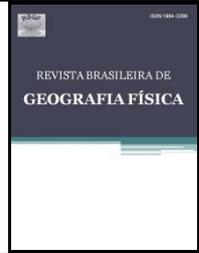




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Utilização de Filtros Plantados com Macrófitas para o Desaguamento e Mineralização de Lodo de Tanque Séptico

Daniel Ferreira de Castro Furtado¹, Luiz Sérgio Philippi², Carla Suntti³, Camila Haiml⁴, Ricardo Regi⁴

¹Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Autor de contato. Endereço eletrônico: dan_fcf@yahoo.com.br.

²Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Saneamento Ambiental pela Université de Montpellier I (França). Professor coordenador do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

³Engenheira Ambiental pela Universidade do Contestado – campus Caçador. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

⁴Graduando(a) em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Bolsista do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Artigo recebido em 10/10/2012 e aceito em 11/10/2012

RESUMO

Os lodos de esgotos tornaram-se uma importante questão na gestão das cidades devido ao enorme volume produzido diariamente, ao potencial de impacto ambiental e social deste produto e ao fato de seu gerenciamento e disposição serem um dos processos mais complexos em estações de tratamento de esgotos. Os objetivos deste estudo foram avaliar a eficiência de filtros plantados com macrófitas no tratamento de lodo de tanque séptico e monitorar o processo de desaguamento e mineralização do lodo acumulado no leito do filtro. O sistema foi operado semanalmente com taxa de 125 kgST/m².ano e tempo de detenção hidráulica de 6 dias. O filtro apresentou eficiências de 95, 99, 87 e 95% para os parâmetros ST, DQOt, N-NH₄⁺ e P-PO₄³⁻, respectivamente. O lodo acumulado apresentou a maior concentração de ST (49%), 83 dias após o último ciclo de alimentação do filtro. A concentração média de ST do lodo acumulado permitiu classificá-lo como sólido duro.

Palavras-chave: lodo de tanque séptico; filtros plantados com macrófitas; tratamento de lodo séptico; biosólidos.

Use of Sludge Drying Reed Beds for Dewatering and Mineralization of Sludge from Septic Tank

ABSTRACT

The sewage sludge has become an important issue in the management of cities due to the volume produced daily, the potential environmental and social impact of this product and the fact that its management and disposition to be one of the most complex processes in sewage treatment plants. The objectives of this study were to evaluate the efficiency of sludge drying reed beds in the treatment of septic tank sludge and monitor the process of dewatering and mineralization of the residual sludge. The system was operated weekly, with rate of 125 kgST/m².year and hydraulic retention time of 6 days. The filter presented efficiencies of 95, 99, 87 and 95% for parameters TS, COD, N-NH₄⁺ and P-PO₄³⁻, respectively. Residual sludge had the highest concentration of TS (49%), 83 days after the last cycle the filter. The average concentration of TS presented the residual sludge allowed to classify it as a solid hard.

Keywords: septic tank sludge; sludge drying reed beds; treatment of septic sludge; biosolids.

*E-mail para correspondência:
dan_fcf@yahoo.com.br (Furtado, D. F. C.).

1. Introdução

Os lodos de esgotos são resultantes das operações de estações de tratamento de efluentes sanitários, agrícolas e industriais. Geralmente estão na forma líquida, contendo tipicamente de 0,5–15% de sólidos totais, e são formados principalmente por compostos orgânicos, apresentando grande conteúdo de sólidos voláteis (50-80%), nutrientes, metais pesados e patogênicos (Uggetti *et al.*, 2010).

A produção de lodo e suas características são dependentes da composição do esgoto bruto e do tipo de sistema utilizado no seu tratamento. De modo geral, os processos anaeróbios tendem a produzir menor volume de lodo em relação aos processos aeróbios, além de lodo mais estabilizado, o que facilita as operações de tratamento (Metcalf & Eddy, 2003).

Mesmo que o volume de lodo represente apenas de 1 a 2% do volume do esgoto tratado, o seu gerenciamento representa de 20 – 60% dos custos operacionais de estações de tratamento de esgotos (ETE) (Andreoli, Von Sperling e Fernandes, 2001). Segundo PROSAB 4 (2006), a gestão do lodo produzido em uma ETE aeróbia representa cerca de 40% dos custos de implantação, 50% dos custos de operação e 90% dos problemas operacionais apresentados.

Nos EUA a produção anual de lodo dobrou de 6,0 para 12,0 milhões de toneladas no período de 1993 à 2000 (PROSAB 4, 2006), e caso todo o esgoto coletado no Brasil

em 2001 recebesse algum tipo de tratamento, a produção de lodo de esgotos estaria em uma faixa de 90.000 – 350.000 toneladas/dia de lodo líquido a ser tratado, e entre 9.000 – 13.000 toneladas/dia de lodo desaguado a ser disposto, considerando valores médios de produção *per capita* de lodo de diversos processos de tratamento aeróbios e anaeróbios (Andreoli *et al.*, 2001).

Dentre os diversos tipos de lodos gerados, será dado destaque neste artigo ao lodo de tanque séptico. O tanque séptico é uma câmara fechada utilizada principalmente para tratamento de esgotos domésticos, que detêm os despejos por um período de tempo que permite a sedimentação e digestão anaeróbia dos sólidos no fundo do tanque, formando o chamado lodo séptico.

Lodo séptico é o material líquido ou sólido removido de tanques sépticos, banheiros químicos ou sistema similar que receba somente esgoto sanitário, independente do tipo de estabelecimento (residência, comércio ou indústria). É composto na sua maioria por água, esgoto, material orgânico e inorgânico. Possui cor escura, forte odor e heterogeneidades em função de fatores como a frequência de limpeza, as condições sócio-econômicas dos usuários e características do efluente (USEPA, 1999).

Os sistemas de tratamento de lodos objetivam reduzir os teores de água e as concentrações de material orgânico biodegradável e patógenos, visando à produção de um material sólido e estável, que

possa ser manipulado e transportado de modo fácil e a baixo custo (Andreoli *et al.*, 2001). De modo geral, os processos utilizados para o tratamento de lodos de esgoto apresentam elevados custos de implantação, operação e manutenção, e pouca simplicidade. Dentre os sistemas mais utilizados destacam-se os filtros prensa, as centrífugas, os filtros a vácuo e as técnicas de calagem.

Spinosa (2010) aponta que para alcançar a sustentabilidade na gestão de lodos de esgoto, as tecnologias de tratamento aplicadas devem ser ambientalmente robustas e suportadas por normativas consistentes e aplicáveis, tecnologicamente, economicamente e operacionalmente viáveis, socialmente desejáveis e por fim, culturalmente e psicologicamente aceitáveis. Segundo o autor, até o momento os sistemas de gerenciamento de lodo de esgoto têm sido frequentemente ineficientes e insustentáveis, pois não conseguem atingir as dimensões ambiental, econômica e social, indissociáveis para a sustentabilidade.

Neste sentido, os filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical apresentam-se como uma alternativa tecnológica adequada para o tratamento do lodo de tanque séptico, na medida em que permitem a separação das frações sólidas e líquidas do lodo pelos processos de desaguamento e mineralização, e de forma geral promovem ótimas eficiências de tratamento do lodo (Uggetti *et al.*, 2010; Kengne *et al.*, 2009; Suntti, 2010).

Os filtros plantados com macrófitas,

também denominados zona de raízes, *constructed wetlands* ou alagados construídos, são sistemas onde material filtrante, plantas e microorganismos interagem e promovem o tratamento do efluente. São classificados de acordo com o sentido de escoamento do efluente em sistemas de fluxo horizontal ou vertical, o que determinará diferentes vias de degradação da matéria orgânica e transformação dos nutrientes. Os filtros plantados com macrófitas utilizados para o tratamento de lodo de esgotos são exclusivamente de fluxo vertical, e também conhecidos como *sludge treatment wetlands* ou *sludge drying reed beds*.

As principais vantagens desta tecnologia para o tratamento de lodo de esgoto são o baixo investimento financeiro, a reduzida frequência de remoção do lodo acumulado (da ordem de anos), o desaguamento e mineralização dos biossólidos, a minimização do volume de lodo, a simplicidade, a economia e a produção de material com potencial para fins agrícolas (Melidis *et al.*, 2010). Uggetti *et al.* (2010) destacam a necessidade de grandes áreas para implantação dos filtros e o longo período de adaptação das macrófitas como aspectos negativos da tecnologia.

A quantidade de lodo é reduzida nestes sistemas por processos de desaguamento e mineralização (Nielsen, 2010). No desaguamento atuam a drenagem e a evapotranspiração, resultando perda de

umidade e aumento na concentração de sólidos do lodo. As concentrações de sólidos totais passam geralmente de 1,5-5% no lodo bruto para 30-50% no lodo acumulado na superfície dos filtros (Uggetti *et al.*, 2010). No processo de mineralização a fração da matéria orgânica biodegradável do lodo é estabilizada, reduzindo as concentrações de sólidos voláteis no lodo. As plantas cultivadas no filtro também auxiliam no processo de mineralização com a transferência de oxigênio atmosférico até a rizosfera, e com a formação de fendas no lodo que propiciam perda de umidade e oxigenação das camadas mais profundas do lodo acumulado, contribuindo desta forma para a degradação aeróbia da matéria orgânica.

Em filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical para o tratamento de lodo de esgotos a alimentação do sistema é realizada por processos em batelada, de tal modo que os filtros são alimentados durante períodos que podem durar minutos, horas, dias ou até semanas, dependendo das características e do volume do lodo a ser desaguado, e da capacidade de tratamento do sistema. Após a disposição do lodo, os filtros ficam um determinado tempo sem receber alimentação, caracterizando o período de descanso, enquanto ocorrem os processos de desaguamento e mineralização (Nielsen, 2010).

A cada novo ciclo, outro volume de lodo é lançado sobre a camada residual de lodo acumulado do ciclo anterior e desaguado

durante o período de descanso subsequente. Após cada carga de aplicação a maioria dos sólidos presentes no lodo bruto permanecem na superfície do filtro, e a fração líquida, principalmente a água livre, percola através das camadas de lodo acumulado e material filtrante, está última tomada pelas raízes e rizomas das macrófitas. O teor de água residual do lodo é ainda reduzido naturalmente por evaporação e pela transpiração das plantas.

O volume de lodo lançado em cada ciclo de alimentação é calculado de acordo com a taxa de aplicação de lodo, expressa em kgST/m².ano, que permite determinar a área superficial requerida para as instalações (Uggetti *et al.*, 2010). Nielsen (2010) ressalta que também deve ser considerado na etapa de concepção e projeto, a produção de lodo (toneladas de sólidos totais por ano), a qualidade do lodo e as condições climáticas do local de implantação do sistema.

A altura da camada de lodo acumulado aumenta a uma determinada taxa, e quando se aproxima ao valor máximo, limitado pela altura da borda livre do filtro, a alimentação deve ser encerrada, caracterizando o período final de descanso do leito, que pode levar de 1-2 meses a 1 ano, destinado a melhorar a secagem final e mineralização do lodo (Nielsen, 2003).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo estudar os processos de mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico em filtros plantados com

macrófitas de fluxo vertical. Especificamente, o interesse foi centrado em determinar a eficiência de tratamento do lodo de tanque séptico em filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical sob taxa de alimentação de 125 kgST/m².ano e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 6 dias e avaliar o processo gradual de transformação do lodo acumulado após o término definitivo da alimentação do sistema, no período final de descanso do leito.

2. Material e Métodos

O sistema experimental foi implantado no Centro de Treinamento da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de

Santa Catarina (CETRE/EPAGRI), na cidade de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. O sistema estudado era constituído por um tanque séptico cilíndrico, que recebia as contribuições sanitárias do CETRE, um tanque de armazenamento do lodo, um filtro plantado com macrófitas de fluxo vertical, uma caixa de recolhimento do líquido percolado e um filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal (FPMH), utilizado no tratamento secundário do esgoto do tanque séptico e no pós-tratamento do líquido percolado resultante do tratamento do lodo. A Figura 1 apresenta uma fotografia do sistema descrito.



Figura 1. Fotografia do sistema de tratamento de lodo de tanque séptico. Fonte: arquivo pessoal.

O filtro plantado com macrófitas de fluxo vertical utilizado no experimento possuía superfície de 4,3 m², 0,75 m de leito filtrante e 0,55 m de borda livre para o acúmulo de lodo. Da superfície até o fundo do

filtro, o meio filtrante era composto respectivamente por 10 cm de areia grossa, 20 cm de brita ¾ e 45 cm de brita 2. Neste leito foi cultivada a macrófita *Zizanopsis bonariensis*, conhecida popularmente no

Brasil como Junco, a uma razão de 15 mudas/m². Ressalta-se que a montagem do sistema acima descrito foi realizada por Suntti

(2010). A Figura 2 apresenta um esquema dos filtros plantados.

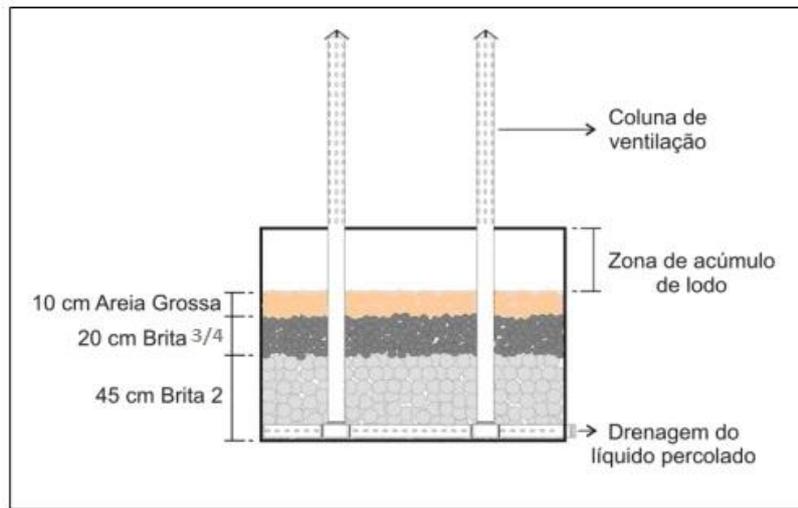


Figura 2. Disposição do leito filtrante. Fonte: Adaptado de Suntti (2010).

O sistema foi operado semanalmente, por um período de 196 dias, durante os meses de maio de 2010 a novembro de 2010, com taxa de alimentação de 125 kgST/m².ano, fluxo em batelada e tempo de detenção hidráulica de 6 dias.

Em cada ciclo de operação o lodo era succionado por uma bomba submersa do fundo do tanque séptico para o tanque de armazenamento. No tanque de armazenamento o lodo era homogeneizado manualmente e mecanicamente. Com o uso de uma bomba vórtex o lodo homogeneizado era lançado na superfície do filtro plantado por um sistema de alimentação composto por tubulações de PVC DN 60 mm perfuradas com furos de 1,0 cm. As tubulações de alimentação foram posicionadas cerca de 50 cm acima do leito filtrante, e dispostas de forma a proporcionar uma distribuição

uniforme do lodo sobre a superfície do filtro.

A aplicação de lodo era realizada em cerca de 5 minutos, e após esta operação os processos de desaguamento e mineralização do lodo ocorriam naturalmente. Parte da fração líquida do lodo bruto escoava verticalmente no leito filtrante e era recolhida no fundo por um sistema de coleta composto por tubulações de PVC DN 100 mm, com furos de 2,0 cm. Na tubulação de coleta estavam conectadas as tubulações de ventilação, compostas por tubos de PVC DN 75 mm, com 1,3 metros de altura acima do leito filtrante e perfuradas com furos de 2,0 cm.

Passados 6 dias da alimentação, a saída do sistema de coleta era aberta manualmente para o recolhimento do líquido percolado em uma caixa de recebimento, de onde seguia para pós-tratamento no filtro plantado com

macrófitas de fluxo horizontal. Na caixa de recebimento o líquido percolado era coletado semanalmente e encaminhado para análise laboratorial. Foram avaliados os parâmetros DQOt, pH, sólidos totais, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, e fósforo ortofosfato do líquido percolado e do lodo séptico bruto, de acordo com as metodologias descritas por Standard Methods (APHA, 2005).

Parte dos sólidos do lodo aplicado em cada ciclo de operação descrito acima permaneciam retidos na superfície do leito filtrante, e com a constante operação do sistema o acúmulo sucessivo destes sólidos originou o chamado lodo acumulado. Os processos de desaguamento e mineralização do lodo acumulado foram monitorados por um período de 146 dias, iniciando no penúltimo mês de operação do sistema, e se estendendo por mais cinco meses após o último ciclo de operação, durante os meses de outubro de 2010 a março de 2011.

A coleta de amostras do lodo acumulado era realizada em três locais distintos da superfície do filtro com auxílio de um trado, ferramenta que permite coletar por inteiro o perfil vertical do lodo acumulado. As três amostras coletadas eram misturadas a fim de obter uma amostra representativa das características do lodo acumulado na superfície do filtro. A amostra de lodo acumulado era então utilizada para a quantificação dos parâmetros ST, SV e SF conforme a metodologia descrita por Standard

Methods (APHA, 2005). As cinco primeiras coletas foram realizadas com frequência quinzenal e as três últimas com frequência mensal.

As análises do lodo bruto, do líquido percolado e do lodo acumulado foram realizadas no Laboratório Integrado do Meio Ambiente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (LIMA/ENS) e no laboratório do Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD), ambos localizados na UFSC.

3. Resultados e Discussão

3.1 Lodo séptico bruto e líquido percolado

Ao longo dos 196 dias de operação do sistema, o lodo bruto do tanque séptico e o líquido percolado gerado em cada ciclo de alimentação foram monitorados semanalmente. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Os valores de caracterização do lodo séptico bruto estudado encontram-se dentro dos limites típicos de caracterização de lodos sépticos apresentados por USEPA (1999). Verificou-se elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes no lodo, e uma grande variação na concentração dos parâmetros analisados.

O lodo séptico bruto apresentou relação SV/ST de 0,45, o que demonstra bom nível de digestão. Este fato se deve ao grau de estabilização alcançado pelo lodo, que permaneceu armazenado por mais de 10 anos no interior do tanque séptico, sendo

transformado por vias de digestão anaeróbia, e por isso resultando em um lodo mais estabilizado. Lodos com relação SV/ST entre 0,75-0,80 são considerados não digeridos, enquanto uma relação de 0,60-0,65 representa

um lodo digerido (Andreoli, Von Sperling e Fernandes, 2001).

A Figura 3 apresenta as concentrações médias de ST e DQOt no lodo bruto e no líquido percolado.

Tabela 1. Caracterização do lodo bruto e do líquido percolado

Variável	Lodo séptico bruto*			Líquido
	Média±desvio padrão	Mínimo	Máximo	Média±desvio padrão
pH	7,1±0,3	6,5	7,6	6,3±0,4
ST (mg.L ⁻¹)	13176,2±7621	2239,3	27355,5	599,6±194,7
SV (mg.L ⁻¹)	5929,3±3422	1185,0	13649,0	-
SF (mg.L ⁻¹)	7246,9±4089	1100,0	15510,0	-
Umidade (%)	98,7	97,3	99,8	-
Teor de sólidos	1,3	0,2	2,7	-
DQOt (mg.L ⁻¹)	12417,0±6824	675,0	26175,0	103,7±38,5
N-NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	52,3±34,6	12,0	120,5	6,5±5,8
N-NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,1±0,1	0,1	0,3	0,1±0,1
N-NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	1,3±1,4	0,1	5,4	15,6±11,4
P-PO ₄ ³⁻ (mg.L ⁻¹)	30,6±19,4	6,8	67,3	1,3±1,0

*(n=22) **(n=20); n= número de análises realizadas.

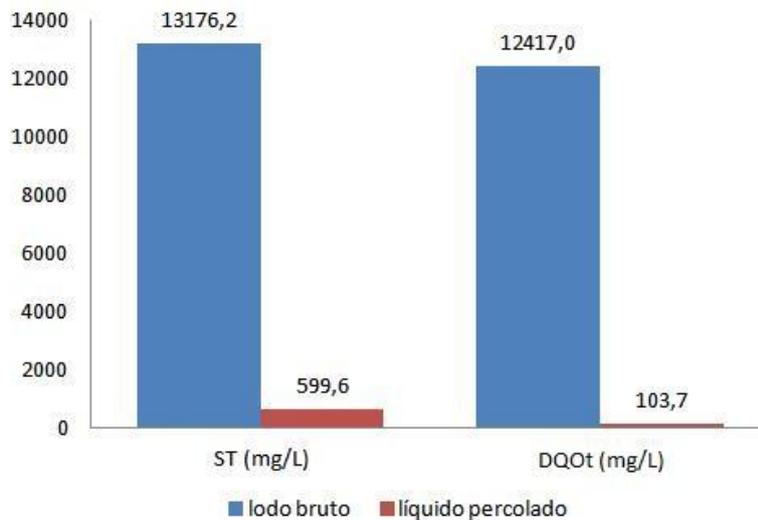


Figura 3. Concentração média de ST e DQOt no lodo bruto e no líquido percolado.

O filtro plantado com macrófitas utilizado nesta pesquisa apresentou ótima eficiência de remoção da matéria orgânica. A remoção de sólidos totais foi realizada com eficiência média de 95%, enquanto a DQOt foi removida com 99% de eficiência. Kengne *et al.* (2009) apresentaram eficiência média de

remoção de DQO de 97%, tratando lodo séptico com concentração inicial de 31.100 mgDQO/L. Apesar da alta eficiência obtida em termos percentuais, em números absolutos o líquido percolado apresentou elevada concentração de ST, da ordem de 600 mg/L. A concentração de DQOt no líquido

percolado, da ordem de 100 mg/L, apresentase de acordo com os valores médios descritos pela literatura especializada (Uggetti *et al.*, 2010).

Em relação aos nutrientes, observou-se remoção de fósforo ortofosfato com eficiência da ordem de 96%. A remoção do fósforo é favorecida pela adsorção do material filtrante, pelo requerimento das plantas e dos microorganismos. Ressalta-se que as transições entre condições aeróbias e anaeróbias no leito filtrante, obtidas pela forma de alimentação intermitente do filtro de

fluxo vertical, favorecem o desenvolvimento de microorganismos capazes de absorver fósforo em excesso ao requerido para o crescimento celular (Reddy, 1998). O líquido percolado apresentou concentração de 1,3 mgP-PO₄³⁻/L, valor bastante reduzido quando comparado com os valores apresentados por Uggetti *et al.* (2009), que obtiveram concentrações no líquido percolado entre 7-25 mgP-PO₄³⁻/L. A Figura 4 apresenta as concentrações médias de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e P-PO₄³⁻ no lodo bruto e no líquido percolado.

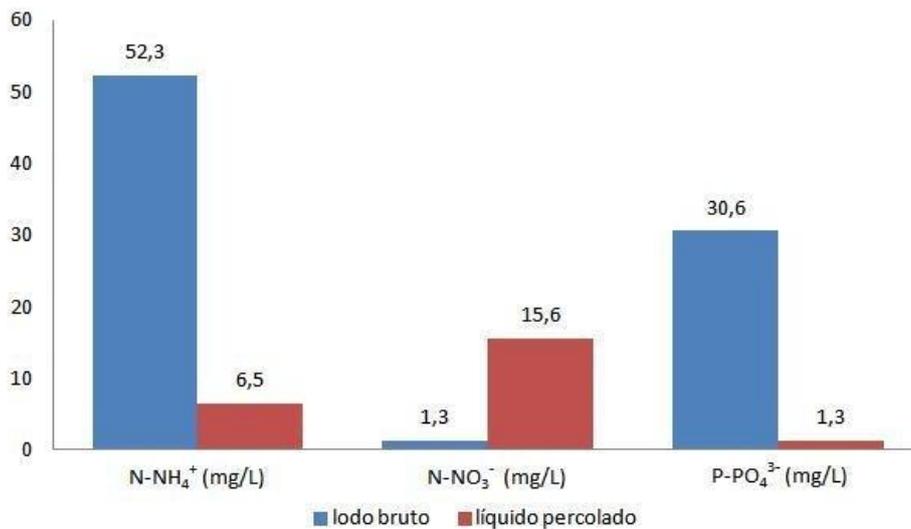


Figura 4. Concentração média de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e P-PO₄³⁻ no lodo bruto e no líquido percolado.

A forma de alimentação intermitente também favorece os processos de transformação do nitrogênio. A remoção de N-NH₄⁺ foi da ordem de 88%, valor semelhante aos obtidos por Kengne *et al.* (2009), que observaram remoções de nitrogênio amoniacal da ordem de 87 e 78%, operando filtros com taxas de alimentação de 100 e 200 kgST/m².ano, respectivamente.

O líquido percolado apresentou

aumento considerável na concentração de nitrato em relação ao lodo bruto, conforme apresentado na Figura 3, atingindo valor médio de 15 mg/L. Este resultado evidencia a efetividade dos filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical para a transformação do nitrogênio. Ressalta-se que os processos de nitrificação e desnitrificação são influenciados diretamente pelo TDH do sistema. Koottatep *et al.* (2001) alimentaram

três filtros com lodo séptico sob uma taxa de 250 kgST/m².ano, e avaliaram os TDH de 0, 2 e 6 dias. Os autores não verificaram diferenças significativas em relação a remoção de ST e DQO entre os filtros analisados, porém a concentração de nitrato no líquido percolado mostrou-se dependente dos TDH aplicados. O filtro que operou com TDH de 6 dias apresentou a menor concentração de nitrato (20 mg/L), sendo que para os TDH de 2 e 0 dias, as concentrações foram de 53 e 120 mg/L, respectivamente. Segundo os autores, esta diferença é devido à

ocorrência da desnitrificação favorecida pelo tempo de detenção hidráulico mais elevado.

3.2 Lodo acumulado

Com o monitoramento do lodo acumulado por um período de 146 dias foi verificado o aumento gradativo na concentração de ST com o tempo e pouca variação na concentração de SV. A Tabela 2 apresenta os valores de sólidos totais e sólidos totais voláteis do lodo acumulado durante o período de monitoramento.

Tabela 2. Caracterização do lodo acumulado em termos de sólidos

Lodo acumulado		
Data	ST(%)	SV(%)
21/10/2010	31	9
03/11/2010	34	10
17/11/2010	36	10
01/12/2010	38	11
15/12/2010	43	13
26/01/2011	42	12
15/02/2011	49	13
16/03/2011	44	11

Nas três primeiras análises realizadas, referentes aos meses de outubro e novembro de 2010, mesmo com o filtro ainda em operação, a perda de umidade foi efetiva, resultando em aumento na concentração de sólidos totais. Com o término da alimentação do filtro, no final do mês de novembro de 2010, o aumento da concentração de sólidos totais mostrou-se mais acentuado, devido ao encerramento de aporte de água e material orgânico no filtro e ao aumento das

temperaturas no hemisfério sul com o início do verão.

As altas temperaturas favorecem a perda de umidade por evapotranspiração. Chazarenc *et al.* (2003) verificaram taxas de evapotranspiração da macrófita *Phragmites australis* na faixa de 4-12 mm/dia.m². De modo geral, os valores deste processo são bastante variáveis, sendo influenciados pela temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar (horas de

sol) e estação do ano.

O lodo acumulado apresentou a maior concentração de ST (49%) no mês de fevereiro de 2011, após um período de 83 dias da última alimentação do filtro, que

representa 650 dias do início da operação do sistema. A Figura 5 apresenta a série temporal das concentrações de ST e SV no lodo acumulado no período analisado.

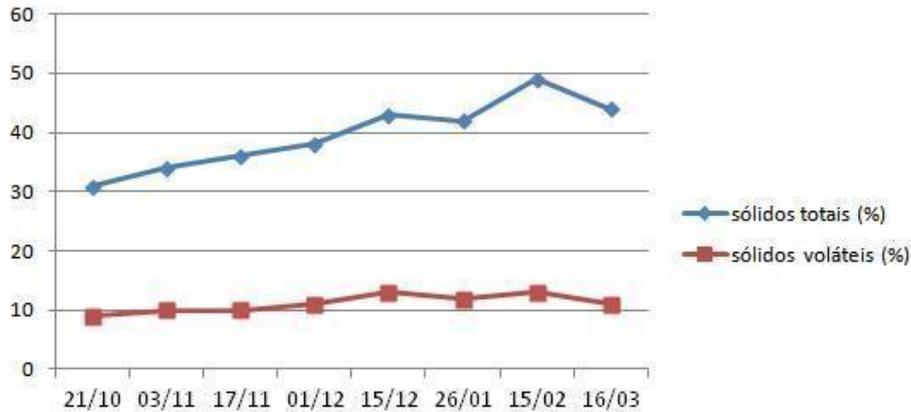


Figura 5. Série temporal das concentrações de ST e SV no lodo acumulado.

Destaca-se que este filtro entrou em operação em 2009 durante pesquisa de Suntti (2010), sendo também alimentado com taxa de 125 kgST/m².dia. A autora relata em seu trabalho, que aos 126 dias de operação, o teor de sólidos totais no lodo acumulado era da ordem de 33%. Nos meses de outubro e novembro de 2010, equivalentes a 500-550 dias de operação, com o filtro ainda em operação, verificou-se que os valores de concentração de ST (31, 34 e 36%), foram semelhantes à concentração apresentada aos 126 dias de operação. Estes dados sugerem que a mineralização do lodo acumulado ocorre de maneira mais efetiva a partir do momento em que a alimentação do filtro é encerrada. De fato, após a última alimentação do filtro, em novembro de 2010, verificou-se aumento constante na concentração de ST durante os meses de dezembro de 2010 e

janeiro de 2011, atingindo valor máximo na concentração de sólidos totais em fevereiro de 2011, quando foi atingida a concentração de sólidos totais no lodo acumulado de 49%.

Segundo Uggetti *et al.* (2010), a eficiência de filtros plantados com macrófitas também pode ser verificada pela redução de sólidos voláteis no lodo. De acordo com os dados apresentados na tabela 1, a concentração de sólidos voláteis no lodo séptico bruto era de 45%. Durante o tratamento foram alcançadas reduções de 34% na concentração de SV, resultando em concentração média final de 11% SV no lodo acumulado. A concentração média de sólidos totais apresentada no lodo acumulado foi de 41%, e por consequência, 59% de umidade, podendo o mesmo ser classificado como sólido duro (umidade entre 40-65%) (Andreoli, Von Sperling e Fernandes, 2011).

4. Conclusões

A baixa fração de SV verificada no lodo séptico bruto é decorrente do alto grau de digestão anaeróbia sofrido ao longo dos 10 anos de armazenamento no tanque séptico. Verificou-se também que o lodo séptico bruto apresentou grande variação de concentração dos diversos parâmetros analisados. De modo geral, o filtro apresentou excelentes eficiências de remoção, da ordem de 95, 99, 87 e 95% para os parâmetros ST, DQOt, N-NH₄⁺ e P-PO₄³⁻, respectivamente. As concentrações de DQOt, ST e N-NO₃⁻ no líquido percolado justificam a necessidade de um pós-tratamento adequado para o mesmo. O lodo acumulado apresentou a maior concentração de sólidos totais após 3 meses do encerramento da alimentação do filtro, e pôde ser classificado como sólido duro.

Por fim, conclui-se que os filtros plantados com macrófitas são uma tecnologia simples e eficiente para o tratamento de lodo de tanque séptico, apresentando-se como uma ótima alternativa tecnológica para o gerenciamento de lodos de esgotos, principalmente no âmbito da gestão do saneamento descentralizado.

5. Referências

Andreoli, C. V.; Von Sperling, M. & Fernandes, F. (2001). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.6 – Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG. 483p.

APHA - American Public Health Association; AWWA (2005). - American Water Works Association e WPCF - Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 st ed. Washington, DC.

Chazarenc, F.; Merlin, G. & Gonthier, Y. (2003). Hydrodynamics of horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* 21, 165-173.

Kengne, I.M.; Dodane, P.H.; Akoa, A. & Koné, D. (2009). Vertical-flow constructed wetlands as sustainable sanitation approach for faecal sludge dewatering in developing countries. *Desalination* 248. p. 291-297.

Koottatep, T.; Polprasert, C.; Oanh, N.T.K.; Heinss, U.; Montagero, A. & Strauss, M. (2001). Potentials of Vertical-Flow Constructed Wetlands for Septage Treatment in Tropical Regions. Chapter in: *Advances in Water and Wastewater Treatment Technology. Molecular Technology, Nutrient Removal, Sludge Reduction and Environmental Health*. Matsuo, T., Hanaki, K., Takizawa, S., Satoh, H., eds., Elsevier ISBN: 0-444-50563-6, p. 315-323.

Melidis, P.; Gikas, G.D.; Akrotos, C. S. & Tsihrintzis, V.A. (2010). Dewatering of primary settled urban sludge in a vertical flow wetland. *Desalination* 250. p. 395-398.

Metcalf, L. & Eddy, H. P. (2003). *Wastewater*

engineering: treatment and reuse. 4 ed. Singapore: McGraw-Hill Inc.

Nielsen, S. (2010). Sludge Drying Reed Beds. *Water Science and Technology*. Vol. 48 n. 5, p. 101-109.

Nielsen, S. (2010). Sludge treatment reed bed facilities – organic load and operation problems. In: 12th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, 4 a 8 de outubro, Veneza – Itália. vol. 1, p. 720-727. 2010.

PROSAB 4. (2006). Programa de pesquisa em saneamento básico. Alternativas de uso de resíduos de saneamento. Lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgoto. Curitiba. 398 p.

Reddy, M. (1998). Biological and chemical systems for nutrient removal: a special publication. Alexandria: WEF, 399 p. ISBN 1-57278-123-8.

Spinosa, L. (2010). Sustainability in sludge management: a combined approach to meet

future needs. *Water* 21 – magazine of the IWA. December, pg. 31-33.

Sunnti, C. (2010). Desaguamento de lodo de tanque séptico em filtros plantados com macrófitas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 123p.

Uggetti, E.; Llorens, E.; Pedescoll, A.; Ferrer, I.; Castellnou, R. & Garcia, J. (2009). Sludge dewatering and stabilization in drying reed beds: characterization of three full-scale systems in Catalonia, Spain. *Bioresource and Technology* v.100, p.3882-3890.

Uggetti, E.; Ferrer, I; Llorens, E.; Garcia, J. (2010). Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. *Bioresource Technology* v. 101, p. 2905-2912.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. (1999). Decentralized systems technology fact sheet – septage treatment/disposal. Washington, DC.