria problemas operacionais e de manutenção, face às características do lodo. Para redução de custos não foi efetuada aplicação de qualquer produto químico na unidade. Na Figura 2 está apresentado o esquema do sistema de pré-tratamento. O ar utilizado na unidade piloto era aplicado na canalização de sucção do conjunto elevatório de recirculação, através de mangueira de Poliuretano com diâmetro interno 2,4 mm, conectada ao compressor central, que atendia todas as demandas da Estação de Tratamento de Esgoto do Campus



LEGENDA

- 01 – RECEPTOR PARA SÓLIDOS GROSSEIROS
- 02 – RECEPTOR PARA MATERIAL SEDIMENTADO
- 03 – RECEPTOR PARA MATERIAL FLOTADO
- 04 – ZONA DE LIBERAÇÃO DE MICROBOLHAS (TUBOS PERFURADOS)
- 05 – RECIRCULAÇÃO PARA AGITAÇÃO DO MATERIAL SEDIMENTADO

Figura 2 – Desenho esquemático da instalação piloto para remoção de areia e material flotado

(compressor este com capacidade bastante superior a demanda total). A vazão de ar era mensurada por um micros sensor (HONEYWELL - modelo AWM5104VN), com capacidade para medir vazão até 1200 L.h<sup>-1</sup>, e controlada mediante registro de agulha na linha de alimentação de ar.

A pressão desejada na recirculação era ajustada mediante válvulas de esfera e monitorada por manômetro, no recalque, e vacuômetro, na canalização de sucção. Por sua vez, a medição da vazão afluyente era realizada por meio de vertedor triangular de parede delgada, com leitura da lâmina líquida em régua graduada. O material flotado era removido por um coletor de lodo superficial, com acionamento manual e direcionado para recipiente de acúmulo conduzido por mangueira interna ao flotor. O resíduo sedimentado (areia + detritos), por sua vez, era removido por descargas de fundo, com abertura e fechamento de registro, encaminhando-o para recipiente de acúmulo.

Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros operacionais para os ensaios realizados. A duração de cada ensaio foi estabelecida como sendo cinco vezes o tempo de detenção hidráulica, pois antes de se atingir esse período já se constatava a estabilização da operação.

Tabela 1 – Parâmetros empregados para realização dos ensaios

Taxa de aplicação superficial (m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	Vazão		Tempo de detenção hidráulica (min)	Duração do ensaio (min)
	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	L.s <sup>-1</sup>		
80	4,43	1,23	33,8	169
110	6,10	1,69	24,6	123
140	7,76	2,16	19,3	97
200	11,08	3,08	13,5	68

Diante da escassez de referências na literatura técnica, acerca do uso de flotação para lodo de tanques sépticos, optou-se por utilizar como primeira e grosseira aproximação a fórmula usual (baseada na Lei de Henry) para projeto de flotação por ar dissolvido para esgoto sanitário (METCALF E EDDY, 1991). Adotaram-se, em princípio, os seguintes parâmetros para estimativa de vazão de recirculação: sólidos suspensos: 3000 mg.L<sup>-1</sup>; razão de ar/sólidos: 0,03; solubilidade do ar na temperatura de 20 °C: 18,7 mL.L<sup>-1</sup>; pressão absoluta: 5 atm e fração de ar dissolvido 0,5. Na Tabela 2 estão apresentados os valores das referidas vazões utilizadas nos ensaios.

$$\frac{A^*}{S} = \frac{1,3Sa \times (f \times P - 1) \times R}{Ss \times Q} \quad \text{EQ (1)}$$

Em que:

- A\*: a fração de ar;
- A/S: razão ar/sólidos (mg.mg-1);
- Sa: solubilidade do ar na água aplicada na temperatura do efluente (mL.L-1);
- f: fração de ar dissolvido à pressão P;
- P: pressão absoluta (atm);
- Ss: sólidos suspensos (mg.L-1);
- R: vazão de recirculação da água saturada (m3.dia-1);
- Q: vazão de lodo de tanques sépticos (m3.dia-1);

**Tabela 2 – Vazões utilizadas nos ensaios**

Taxa de aplicação superficial (m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	Vazão de recirculação (L.h <sup>-1</sup> )	Vazão afluente (L.h <sup>-1</sup> )	Vazão de ar (L.h <sup>-1</sup> )
80	2956	1478	144
110	4064	2032	198
140	5172	2586	251
200	7389	3694	359

A rigor, a Equação 1 não se aplica com precisão para projetos de flotação com essa concepção (sem câmara de saturação); ela aplica-se a casos de flotação por ar dissolvido convencional, que não é o caso. Na configuração proposta nesta pesquisa, a flotação ocorre não só por ar dissolvido/precipitado, mas também por microbolhas produzidas pela fragmentação de bolhas grandes geradas pela introdução de ar na sucção da bomba de recirculação. Portanto, não se devem elaborar projetos de unidades em escala plena somente com base nessa fórmula. Essa fórmula foi utilizada apenas para se ter ponto de partida para adoção de parâmetros operacionais preliminares, o que foi seguido por alguns testes de campo, antes de se adotarem as taxas de aplicação superficial que foram objeto da pesquisa.

Também adotou-se, inicialmente, concentração de sólidos suspensos no afluente como sendo da ordem de 3000 mg. L<sup>-1</sup>, porém a faixa de variação desse parâmetro é extremamente ampla no caso de lodo de fossas e de tanques sépticos de diferentes origens.

Na Figura 3 estão apresentados os locais em que foram coletadas amostras para realização das análises. Eram efetuadas três coletas durante as horas de operação relativa a cada ensaio, após o sistema alcançar o regime dinâmico de equilíbrio. A seguir, as mesmas eram encaminhadas a laboratório, onde era preparada a amostra composta.



**Figura 3 – Locais de coleta das amostras: entrada da unidade (a), saída da unidade (b) e material flotado (c)**

Foram monitoradas as seguintes variáveis do afluente, do efluente e do lodo flotado: DQO, série de sólidos, óleos e graxas, metais, Coliformes totais, Coliformes fecais, nitrogênio Kjeldahl total e fosfato total. O material retido na peneira era secado em estufa, a 60°C, para posterior análise granulométrica, com peneiras de aberturas de 2,0 cm; 1,0 cm; 0,5 cm; 0,2 cm e 0,1 cm.

Com intuito de remover “impurezas” contidas na areia sedimentada na unidade (antes do seu descarte), ao final de cada etapa de operação, fazia-se a aplicação de ar na parte inferior da unidade piloto, durante 10 minutos. Em seguida, procedia-se a coleta de amostras de resíduo sedimentado para quantificação da areia (determinação de sólidos totais).

### Testes complementares para avaliação da potencialidade de degradação biológica do lodo flotado

Com intuito de avaliar, de forma expedita e preliminar, a degradação do lodo flotado na unidade de pré-tratamento, foram realizados, também, dois testes biológicos complementares distintos: um empregando processo aeróbio e outro anaeróbio. No processo aeróbio, as variáveis avaliadas foram óleos e graxas e DQO, para amostras extraídas nos diferentes ensaios e suas respectivas taxas de aplicação superficial na unidade de pré-tratamento, ou seja:  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ ,  $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$  e  $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ . Inicialmente, para as duas primeiras taxas, optou-se pela aeração do lodo flotado (cerca de 700 mL de amostra contida num frasco de 1000 mL). A instalação foi mantida à temperatura ambiente (20 a 24 C), por 11 dias, com aeração ininterrupta. Em intervalos pré-determinados, amostras parcialmente digeridas foram coletadas e avaliadas. Posteriormente, optou-se também pela inoculação com cerca de 200 mL de lodo oriundo do Tanque de Aeração da Estação de Tratamento das Flores de Rio Claro – SP, preservando a mesma quantidade de lodo a ser digerido, mas estendendo-se o período de reação para 19 dias.

Para o teste em ambiente anaeróbio, por sua vez, amostras com cerca de 200 mL de lodo flotado foram inseridas em frascos de Duran de 500 mL,, conforme observado na Figura 4, os quais foram lacrados para avaliação da formação de gases em seu

interior, mediante observação do deslocamento de líquido em frasco controle. Os recipientes foram mantidos a temperatura ambiente, com extração de amostras digeridas após 11 dias. Foi avaliada a digestão do resíduo proveniente dos ensaios com as três diferentes taxas de aplicação superficial ( $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ ,  $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$  e  $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ ).

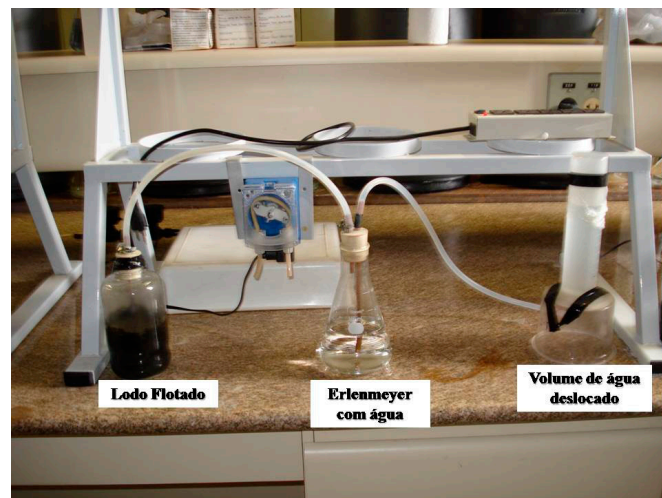


Figura 4 – Montagem experimental para estudo da degradação anaeróbia do lodo flotado

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 3 a 6 estão apresentados os principais resultados de análises e de determinações relacionados com ensaios com o sistema piloto de flotação. Nessas Tabelas, encontram-se os resultados pertinentes ao lodo afluente, efluente da unidade e lodo flotado, bem como a eficiência do sistema para as diferentes taxas de aplicação superficial selecionadas.

Tabela 3 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ , no tanque de flotação

Parâmetros	Entrada	Saída	Flotado	Eficiência de remoção (%)
N- total (mg.L <sup>-1</sup> )	85	67	1892	21,6
Sólidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	1.596	877	61.830	45,1
Sólidos totais fixos (mg.L <sup>-1</sup> )	649	383	24.805	41,0
Sólidos totais voláteis (mg.L <sup>-1</sup> )	947	494	37.025	47,8
Sólidos suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	1.123	502	60.203	55,2
Sólidos suspensos fixos (mg.L <sup>-1</sup> )	430	147	24.455	65,7
Sólidos suspensos voláteis (mg.L <sup>-1</sup> )	693	355	35.748	48,7
Óleos e graxas (mg.L <sup>-1</sup> )	193	87	7.243	54,9
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	1.400	606	71.650	56,7
Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	7	6	273	14,2
Zn (mg.L <sup>-1</sup> )	1.402	0,54	64,5	61,5
Pb (mg.L <sup>-1</sup> )	0,58	0,42	5,75	27,6
Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	0,056	0,044	0,178	21,4
Ni (mg.L <sup>-1</sup> )	0,166	0,134	1,4	19,3
Fe (mg.L <sup>-1</sup> )	41,2	14,96	1632	63,7
Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	0,533	0,325	24,55	39,0
Cu (mg.L <sup>-1</sup> )	0,574	0,213	24,55	62,9
Cr (mg.L <sup>-1</sup> )	0,154	0,123	1,361	20,1
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	$1,82 \times 10^5$	$1,32 \times 10^5$	$5,6 \times 10^6$	< 1 log
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	$2,2 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$2,0 \times 10^6$	< 1 log

**Tabela 4 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de 110 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, no tanque de flotação**

Parâmetros	Entrada	Saída	Flotado	Eficiência de remoção (%)
N- total (mg.L <sup>-1</sup> )	506	261	833	48,5
Sólidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	7.535	1.372	17.201	81,8
Sólidos totais fixos (mg.L <sup>-1</sup> )	3.138	625	6.763	80,1
Sólidos totais voláteis (mg.L <sup>-1</sup> )	4.397	747	10.438	83,0
Sólidos suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	6.650	550	16.605	91,7
Sólidos suspensos fixos (mg.L <sup>-1</sup> )	2.193	248	6.655	88,7
Sólidos suspensos voláteis (mg.L <sup>-1</sup> )	4.458	303	9.950	93,2
Óleos e graxas (mg.L <sup>-1</sup> )	581	105	2.101	81,9
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	7.250	778	19.233	89,3
Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	74	51	153	31,3
Zn (mg.L <sup>-1</sup> )	8,932	3,265	27,73	63,4
Pb (mg.L <sup>-1</sup> )	0,4	0,15	0,85	62,5
Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	0,034	0,024	0,044	29,4
Ni (mg.L <sup>-1</sup> )	0,211	0,073	0,388	65,4
Fe (mg.L <sup>-1</sup> )	225	25,1	599	88,8
Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	1,77	0,231	10	86,9
Cu (mg.L <sup>-1</sup> )	1,389	0,159	9,88	88,6
Cr (mg.L <sup>-1</sup> )	0,148	0,03	0,365	79,7
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	1,64 x 10 <sup>5</sup>	4,2 x 10 <sup>4</sup>	1,6 x 10 <sup>6</sup>	1 log
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	1,4 x 10 <sup>4</sup>	1,0 x 10 <sup>3</sup>	7,0 x 10 <sup>5</sup>	1 log

**Tabela 5 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de 140 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, no tanque de flotação**

Parâmetros	Entrada	Saída	Flotado	Eficiência de remoção (%)
N- total (mg.L <sup>-1</sup> )	439	287	1.707	34,6
Sólidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	6.346	2.899	41.939	54,3
Sólidos totais fixos (mg.L <sup>-1</sup> )	2.701	1.240	15.088	54,1
Sólidos totais voláteis (mg.L <sup>-1</sup> )	3.645	1.659	26.851	54,5
Sólidos suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	5.612	2.318	38.588	58,7
Sólidos suspensos fixos (mg.L <sup>-1</sup> )	2.270	915	13.625	59,7
Sólidos suspensos voláteis (mg.L <sup>-1</sup> )	3.342	1.403	24.963	58,0
Óleos e graxas (mg.L <sup>-1</sup> )	737	201	5.173	72,7
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	7.000	4.076	56.230	41,8
Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	108	87	440	19,5
Zn (mg.L <sup>-1</sup> )	7,433	2,977	34,860	59,9
Pb (mg.L <sup>-1</sup> )	0,620	0,400	3,950	35,5
Cd (mg.L <sup>-1</sup> )	0,043	0,026	0,102	39,5
Ni (mg.L <sup>-1</sup> )	0,158	0,085	0,773	46,2
Fe (mg.L <sup>-1</sup> )	112,500	55,260	890,800	50,9
Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	1,317	0,621	9,070	52,8
Cu (mg.L <sup>-1</sup> )	1,416	0,609	11,440	57,0
Cr (mg.L <sup>-1</sup> )	0,245	0,057	1,315	76,7

Tabela 6 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ , no tanque de flotação

Parâmetros	Entrada	Saída	Flotado	Eficiência de remoção (%)
N- total ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	70	55	86	21,3
Sólidos totais ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	1.426	1.098	2.207	23,0
Sólidos totais fixos ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	952	742	1105	22,1
Sólidos totais voláteis ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	474	356	1102	24,9
Sólidos suspensos ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	912	752	1638	17,5
Sólidos suspensos fixos ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	645	502	790	22,1
Sólidos suspensos voláteis ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	267	250	847	6,5
Óleos e graxas ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	199	137	411	31,2
DQO ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	709	597	2278	15,7
Fosfato ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	15	12	24	15,1
Zn ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0,977	0,588	1,59	39,8
Pb ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0,4	0,31	0,41	22,5
Cd ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0,046	0,037	0,02	19,6
Ni ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0,076	0,06	0,097	21,1
Fe ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	24,26	19,85	44,76	18,2
Mn ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0,279	0,219	0,523	21,5
Cu ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0,294	0,268	0,847	8,8
Cr ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0,06	0,041	0,082	31,7
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	$1,18 \times 10^7$	$3,7 \times 10^6$	$1,7 \times 10^8$	1 log
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	$1,8 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$1,2 \times 10^7$	1 log

Nota-se, com base os dados das Tabelas 3 a 6, que a taxa de aplicação superficial de  $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  foi a que resultou em melhores resultados, em relação aos outros ensaios. Com essa taxa, foi obtida significativa eficiência de remoção para a maioria dos parâmetros avaliados. Como, por exemplo: eficiência de remoção de matéria orgânica de 89,3% em termos de DQO, 91,7% de sólidos suspensos, 89,3% de óleos e graxas e 79,7% de Cromo.

É importante ressaltar que o teor de sólidos do lodo afluente resultou bastante variável – como ocorre sempre, para esse

tipo de resíduo – interferindo também nos resultados de eficiência.

As baixas remoções de fósforo observadas nos ensaios – no máximo de 21,3% para taxa de aplicação superficial de  $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  – estão associadas a não utilização de coagulantes nem polímeros durante os experimentos. O uso de coagulante metálico poderia aumentar essa eficiência de remoção.

A Figura 5 mostra dados relativos à eficiência de remoção para algumas variáveis.

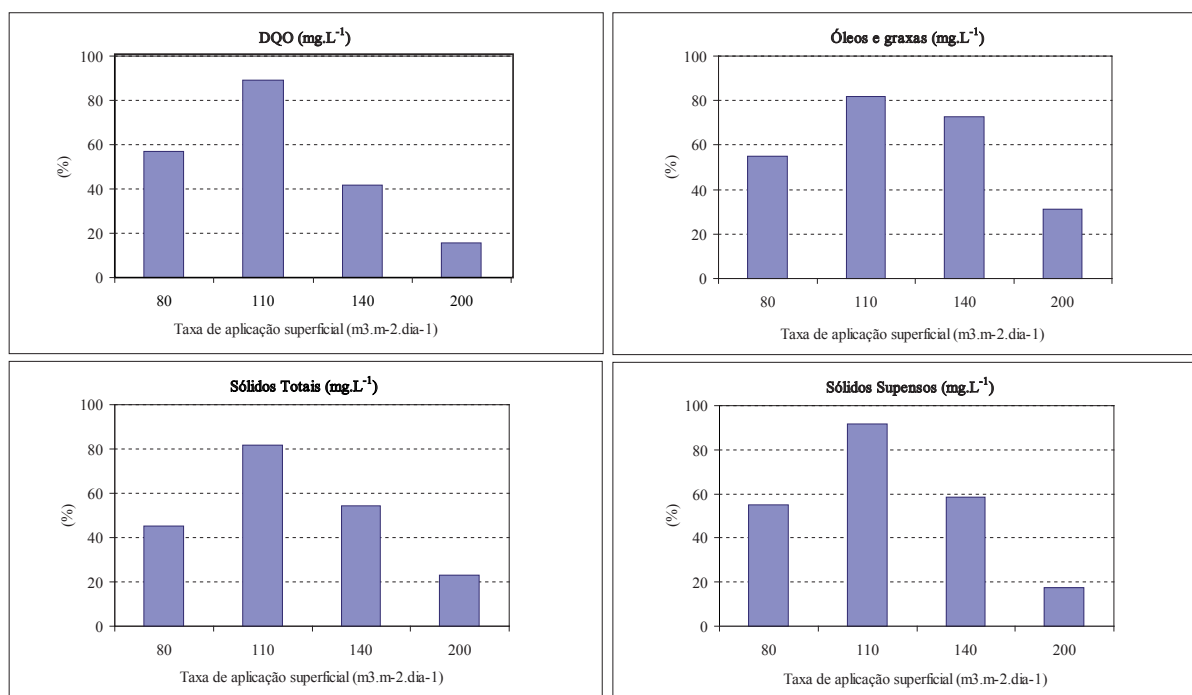


Figura 5 – Eficiência de remoção DQO (a), Óleos (b) e graxas, Sólidos totais (c) e Sólidos suspensos (d), nos ensaios realizados

Baseando-se nas Tabelas 3 a 6, constatou-se que o lodo flutuado apresentou as seguintes porcentagens de sólidos totais: 6,2%; 1,7%; 4,2% e 0,2% para as taxas de aplicação: 80; 110; 140 e 200  $m^3.m^{-2}.dia^{-1}$ , respectivamente. As melhores condições de adensamento do lodo foram obtidas nos ensaios efetuados

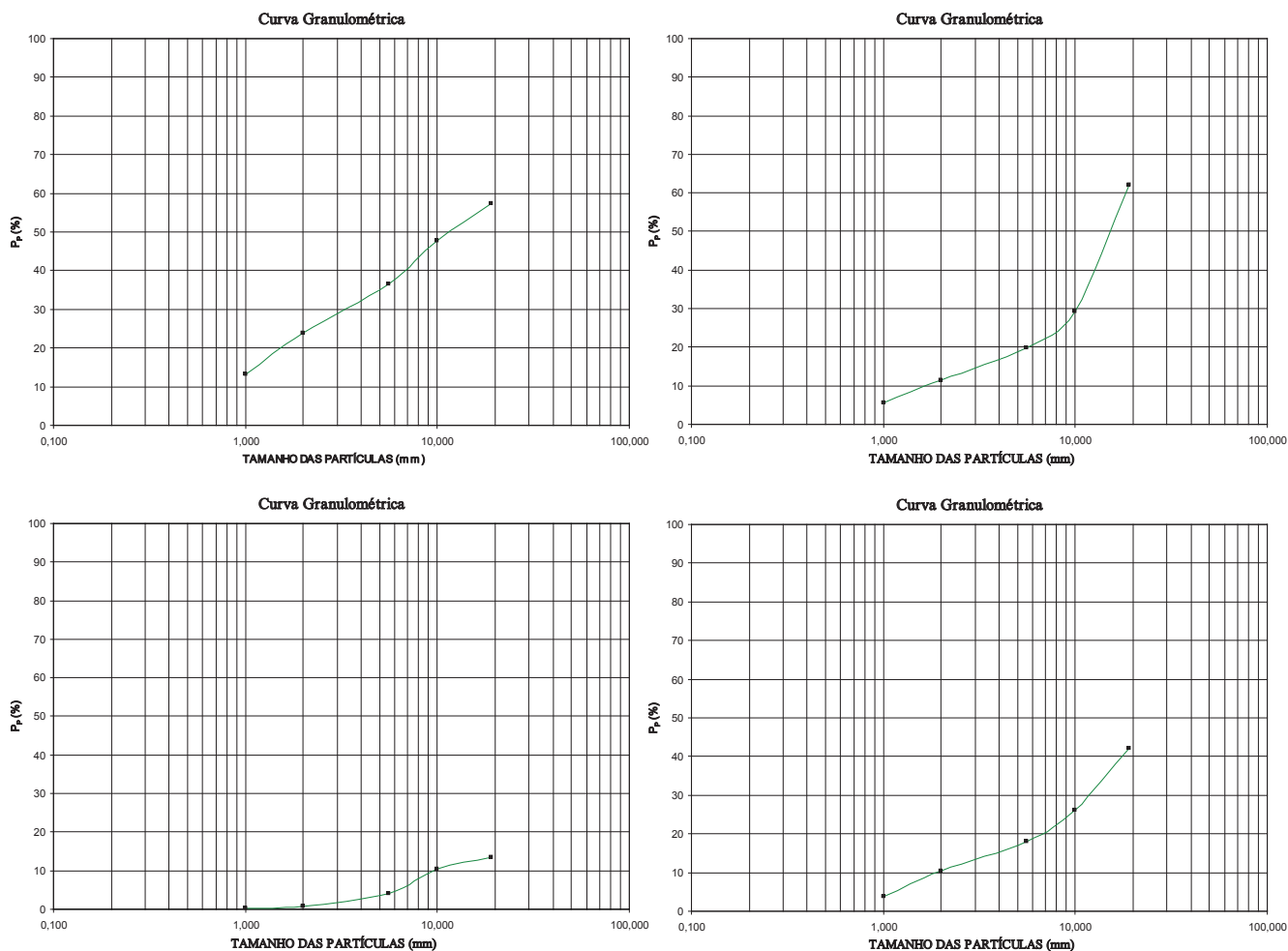
com taxas de aplicação menores que  $110 m^3.m^{-2}.dia^{-1}$ . Na Tabela 7 apresentam-se resultados de determinações de sólidos totais, fixos e voláteis no material sedimentado (areia + detritos) no fundo da unidade piloto.

**Tabela 7– Resultados dos sólidos totais do material sedimentado durante os ensaios**

Taxa de aplicação superficial ( $m^3.m^{-2}.dia^{-1}$ )	Sólidos totais ( $g.L^{-1}$ )	Sólidos totais fixos ( $g.L^{-1}$ )	Sólidos totais voláteis ( $g.L^{-1}$ )	Sólidos inertes (%)
80	69,59	29,77	39,83	42,77
110	2,64	1,19	1,45	45,03
140	34,13	13,85	20,29	40,56
200	9,80	5,41	4,39	55,19

O material removido por sedimentação apresenta, ainda, elevado teor de sólidos voláteis, o que demonstra a necessidade de se aprimorar o sistema, com aplicação de mais ar no fundo antes da descarga, para se obter areia com menos “impurezas” orgânicas. Na Figura 6 estão apresentadas as curvas granulométricas do material retido na peneira da unidade piloto. Por sua vez,

na Tabela 8, apresentam-se os dados da quantidade de sólidos retidos por  $m^3$  de lodo afluyente, relativas a cada abertura das peneiras utilizadas nos testes em laboratório, considerando as diferentes taxas de aplicação superficial utilizadas na unidade.



**Figura 6 – Curva granulométrica do material retido na peneira que antecedia o flutuador nos ensaios: ensaio com taxa de aplicação superficial  $80 m^3.m^{-2}.dia^{-1}$  (a), ensaio com taxa de aplicação superficial  $110 m^3.m^{-2}.dia^{-1}$  (b), ensaio para taxa de aplicação superficial  $140 m^3.m^{-2}.dia^{-1}$  (c) e ensaio para taxa de aplicação superficial  $200 m^3.m^{-2}.dia^{-1}$  (d)**



**Tabela 8 – Quantidade de sólidos retidos nas peneiras, em teste de laboratório**

Abertura (mm) \ TAS(m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	Massa de material retido/volume de lodo tratado (kg.m <sup>-3</sup> )					Total
	19,0	10,0	5,6	2,0	1,0	
80	0,0012	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0024
110	0,0015	0,0013	0,0004	0,0003	0,0002	0,0037
140	0,0079	0,0003	0,0006	0,0003	0,0001	0,0091
200	0,0013	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0021

Conforme observado na Figura 6, nota-se que menos de 50 % do material passou pela peneira de 10 mm em todos os ensaios. As porcentagens foram 47,8%; 29,3%; 10,5% e 26,1% para as taxas de aplicação superficial de 80; 110; 140 e 200 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Portanto, conclui-se que a maior parte do material é de resíduo grosseiro. Esses resultados fornecem a informação de que o emprego de peneira/grade com abertura de 1,0 cm podem ser sugerido para remoção de sólidos grosseiros, precedendo descargas em ETEs.

Com os resultados de sólidos suspensos totais obtidos, foi possível determinar a taxa de aplicação de sólidos empregada nos ensaios. A partir disso, pode-se constatar que para as taxas de

aplicação superficial de 110 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e de 140 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, as taxas de aplicação de sólidos foram superiores a recomendada pela literatura para DAF aplicado a esgoto sanitário, situada entre 52,8 e 585,6 kg.m.dia<sup>-1</sup>. Isso se deve a maior concentração de sólidos suspensos nessas duas condições. Na Tabela 9 estão apresentados os resultados referentes a taxa de aplicação de sólidos para os ensaios realizados, bem como a faixa de variação da taxa de aplicação de sólidos recomendada na literatura aplicada a esgoto sanitário.

**Tabela 9 – Taxa de aplicação de sólidos dos ensaios e da faixa de variação encontrada na literatura**

Taxa de aplicação superficial (m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	Taxa de aplicação de sólidos (kg.m <sup>2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	Taxa de aplicação de sólidos recomendada na literatura para esgoto sanitário (kg.m <sup>2</sup> .dia <sup>-1</sup> )
80	89,8	
110	731,5	
140	785,7	52,8 <sup>1</sup> a 585,6 <sup>2</sup>
200	182,5	

Fonte: <sup>1</sup>EPA (1975); <sup>2</sup>METCALF e EDDY(1991)

Esses resultados indicam que para a flotação de lodos de tanques sépticos, as taxas de aplicação superficial de sólidos podem ser superiores àquelas adotadas tradicionalmente para esgoto sanitário.

A relação ar-sólido é um parâmetro importante no projeto das unidades de flotação, pois o desempenho do sistema de depende de se ter quantidade de bolhas de ar suficiente para flotar substancialmente a maior parcela dos sólidos suspensos presentes. Nos ensaios realizados, para as taxas de aplicação de 80; 110; 140 e 200 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, as relações kg de ar/ kg de sólido suspensos foram de 0,481; 0,081; 0,096 e 0,592, respectivamente. Ressalta-se, entretanto, que a vazão de ar aplicada permanecia fixa para cada taxa de aplicação superficial avaliada, não ocorrendo, dessa forma, ajuste em função da carga de sólidos aplicada.

A faixa de variação de ar/sólido recomendada na literatura é de 0,005 a 0,1 (EPA, 1975, DICK, 1972). A relação de ar-sólido para as taxas de 80 e 200 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> foram superiores a encontradas na literatura.

### Testes complementares para avaliação da degradação do lodo flotado na unidade de pré-tratamento

Em relação aos testes complementares com o lodo flotado, mediante digestão aeróbia, os resultados são apresentados nas Tabelas 10 a 12.

**Tabela 10 – Resultados do processo aeróbio de digestão do lodo flotado (taxa de aplicação superficial de 80 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) sem inoculação com período de 11 dias**

Parâmetros	1º dia	8º dia	11º dia	Eficiência (%)
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	71.650	52.550	43620	39,1
Óleos e graxas (mg.L <sup>-1</sup> )	7.243	2.109	1855	74,4

**Tabela 11 – Resultados do processo aeróbio de digestão do lodo flotado (taxa de aplicação superficial de 110 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) sem inoculação com período de 10 dias**

Parâmetros	1º dia	10º dia	Eficiência (%)
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	19.233	16.950	11,9
Óleos e graxas (mg.L <sup>-1</sup> )	2.101	1.37	31,6

**Tabela 12 – Resultados do processo aeróbio de digestão do lodo flotado (taxa de aplicação superficial de 140 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) com inoculação com período de 19 dias**

Parâmetros	1º dia	19º dia	Eficiência (%)
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	56.230	6.604	88,3
Óleos e graxas (mg.L <sup>-1</sup> )	5.173	497	90,0

Os ensaios de digestão aeróbia de lodo flotado, que foram realizados primeiramente, corresponderam ao lodo obtido nos ensaios com taxas de aplicação superficial de 80 e 110 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. Esses ensaios foram realizados sem inoculação. Contudo, face à eficiência relativamente baixa, constatada, optou-se por se utilizar o lodo flotado para a taxa de aplicação superficial de 140 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. Decidiu-se, neste caso, efetuar a inoculação com lodo de sistema de lodos ativados (ETE Jardim das Flores, Rio Claro/SP). Neste caso, os resultados de eficiência foram animadores (88,3% e 90,0% para remoção de DQO e de óleos e graxas, respectivamente). No que se refere aos testes visando a degradação anaeróbia, monitorados pela produção de gases, os resultados não foram conclusivos, contudo, em todos os testes a produção de gás foi significativamente pequena; mesmo quando se aplicou inóculo.

## CONCLUSÃO

A prática de se efetuar o destino de lodo de fossas e de tanques sépticos em ETEs, dependendo da capacidade das estações, pode prejudicar o desempenho das mesmas. Nesse sentido, os resultados obtidos na presente pesquisa mostram que o pré-tratamento do lodo mediante flotação, antes do lançamento em ETEs, promove significativa redução de sobrecarga.

A concepção da unidade de pré-tratamento de lodo de tanque séptico proposta no presente trabalho atendeu aos objetivos previstos inicialmente, de forma a poder ser usada como referência no projeto de unidades em escala plena.

O sistema de flotação proposto apresentou as melhores eficiências na remoção de matéria orgânica, sólidos totais e óleos e graxas, nas condições operacionais com taxa de aplicação superficial de 110 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, taxa de aplicação de sólidos de 731,5 kg.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e relação ar-sólidos de 0,081 aproximadamente. Nessas condições, as remoções foram de 89%, 82% e 82%, respectivamente. Além disso, a unidade promoveu a remoção expressiva da maior parte dos metais pesados avaliados, alcançando índices de 80% para o cromo, por exemplo; indicando, desse modo, que a maior parte dos metais encontra-se incorporada aos sólidos em suspensão.

O sistema de flotação por microbolhas proposto no trabalho mostrou-se eficiente no adensamento do lodo de tanques

sépticos, de forma a obter o resíduo espessado com teor de sólidos de até 6,2%, para taxa de aplicação superficial de 80 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, por exemplo.

A degradação do lodo flotado em ambiente anaeróbio não se mostrou eficiente. Infere-se desse modo, que a extensão do período de degradação do lodo proveniente de tanques sépticos (anaeróbio) em ambiente anaeróbio, não conduz a degradação adicional significativas de matéria orgânica.

A digestão aeróbia do lodo flotado, contudo, promoveu elevada degradação de óleos e graxas e remoção de DQO, alcançando resultados bastante promissores, desde que seja aplicado inóculo, previamente. Para período de aeração de 19 dias, a remoção de DQO e óleos e graxas alcançou índices de 88,3% e 90,0%, respectivamente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB pelo auxílio financeiro e incentivo à pesquisa. Os resultados apresentados neste texto foram baseados em: i) Dissertação de mestrado intitulada como “Caracterização e Pré-tratamento de Lodo de Fossas e de Tanques Sépticos”, e em ii) Capítulo 4 do livro “Lodo de Fossa Séptica”, coordenado por Cleverton Vitorio Andreoli e pertinente ao Edital 5 do PROSAB.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. V. FRANÇA, M.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C. Avaliação da biodegradabilidade e biodisponibilidade do lodo de esgoto anaeróbio termicamente tratado com uso de biogás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. Anais...Joinville: ABES, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Projeto de Estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. NBR 13969: Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BATALHA, B. H. L. Fossa Séptica. 2 ed., São Paulo: CETESB, 1987. Série Manuais. 20 p.

BELLI FILHO, P. K.; SOARES, H. M.; MATIAS, W. G.; PINTO, R. O.; CHAGAS, A.; CASTILHO JUNIOR, A. B. Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e lodo de tanque séptico. In: TALLER Y SIMPOSIO LATINO AMERICANO SOBRE DIGESTION ANAEROBIA, 7., 2002, Mexico. Anais... Mexico: IWA/FEMISCA, 2002. v. 1. p. 266-269.

BORGES, N. B. Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e de tanques sépticos. 2009. 152 f. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GOCHIN, R. J.; SOLARI, J. The role of hydrophobicity in dissolved air flotation. *Water Research*, v. 17, n. 6, p. 651-657, 1983.

GONÇALVES, C. P. Impacto do lançamento de lodo de tanques/fossas sépticas em estação de tratamento de esgoto com reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB). 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GUJER, W.; ZEHNDER, A. J. B. Conversion processes in anaerobic digestion. *Water Science Technology*, v. 15, p. 127-167, 1983.

HAARHOFF, J.; Van VUUREN, L. A South African design guide for dissolved air flotation. Gezina: Water Research Commission, 1993. Project. n. 332.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativa da População. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/indicadoresminimos/sinteseindicisociais2007/indic\\_sociais2007.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/indicadoresminimos/sinteseindicisociais2007/indic_sociais2007.pdf)>  
Acesso em: 10 de junho de 2010.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 4. ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005. 932 p.

KIURU, H. J. Development of Dissolved Air Flotation Technology from the First Generation to the Mewest (third) One (DAF in Turbulent Flow Conditions). *Water Science and Technology*, Great Britain, v. 43, n. 8, p. 1-7, 2001.

LEE, C. H. et al. Full Scale Operation of Dissolved Air Flotation Process Using Microbule Generating Pump. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLOTATION IN WATER AND WASTEWATER SYSTEMS, 5., 2007, Seul, Korea.

LEITE, B. Z.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V.; ANDRADE, F. L. Caracterização e alternativas de disposição de resíduos sépticos. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8., 2006, Fortaleza. Anais...

MARHOFF, J.; VAN VUUREN, L. R. J. Design Parameters for Dissolved Air Flotation in South America. *Water Science and Technology*, v. 31, n. 3-4, p. 203-212, 1995.

PAULA JUNIOR, D. R.; MORAES, L. M.; CHERNICHARO, C. A. L.; PONTES, P. P.; CASSINI, S. T.; GONÇALVES, R. F.; BELLI FILHO, P.; SOARES, A. M. Estabilização Anaeróbia de Lodos. In: CASSINI, S. T. (Coord.). Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás. Rio de Janeiro: ABES, 2003. Cap. 3, p. 64-93.

PRADO, M. Concepção e estudo de uma unidade compacta para tratamento preliminar de esgoto sanitário composta por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial. 2006. 268 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PENETRA, R. G. Pós-tratamento físico-químico por flotação de efluentes de reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB). 1998. 140 f. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PIOLTINE, A. Avaliação do desempenho de bomba multifásica na geração de microbolhas de ar para o processo de flotação por ar dissolvido aplicado ao pré-tratamento de efluente de indústria têxtil. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ROSS, C. C.; SMITH, B. M.; VALENTINE, G. E. Rethinking Dissolved Air Flotation (DAF) Design for Industrial Pretreatment. In: WATER ENVIRONMENT FEDERATION AND PURDUE UNIVERSITY INDUSTRIAL WASTES TECHNICAL CONFERENCE, 2000. St. Louis, Missouri. Proceedings... Indiana: Purdue, 2000.

STANDARD Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Paginação irregular, 2005.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. A Guide to the Federal EPA Rule For Land Application of Domestic Septage to Non-Public Contact Sites. Washington, DC, 1993. (EPA/832-B-92-005). Disponível em: [http://www.epa.gov/owm/mtb/biosolids/septage\\_guide.pdf](http://www.epa.gov/owm/mtb/biosolids/septage_guide.pdf). Acesso em: 26 de março de 2008

ZABEL, T. Flotation in water treatment. In: IVES, K. J. (Ed.) The scientific basis of flotation. Cambridge: Martinus Nijhoff, 1984. The Hague, p. 349-77.