



II-382 - DESEMPENHO DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS NO PÓS-TRATAMENTO DE DECANTO-DIGESTOR COM FILTRO ACOPLADO INSTALADO NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

Aníbal da Fonseca Santiago⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Maria Lúcia Calijuri

Doutora em Engenharia Civil. Professora Titular da Universidade Federal de Viçosa (UFV/MG).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências Exatas Avenida P. H. Rolfs, s/n 36570-000 – Viçosa (MG), Brasil Tel.: (31) 3899-3093 Fax: (31) 3899-3098 E-mail: anibalsantiago@gmail.com

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido no município de Nova Redenção, localizado na Região da Chapada Diamantina no estado da Bahia, nordeste brasileiro. Nesse município é grave o quadro de saneamento ambiental, assim como em outros do interior do Brasil. A falta de recursos financeiros e humanos é fator que dificulta a resolução desse problema. Acredita-se que estudos e aprimoramentos de tecnologias simplificadas de coleta e tratamento de esgoto doméstico que superem essas dificuldades estão em consonância com as peculiaridades dessas localidades e são, atualmente, tópicos importantes para pesquisa. Foi objetivo deste trabalho projetar e implantar sistema piloto de tratamento de esgoto doméstico (decanto-digestor com filtro anaeróbio ascendente acoplado, seguido por alagados construídos). Esse sistema foi avaliado em termos da remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes (N e P) e *E. coli.*, durante onze semanas iniciais de operação. Para tanto, caracterizaram-se os afluentes e efluentes das unidades do sistema de tratamento em termos de remoção da matéria orgânica (MO), sólidos (SST), nutrientes (N e P) e *Escherichia coli.* O sistema de tratamento estudado mostrou, depois de onze semanas de monitoramento, 85% de remoção de DQO e 86% de DBO₅; 90% de remoção de SST; a remoção de nitrogênio amoniacal, fósforo total e solúvel foram de: 25%, 36% e 40%, respectivamente. A remoção de *E. coli* foi de 2,1 unidades logarítmicas. A areia utilizada, de granulometria muito fina, afetou sobremaneira a hidrodinâmica dos alagados construídos, fazendo com que houvesse uma lâmina sobre o material suporte. Isso diminuiu o tempo de detenção hidráulica dos alagados e pode ter ocasionado em menor eficiência do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Alagados construídos, Decanto-digestor, Pós-tratamento de efluentes anaeróbios

INTRODUÇÃO

Em localidades carentes é remota a possibilidade de se instalar sistemas sofisticados para coleta e tratamento de esgoto. Isso indica que as tecnologias simplificadas de saneamento devem ocupar lugar de destaque na agenda técnica, acadêmica e político-administrativa de países como o Brasil. CHERNICHARO (1997) relatou que diante do déficit sanitário de países em desenvolvimento, constata-se a necessidade por sistemas simplificados de coleta e tratamento de esgoto.

De acordo com ANDRADE NETO e CAMPOS (1999), dadas às condições ambientais, culturais e econômicas de países em desenvolvimento, as soluções fundamentalmente simples são as que fazem uso dos processos “mais naturais” e de reatores menos mecanizados e mais fáceis de serem construídos e operados.

Dentre as tecnologias simplificadas, os tanques sépticos apresentam-se como alternativa atraente. Estudos e experiências quanto à utilização dessas unidades demonstram a necessidade de pós-tratamento do efluente, já que o mesmo geralmente não se enquadra a padrões adequados de lançamento em corpos d'água (KOOTTATEP, 2004; ANDRADE NETO et al., 1999,), o que implica na necessidade de outro sistema simplificado para pós-tratamento do mesmo. Alagados construídos são opções atrativas para efetuar o pós-tratamento de efluentes anaeróbios de decanto-digestores. Apresentam vantagens com baixo custo de implantação e facilidade de operação (UNEP, 2004), contudo necessitam de grandes áreas (BRIX, 1993), assim como lagoas.

Este trabalho teve por objetivo projetar e implantar sistema piloto de tratamento de esgoto doméstico (decanto-digestor com filtro anaeróbio ascendente acoplado, seguido por alagados construídos). Esse sistema foi avaliado em termos da remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes (N e P) e *E. coli.*, durante onze semanas iniciais de operação

MATERIAL E MÉTODOS

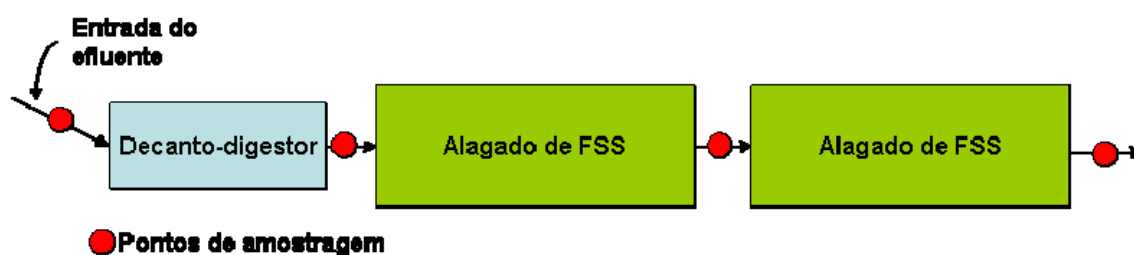
Esse experimento foi desenvolvido no município de Nova Redenção que está situado no estado da Bahia, na Zona Fisiográfica da Chapada Diamantina, semi-árido nordestino, domínio da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu. Tal município localiza-se entre as coordenadas, de latitude S 12°46'00" e de longitude W 41°22'00". É caracterizado por clima transicional entre o tropical-úmido e o semi-árido, com insuficiência de precipitação, baixa umidade do ar e considerável evaporação. A precipitação pluviométrica oscila em torno de 500 mm anuais, podendo ocorrer períodos de seca prolongados, provocando sérios prejuízos à economia da região. (FILHO et al, 2001). A temperatura anual média é de 23,6 °C (SILVA E AZEVEDO, 2000). Esses últimos autores obtiveram o índice hídrico do município ($I_h = -10,9$, para capacidade de água disponível de 125 mm) e observaram que o mesmo indica que essa localidade está inserida em áreas onde há longo período de estiagem.

DESCRIÇÃO GERAL DAS UNIDADES ESTUDADAS

O sistema piloto de tratamento de esgoto doméstico foi constituído por decanto-digestor com filtro acoplado (DD), executado em alvenaria com revestimento interno impermeabilizado. Após o decanto-digestor instalou-se duas unidades de alagados construídos de fluxo sub-superficial em série (Alagado 1 e 2). Os tanques para instalação dos alagados construídos foram escavados e revestidos com geomembrana em PVC com espessura nominal de 1,00 mm e gramatura de 1.300 g m².

A macrófita utilizada foi o capim-tifton 85 (*Cynodon spp.*). A densidade de plantio foi de aproximadamente quinze propágulos por metro quadrado. Optou-se pela utilização de areia lavada, único material possível financeiramente e disponível no local. As unidades de tratamento construídas em escala piloto foram instaladas como indicado na Figura 1 A alimentação do sistema é realizada por meio de canalizações em PVC (100 mm), a partir da rede de coleta.

Figura 1: Diagrama esquemático da unidade piloto estudada.



A taxa de aplicação hidráulica média em cada alagado foi de 117 L m⁻² dia⁻¹ (cada alagado com área superficial de 70 m²). A altura do preenchimento do material suporte adotada foi de 0,6 m. Na Tabela 1 apresentam-se as dimensões do tanque considerando a inclinação dos taludes.

Foi adotada declividade longitudinal de 1 % e a relação comprimento/altura foi igual a 5. Cada alagado possui volume útil de 38,1 m³. Para cálculo desse volume útil considerou-se a altura da lâmina d'água de 0,55 m, 5 cm menor que a altura preenchida pelo material suporte. Assim, o comprimento no nível da água é de 20,55 m e a largura de 4,05 m.

**Tabela 1: Dimensões do alagado construído**

Comprimento a meia profundidade	20,0 m
Largura a meia profundidade	3,5 m
Profundidade	0,6 m
Borda livre	0,2 m
Inclinação do talude	45°
Comprimento do fundo	19,4 m
Comprimento no nível do material suporte	20,6 m
Comprimento da crista do talude	21,0 m
Largura do fundo	2,9 m
Largura no nível do material suporte	4,1 m
Largura da crista do talude	4,5 m

O TDH foi calculado pela razão entre o volume útil e a vazão. Como a água que percorre o material suporte utiliza apenas os espaços vazios, há que se considerar o índice de vazios do material suporte. Neste caso, a areia utilizada tem porosidade de 51%.. Na Tabela 2 apresenta-se as principais características da areia utilizada como meio suporte.

$$\text{TDH} = (38,1 \text{ m}^3 \times 0,51 \text{ m}) / 16,46 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} = 1,18 \text{ dias}$$

VALENTIM (2003) estudou alagados com esse tempo de detenção hidráulica e obteve resultados satisfatórios. No caso deste trabalho como o sistema foi composto por dois alagados em série, obteve-se um tempo total de detenção hidráulica (teórico) nos dois alagados de 2,36 dias.

Tabela 2: Principais características da areia utilizada como material suporte nos alagados construídos.

Granulometria	0,074 a 2,000 mm
Diâmetro específico (D_{10})	0,150 mm
Coefficiente de uniformidade (D_{60}/D_{10})	2,66
Porosidade	51%

AValiação dos Parâmetros de Controle

O monitoramento do sistema de tratamento foi realizado com base nas seguintes variáveis de controle: condutividade elétrica, sódio, cálcio, magnésio, temperatura, pH, sólidos, DQO, DBO₅, série nitrogenada, fósforo total e solúvel e *Echerichia coli*. A determinação da variáveis físico-químicas e bacteriológicas seguiu o disposto no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21 th (APHA, 2005). As análises laboratoriais foram realizadas pelo laboratório do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e Centro de Tecnologia Industrial Pedro Ribeiro (CETIND), localizado na cidade de Lauro de Freitas-BA, na região metropolitana de Salvador. Essa cidade dista de Nova Redenção-BA aproximadamente 430 km.

As amostras foram do tipo compostas, coletadas às 9h, 12h, 15h e 17h nos pontos indicados no esquema da Figura 1. A frequência de amostragem foi semanal. As amostras para análise microbiológica eram coletadas pontualmente às 18h. Horário estabelecido em função da validade da amostra. Nos dias de amostragem também realizou-se nos afluentes e efluentes das unidades de tratamento, o perfil de pH, temperatura (peagâmetro pH – 206 – Lutron) e turbidez (Turbidímetros Plus Alfakit).

A vazão foi medida regularmente nos pontos de entrada e saída das unidades ao longo de um dia, quinzenalmente. O período de monitoramento foi de maio a agosto de 2008.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DO AFLUENTE BRUTO

A vazão média de entrada é de 7,0 m³ dia⁻¹. Trata-se de um valor muito baixo comparado com a vazão de projeto do sistema. Esse valor encontra-se próximo ao da vazão mínima de projeto (8,22 m³ dia⁻¹). Para alcançar aquela



vazão recolhe-se o esgoto de 57 domicílios que abrigam cerca de 213 habitantes. O perfil gerado mostrou que a vazão de entrada do sistema apresenta três principais momentos de picos ao longo do dia. Um no início da manhã, outro ao meio dia e outro no fim da tarde. A maior mediana está na parte da manhã e a variação dos valores em torno das mesmas é mais evidenciada também nesse período.

Com os dados de vazão pode-se obter a carga hidráulica média aplicada nos alagados ao longo do dia, que variou de 35 a 74 mm d⁻¹. A vazão média de saída é de 4,6 m³ d⁻¹. Um montante de aproximadamente 34% do volume de entrada de água é perdido por evapotranspiração.

CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO AFLUENTE BRUTO

O esgoto doméstico afluente a ETE piloto apresentou as seguintes características evidenciadas na Tabela 1. Os valores médios de DBO₅, DQO, nitrogênio amoniacal e orgânico e fósforo total e solúvel foram elevados. Isso demonstra um esgoto concentrado típico de pequena comunidade. Suspeita-se ainda, que os valores elevados das formas de nitrogênio tenham sido em função de açougues clandestinos localizados entre os domicílios atendidos pela rede.

Para o cálculo das cargas superficiais aplicadas ao segundo alagado, foram considerados o valor das concentrações médias das variáveis químicas no efluente do alagado 1; quanto a vazão, considerou-se uma perda de água de 17 % da vazão de entrada do DD. Nos alagados há uma perda de água, por evapotranspiração, de 34% (vide item 3.1). Para se chegar ao valor de 17 % considerou-se que os dois alagados perdem a mesma quantidade de água por evapotranspiração. A Tabela 2 apresenta as cargas superficiais aplicadas nos alagados.

Tabela 3: Caracterização do esgoto doméstico afluente à ETE piloto.

Parâmetro	Unidade	Número de amostras	Efluente Bruto (média)	Desvio padrão
pH	-	6	7,61	± 0,14
Temperatura	°C	11	27,19	± 0,68
Alcalinidade total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	11	528	± 203
DQO	mg L ⁻¹	11	966	± 416
DBO ₅	mg L ⁻¹	11	389	± 170
Sódio (Na)	mg L ⁻¹	11	170	± 24
Cálcio (Ca)	mg L ⁻¹	11	52	± 34
Magnésio (Mg)	mg L ⁻¹	11	13	± 2
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	11	1087	± 195
Sólidos em suspensão	mg L ⁻¹	11	126	± 129
Sólidos sedimentáveis	mL L ⁻¹	11	1,0	± 3
Fósforo Total	mg L ⁻¹	11	16	± 4
Fósforo Total Solúvel	mg L ⁻¹	11	13	± 5
<i>Escherichia coli</i>	UFC 100 ⁻¹ mL ⁻¹	10	3,7x10 ⁷	± 2,4 x 10 ⁷
Nitrogênio amoniacal	mg L ⁻¹	11	94	± 36
Nitrogênio orgânico	mg L ⁻¹	11	22	± 17
Condutividade elétrica	µS/cm	11	1832	± 293

Tabela 4: Cargas superficiais aplicadas no sistema de alagados

	gDQO m ² d ⁻¹	gDBO ₅ m ² d ⁻¹	gN-Amon m ² d ⁻¹	gN-Org m ² d ⁻¹	gPT m ² d ⁻¹	gPTS m ² d ⁻¹
Alagado 1	31,4	12,5	8,9	2,0	1,4	1,2
Alagado 2	9,7	3,7	6,2	1,8	1,0	0,9

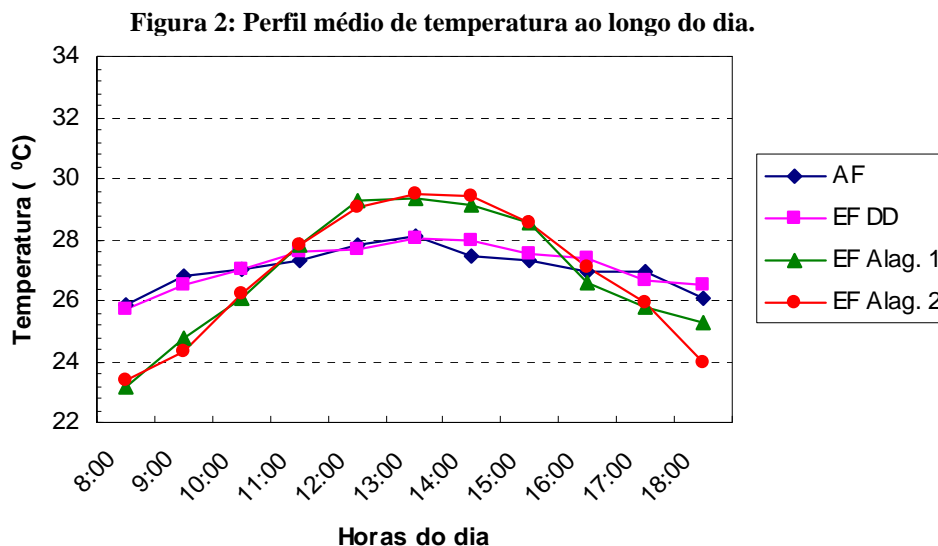
As cargas orgânicas superficiais aplicadas, em termos de DQO e DBO₅, mostradas na Tabela 2 tanto no primeiro, quanto no segundo alagado estão dentro da faixa utilizada com sucesso por VALENTIM (2003). Já SOUZA et al.(2004) utilizaram valores bem menores aos aqui apresentados, faixa de 5,01 a 9,45 gDQOm⁻² d⁻¹.



DESEMPENHO DO SISTEMA NO TRATAMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO

Temperatura

A Figura 2 apresenta o perfil médio de temperatura ao longo do dia nos afluentes e efluentes das unidades de tratamento. Realizou-se um total de onze perfis semanais de temperatura no período de monitoramento.

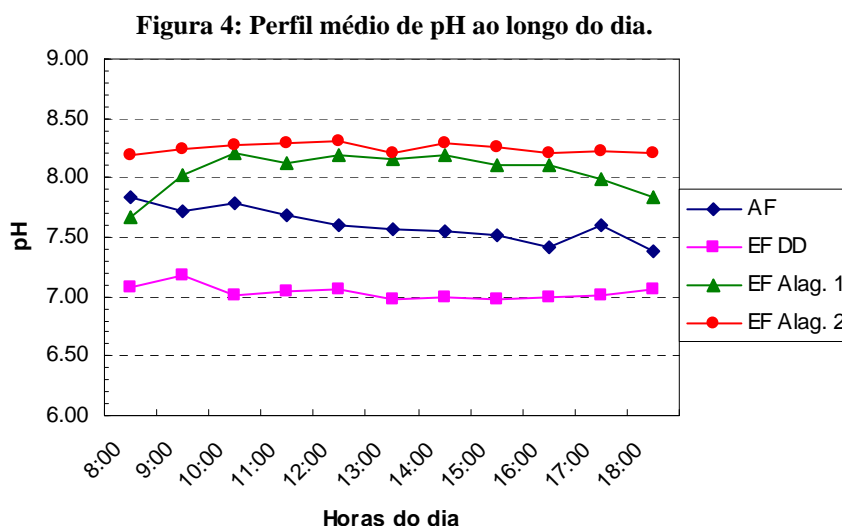


O esgoto bruto apresentou temperatura média de $27,19 \pm 0,68$ °C; o efluente do DD, $27,20 \pm 0,87$ °C. Os alagados 1 e 2 apresentaram temperaturas médias em seus efluentes de $26,81 \pm 1,99$ °C e $25,54 \pm 2,19$ °C, respectivamente. Os maiores valores de desvio padrão da temperatura dos efluentes dos alagados indicam a maior variação de temperatura nesses efluentes.

pH

A Figura 4 mostra o perfil médio de pH dos afluentes e efluentes das unidades do sistema de tratamento, ao longo do dia. Realizou-se um total de seis perfis de pH no período de monitoramento.

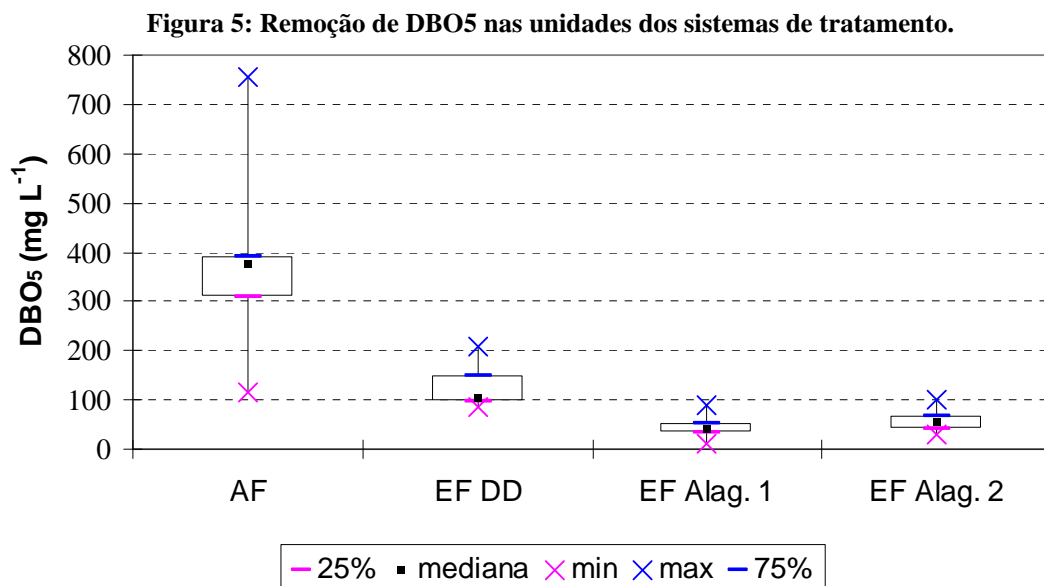
O pH médio do esgoto bruto foi de $7,6 \pm 0,1$ já o do decanto digestor, um pouco mais baixo ($7,0 \pm 0,1$), provavelmente devido a produção de ácidos orgânicos no processo de digestão anaeróbia que ocorre nessa unidade. O pH dos efluentes dos alagados tem valores médios mais elevados, $8,1 \pm 0,2$, para o alagado 1 e $8,6 \pm 0,1$, para o alagado 2. O aumento do pH durante o dia pode ser explicado pelo consumo de CO_2 por algas que estão na pequena lâmina d'água formada ao longo dos dois alagados.



De modo geral, os valores de pH dos efluentes mostraram-se estáveis, isso é importante, por permitir que as reações químicas e, principalmente os processos biológicos, ocorram de modo regular, proporcionando estabilidade na remoção dos poluentes.

Matéria Orgânica

A Figura 5 ilustra a remoção de matéria orgânica ocorrida nas unidades dos sistemas de tratamento. (note que DD=decanto digestor; Alag. 1=primeiro alagado; Alag. 2= segundo alagado).



A matéria orgânica era removida, primeiramente, no decanto-digestor, que imprimia eficiência de remoção média da ordem de 68% de DQO e de DBO₅. Houve rápida estabilização de remoção de matéria orgânica no DD e no Alagado 1, desde a primeira semana de monitoramento. O segundo alagado apresentou valores de DBO e DQO₅ em seu efluente, mais elevado que em seu afluente, por problemas na operação até a oitava semana de monitoramento. A eficiência global do sistema em termos de remoção de matéria orgânica foi de 86±8% para DQO e 85±11% para DBO₅, atendendo as normas vigentes de lançamento de efluentes.

Sólidos suspensos totais

A Tabela 5 apresenta a caracterização referente aos sólidos e a eficiência de remoção dos mesmos (média e desvio padrão) monitorados através do parâmetro SST, nos afluentes e efluentes de cada unidade do sistema de tratamento piloto. A Figura 6 ilustra a remoção de SST ocorrida nas unidades dos sistemas de tratamento. O decanto-digestor apresenta eficiência de remoção de 57 % em relação aos SST. Na literatura a eficiência desse sistema na remoção de SST está na faixa de 55 a 80 % (ANDRADE NETO *et al.*, 1999).

O primeiro alagado apresentou remoção adicional de SST em torno de 68±28% e o segundo alagado, 29%. A eficiência global do sistema ficou em 90±38% para SST. Está é uma eficiência elevada, já que o sistema encontra-se no início de sua operação.

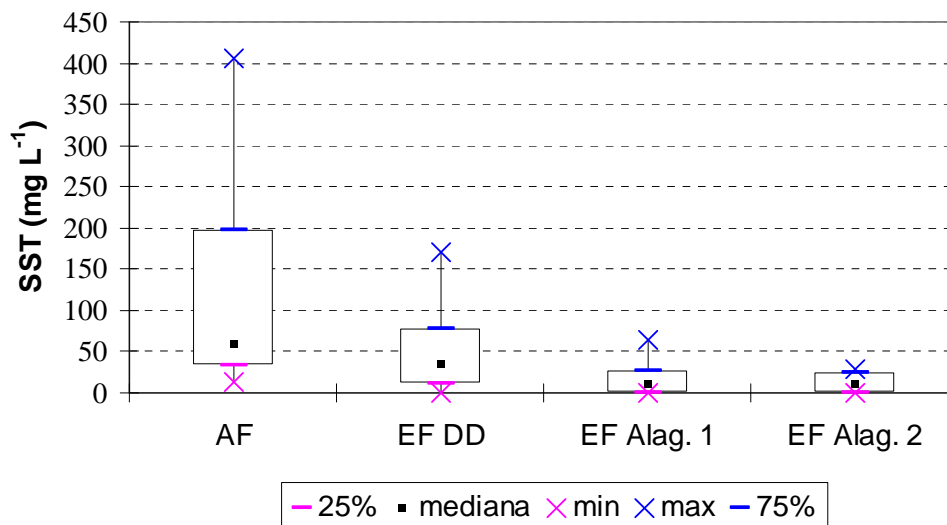
Tabela 5: Caracterização e eficiência de remoção dos parâmetros (média e desvio padrão) referentes aos sólidos.

	Parâmetros	Afluente	Efluente	Eficiência de remoção (%)
DD	SST (mg L ⁻¹)	126 ± 129	54 ± 64	57 ± 70
Alag. 1	SST (mg L ⁻¹)	54 ± 64	17 ± 22	68 ± 28
Alag. 2	SST (mg L ⁻¹)	17 ± 22	12 ± 13	29 ± 67
Eficiência total do sistema				90 ± 38

Número de amostras analisadas = 11



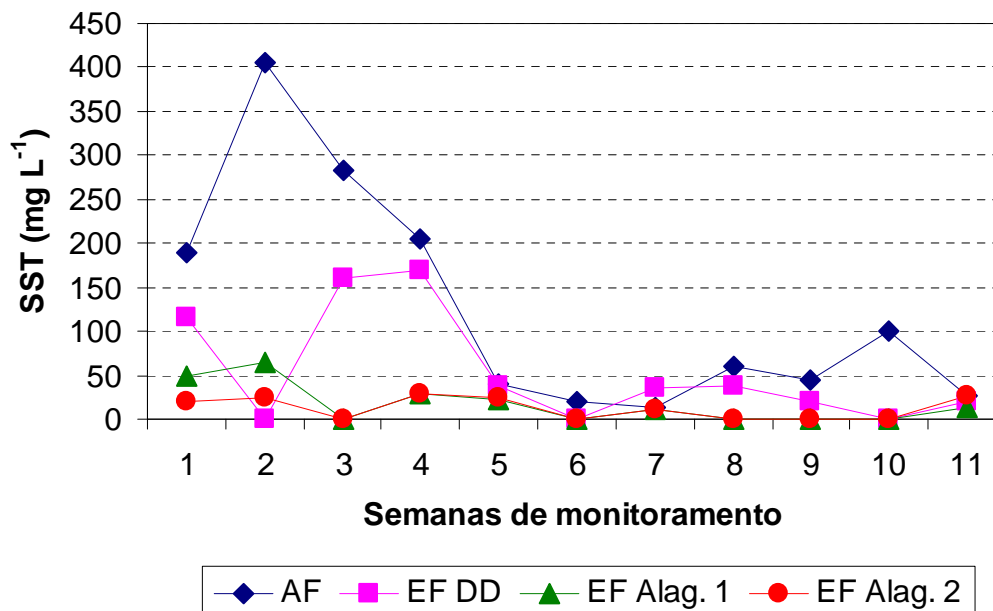
Figura 6: Remoção de SST nas unidades dos sistema de tratamento



Os bons resultados de remoção de SST no sistema, e também no segundo alagado, demonstram que o acréscimo de matéria orgânica ocorrido nessa última unidade é em função de sólidos dissolvidos.

A Figura 7 mostra a evolução da concentração de SST nos afluentes e efluentes das unidades do sistema. Ao longo do período de monitoramento a remoção de SST nos alagados mostrou-se bastante estável. Os valores de concentração de SST no efluente final do sistema tiveram um mínimo de não detectável mg L^{-1} e máximo de 28 mg L^{-1} .

Figura 7: Evolução da redução dos sólidos suspensos totais nas unidades do sistema de tratamento piloto.



Remoção de nitrogênio amoniacal

A Tabela 6 apresenta a caracterização referente à concentração de nitrogênio amoniacal e a eficiência de remoção do mesmo (média e desvio padrão), monitorada nos afluentes e efluentes de cada unidade do sistema de tratamento piloto. A Figura 8 ilustra a remoção de nitrogênio amoniacal ocorrida nas unidades dos sistemas de tratamento.



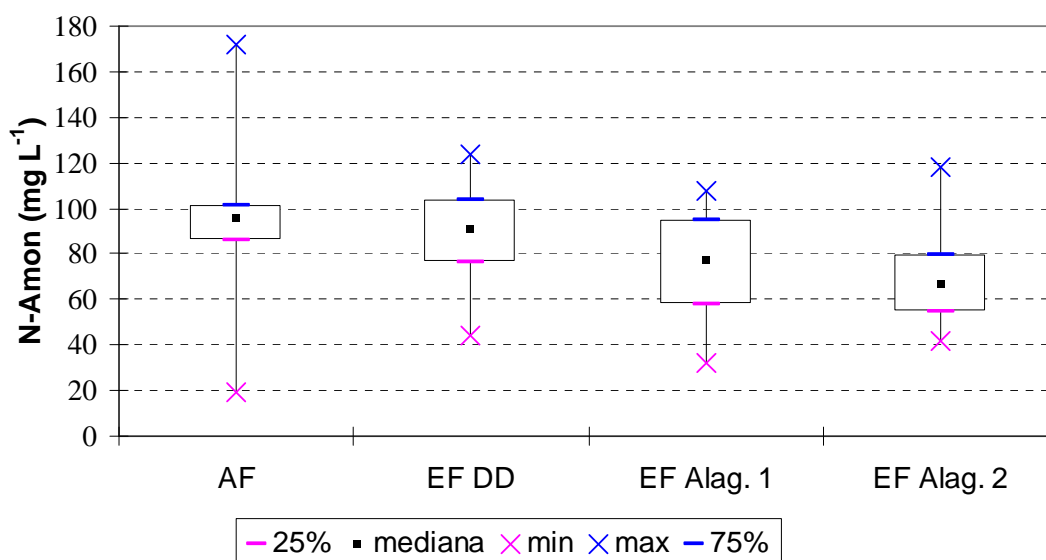
Nota-se, com os dados apresentados na Tabela 6 e no gráfico da Figura 8, que a remoção de N-Amon foi pequena. Outros trabalhos, como os de CALIJURI et al. (2007) e SILVA et al. (2007) apresentaram, mesmo no início de operação, como é o caso deste, resultados mais satisfatórios em relação a remoção de N-Amon.

Tabela 6: Caracterização e a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal (média e desvio padrão).

	Parâmetros	Afluente	Efluente	Eficiência de remoção (%)
DD	N-Amon (mg L^{-1})	$93,4 \pm 44,9$	$106,9 \pm 41,6$	-14 ± 84
Alag. 1	N-Amon (mg L^{-1})	$106,9 \pm 41,6$	$66,9 \pm 30,3$	37 ± 18
Alag. 2	N-Amon (mg L^{-1})	$66,9 \pm 30,3$	$75,5 \pm 33,7$	-13 ± 22
		Eficiência total do sistema		25 ± 63

Número de amostras analisadas = 11

Figura 8: Remoção de nitrogênio amoniacal ocorrida nas unidades dos sistemas de tratamento.

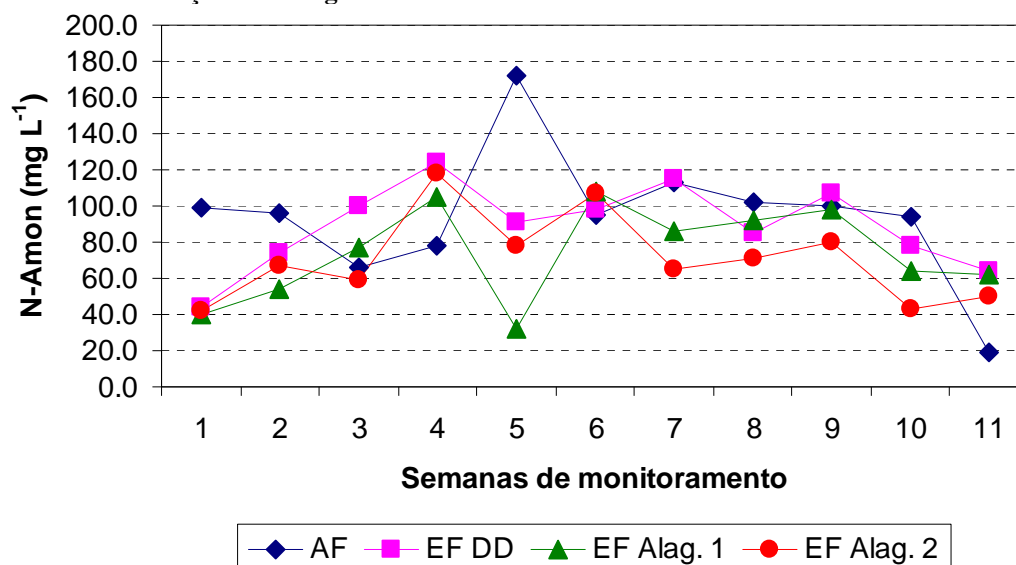


A Figura 9 apresenta a evolução da concentração de nitrogênio amoniacal nos afluentes e efluentes das unidades do sistema. Observa-se que na quarta semana o Alagado 2 acrescenta N-Amon em seu efluente. Tal fato deve-se possivelmente ao mesmo motivo que levou esse alagado a acrescentar matéria orgânica em seu efluente, que é a decomposição da palha de macrófita sob o material suporte colocado posteriormente.

O segundo alagado apresenta eficiência de 25% de remoção de N-Amon, em termos de massa. Isso demonstra que o acréscimo na concentração, representado pela eficiência negativa, apresentada na Tabela 6, é mascarado em função do volume de água perdido por evapotranspiração no alagado e conseqüente concentração do seu efluente.



Figura 9: Concentração de nitrogênio amoniacal nos afluentes e efluentes das unidades do sistema.



Na Figura 9 observa-se também que a partir da terceira semana ocorre tendência de aumento da concentração de N-Amon no efluente do DD em relação ao efluente bruto. Esse fato é esperado, visto que todo sistema anaeróbio apresenta capacidade de amonificação de seu efluente. A transformação do nitrogênio orgânico em amoniacal pelo DD marcou também o início da maior remoção de matéria orgânica pelo mesmo e a diminuição da emissão de odores.

Remoção de fósforo

A Tabela 7 apresenta a caracterização referente à concentração de fósforo e a eficiência de remoção do mesmo (média e desvio padrão) monitorados através dos parâmetros fósforo total e fósforo total solúvel, nos afluentes e efluentes de cada unidade do sistema de tratamento piloto.

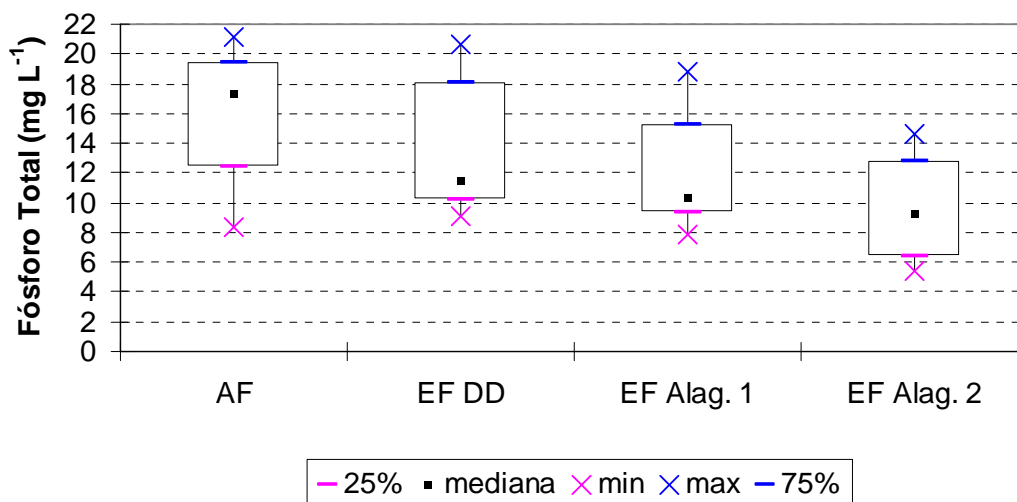
Tabela 7: Caracterização e a eficiência de remoção dos parâmetros (média e desvio padrão) referente ao fósforo.

	Parâmetros	Afluente	Efluente	Eficiência de remoção (%)
DD	PT (mg L ⁻¹)	16 ± 4	14 ± 4	10 ± 30
	PTsolúvel (mg L ⁻¹)	13 ± 5	12 ± 4	10 ± 41
Alag. 1	PT (mg L ⁻¹)	14 ± 4	12 ± 4	13 ± 7
	PTsolúvel (mg L ⁻¹)	12 ± 4	11 ± 5	9 ± 29
Alag. 2	PT (mg L ⁻¹)	12 ± 4	10 ± 4	18 ± 13
	PTsolúvel (mg L ⁻¹)	11 ± 5	8 ± 4	27 ± 24
Eficiência total do sistema				36 ± 25
				40 ± 43

Número de amostras analisadas = 11

A Figura 10 ilustra a remoção de fósforo total ocorrida nas unidades dos sistemas de tratamento. Mostrou-se em gráfico apenas os dados do fósforo total, dada a semelhança da dinâmica de remoção destes dois parâmetros ocorridas neste trabalho.

Figura 10: Remoção de fósforo total ocorrida nas unidades dos sistemas de tratamento.



O DD contribuiu, durante o período monitorado, para que a concentração de fósforo se mantivesse estável no afluente aos alagados. Nota-se uma capacidade dos alagados, ainda que incipiente, de remoção de fósforo, se comparado com os dados de SOUZA et al. (2003), que no primeiro ano de monitoramento de alagados tratando efluente anaeróbio (de reator UASB) encontraram eficiência de remoção de até 90 %.

Na Figura 11 e 12 são apresentadas a evolução da concentração de fósforo total e fósforo total solúvel nos afluentes e efluentes de cada unidade do sistema ao longo do período monitorado. Observa-se uma tendência no aumento de remoção ligada, talvez, ao fato da macrófita ainda estar em desenvolvimento Segundo SOUZA et al. (2003), a remoção de fósforo nos sistemas de alagados ocorre pela precipitação química, pela adsorção, pela assimilação dos vegetais e biofilmes formados no material suporte e no sistema radicular da vegetação. O fósforo solúvel é prontamente assimilado pelas raízes das plantas.

Figura 11: Evolução da concentração de fósforo total nos afluentes e efluentes de cada unidade do sistema.

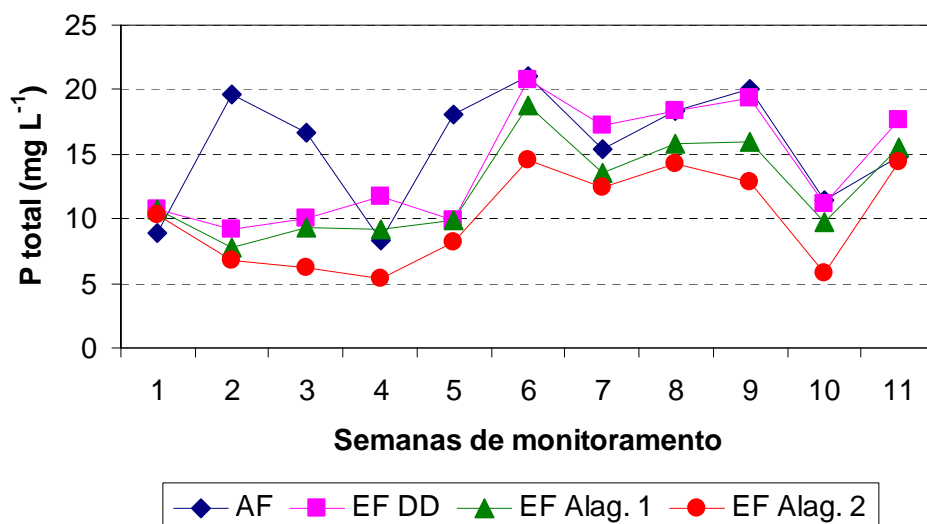
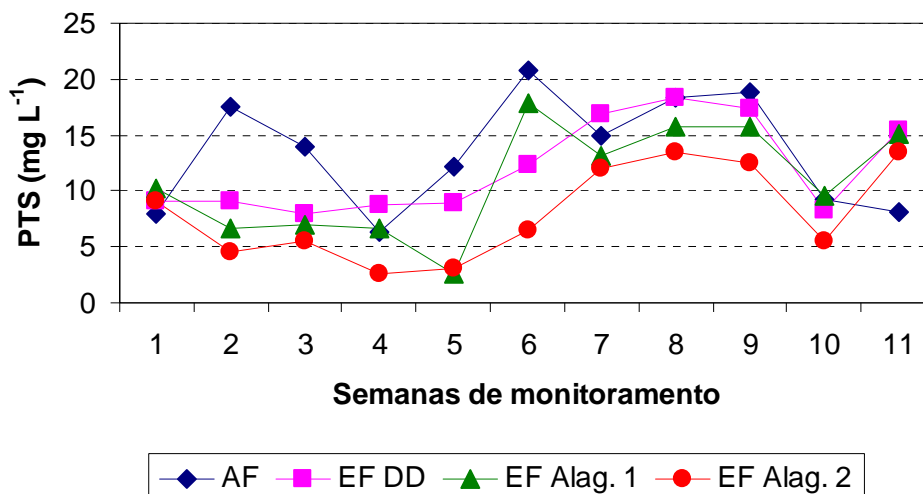




Figura 12: Evolução da concentração de fósforo solúvel total nos afluentes e efluentes de cada unidade do sistema.



Nota-se que a concentração do efluente dos dois alagados acompanha a variação do efluente bruto e do decanto-digestor. Isso demonstra a instabilidade dos alagados na remoção de fósforo.

A eficiência global de remoção de fósforo foi de $36 \pm 25\%$ para o fósforo total e de $40 \pm 43\%$ para o fósforo total solúvel. Os valores elevados de desvio padrão mostram a instabilidade, ainda declarada, da eficiência global de remoção.

E. coli

A Tabela 8 apresenta a caracterização referente à concentração de *Escherichia coli* e a eficiência de remoção desse parâmetro (média e desvio padrão) monitorado nos afluentes e efluentes de cada unidade do sistema de tratamento piloto.

Os dois alagados apresentaram, durante o período monitorado, baixa eficiência de remoção de *E. coli*, menor até mesmo que a eficiência do DD. A baixa eficiência pode ser atribuída ao não estabelecimento por completo da macrófita. SOUZA et al. (2003), relatou que alagados com presença de macrófitas tendiam a maior eficiência na remoção de indicadores de contaminação fecal, assim como CALIJURI et al. (2007).

VALENTIM (2003) encontrou valores baixos de remoção de *E. coli* em todo o período de monitoramento dos seus alagados, mesmo para os que já apresentavam as macrófitas bem estabelecidas. Esse autor concluiu que existe limitação quanto à eficiência de remoção de *E. coli* nesses sistemas com tempos de detenção hidráulica teóricos menores que 6 dias. Assim, dependendo da destinação final do efluente, um pós-tratamento como a desinfecção deve ser aplicado.



Tabela 8: Caracterização e a eficiência de remoção dos parâmetros (média e desvio padrão) referente à *E. coli*.

	Parâmetros	Afluente	Efluente	Eficiência de remoção (unid log)
DD	<i>E. coli</i>	$3,7 \times 10^7$	$1,5 \times 10^6$	$1,39 \pm 0,28$
	(UFC 100^{-1} mL $^{-1}$)	$\pm 2,4 \times 10^7$	$\pm 7,9 \times 10^5$	
Alag. 1	<i>E. coli</i>	$1,5 \times 10^6$	$5,9 \times 10^5$	$0,41 \pm 0,33$
	(UFC 100^{-1} mL $^{-1}$)	$\pm 7,9 \times 10^5$	$\pm 3,9 \times 10^5$	
Alag. 2	<i>E. coli</i>	$5,9 \times 10^5$	$2,9 \times 10^5$	$0,31 \pm 0,16$
	(UFC 100^{-1} mL $^{-1}$)	$\pm 3,9 \times 10^5$	$\pm 1,5 \times 10^5$	
Eficiência total do sistema				$2,11 \pm 0,38$

Número de amostras analisadas = 10

A Tabela 9 apresenta resumo da eficiência de cada unidade e a global do sistema.

Tabela 9: Resumo da eficiência de cada unidade e a global do sistema.

Parâmetro	Eficiência do DD	Eficiência do Alagado 1	Eficiência do Alagado 2	Eficiência Global
Alcalinidade total	-21%	6%	10%	-2%
DQO	68%	63%	-17%	86%
DBO ₅	68%	64%	-30%	85%
Sólidos em suspensão	57%	68%	29%	90%
Fósforo Total	10%	13%	18%	36%
Fósforo Total Solúvel	10%	9%	27%	40%
<i>Escherichia coli</i>	1.4*	0.4*	0.3*	2.1
Nitrogênio amoniacal	5%	16%	5%	25%
Condutividade elétrica	-2%	4%	7%	9%

*remoção em termos de unidades logarítmicas.

CONCLUSÕES

O sistema de tratamento estudado mostrou, depois de onze semanas de monitoramento, 85% de remoção de DQO e 86% de DBO₅; 90% de remoção de SST; a remoção de nitrogênio amoniacal, fósforo total e solúvel foram de: 25%, 36% e 40%, respectivamente. A remoção de *E. coli* foi de 2,1 unidades logarítmicas.

A areia utilizada, de granulometria muito fina, afetou sobremaneira a hidrodinâmica dos alagados construídos, fazendo com que houvesse uma lâmina sobre o material suporte. Isso diminuiu o tempo de detenção hidráulica dos alagados e pode ter ocasionado menor eficiência do sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Proc. 500075/2006-9) e à FAPEMIG pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE NETO, C. O., ALEM SOBRINHO, P., MELO, S. N. H., AISSE, M. M.(1999) Decanto-digestores. In: Tratamento de esgoto sanitário por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. CAMPOS, J. R. (Coordenador). Rio de Janeiro: ABES. p. 117-138. (Projeto PROSAB).
- APHA. (2005). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21. ed, Washington: APHA, AWWA, WEF.



3. CALIJURI, M. C., BASTOS, R. K. X., BEVILACQUA, P. D., CAPELETE, B. C. MAGALHÃES, T. B. (2007) Operação de partida de sistemas wetlands construídos como pós-tratamento de efluentes (esgoto sanitários) de reatores UASB. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte MG, ABES CD ROM.
4. CHERNICHARO, C.A. L. (1997) Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFGM. 246 p.
5. COOPER, P.F., JOB, G.D., GREEN, M.B., SHUTES, R.B.E., (1996). Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. WRc Swindon, Wiltshire, UK.
6. COOPER, P., (2001). Constructed wetlands and reed beds: mature technology for the treatment of wastewater from small populations. J. Chartered Inst. Water Environ. Manag. 15 (2): 79–85.
7. KADLEC, R.H., KNIGHT, R.L., VYAMAZAL, J., BRIX, H., COOPER, P., HABERL, R., (2000) Constructed Wetlands Water Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, Scientific and Technical Report No. 8. IWA Publishing.
8. KOOTTATEP, T., SURINKUL, N., POLPRASERT, C., ASM KAMAL., KONÉ, D., MONTANGERO, A., HEINSS, U., AND STRAUSS, M. Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate – Lessons learnt after seven years of operation. In: Processings of the 9th International IWA Specialist Group Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control and 6th International IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds. Avignon, France, 27 Sept. – 1 Oct., 2004, and published in Water Science & Technology, Vol. 51 (9) pp 119–126.
9. MBULIGWE, S. E. (2004) Comparative effectiveness of engineered wetland systems in the treatment of anaerobically pre-treated domestic wastewater Ecological Engineering. 23: 269–284.
10. SHUTES, R.B.E. (2001) Artificial wetlands and water quality improvement. Environment International. 26: 441-447.
11. SILVA, B. G. E AZEVEDO, P. V. (2000) Potencial edafoclimático da “Chapada Diamantina” no Estado da Bahia para o cultivo de Cítrus. Revista Brasileira de Agrometeorologia. 8 (1): 133-139.
12. SOUSA, J. T. DE, VAN HAANDEL, A.C. GUIMARÃES, A.V.A. (2003) Performance of constructed wetland systems treating anaerobic effluents. Water Science and Technology, v.48, n.6, p. 295-299.
13. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, UNEP. INTEGRATED WATERSHED MANAGEMENT - ECOHYDROLOGY & PHYTOTECNOLOGY - Manual. Disponível em: <http://www.unep.or.jp/ietc/publications/freshwater/watershed_manual/>. Consultada em 12/03/2007.
14. VALENTIM, M.A.A. (2003) Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. Tese de Doutorado - FEAGRI– Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP - Campinas, SP, 210 p.