

## II-301 - INFLUÊNCIA DE PLANTAS NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES EM UM SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL, ATUANDO COMO PÓS-TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UM SISTEMA REATOR UASB – FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR

**Jocilene Ferreira da Costa**

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Mato Grosso. Mestre em Tecnologias Ambientais e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos/UFMG.

**Marcos von Sperling<sup>(1)</sup>**

Doutor pelo Imperial College – Londres. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Martin Seidl**

Doutor em Ciências Ambientais - Escola Nacional de Engenharia Civil da Universidade de Paris (ENPC). Pesquisador do LEESU (França) e UFMG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; Av. Antônio Carlos 6627 – Escola de Engenharia, Bloco 1 - sala 4622; 31270-901 - Belo Horizonte – Brasil. Tel.: +55 31 3409-1935; e-mail: [marcos@desa.ufmg.br](mailto:marcos@desa.ufmg.br)

### RESUMO

Um sistema composto por alagado construído (SAC) de escoamento horizontal subsuperficial, compreendendo duas unidades em paralelo (50 habitantes cada), atuando como polimento do efluente de reator UASB seguido por filtro biológico percolador, foi avaliado para o tratamento de águas residuárias geradas na cidade de Belo Horizonte - MG. Uma unidade foi plantada com *Typha latifolia* e a outra não foi vegetada. Amostras quinzenais do afluente e do efluente das unidades do SAC foram avaliadas. Nas taxas de aplicação praticadas, com média de 0,11 e 0,12 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> para as unidades plantada e não plantada, e tempo de detenção hidráulica média de 1,4 e 1,3 d, para as unidades plantada e não plantada, respectivamente, o efluente final apresentou excelente qualidade em termos de matéria orgânica e sólidos suspensos. Os valores médios de concentração no efluente das unidades plantada e não plantada foram, respectivamente: DBO<sub>5</sub>: 14 e 13 mg.L<sup>-1</sup>; DQO: 27 e 32 mg.L<sup>-1</sup>; NT: 23 e 25 mg.L<sup>-1</sup>; P: 1,3 e 1,3 mg.L<sup>-1</sup>. Houve predominância de condições anaeróbias e anóxicas ao longo do SAC.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de Alagado Construído, Nutrientes, Matéria orgânica, Reator UASB, Filtro Biológico Percolador; *Wetlands*.

### INTRODUÇÃO

É bastante importante a utilização de tecnologias economicamente viáveis de tratamento de águas residuárias para as nossas condições atuais de saneamento. A utilização do reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) tem se mostrado uma solução bastante eficiente, podendo ser uma solução para o tratamento secundário de esgotos, uma vez que esse reator, quando operado adequadamente, com tempo de detenção hidráulica entre 6 e 8 horas, remove DQO e DBO<sub>5</sub> com eficiência próxima a 60 e 70%, respectivamente. No entanto, é necessário que o efluente advindo do reator UASB seja submetido a um pós-tratamento a fim de complementar a remoção de matéria orgânica e remover ainda, sobretudo, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e organismos patogênicos.

Os Filtros Biológicos Percoladores (FBPs) são sistemas de tratamento de esgotos baseados no princípio da oxidação bioquímica aeróbia do substrato orgânico presente nos esgotos. Pesquisas desenvolvidas recentemente no país vêm demonstrando que os FBPs atuando como pós-tratamento de reatores de manta de lodo (UASB) possibilitam o atendimento aos padrões de lançamento de DBO, DQO e SST, e podem promover a nitrificação, dependendo da taxa aplicada.

Arias e Brix (2003) citam que, dentre as soluções que têm chamado atenção situam-se aquelas que simulam sistemas naturais, como brejos, onde a vegetação presente auxilia na purificação das águas. Durante os últimos 20 anos, considerável interesse tem sido dedicado para o potencial de uso de uma variedade de sistemas biológicos naturais para ajudar na descontaminação da água de maneira controlada.

Os Sistemas de Alagados Construídos (SACs) são considerados como um método de tratamento que utiliza tecnologia simples, de fácil operação e custo baixo. Estes sistemas são artificialmente projetados para utilizar plantas aquáticas em substratos como areia, cascalho, brita ou outro material inerte. No meio suporte ocorre o desenvolvimento de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos, os quais, por meio de processos biológicos, químicos e físicos, tratam águas residuárias (SOUSA *et al.*, 2000, 2003). Algumas plantas já foram avaliadas em SACs tais como: caniço (*Phragmites australis*), junco (*Scirpus spp.*) e taboa (*Typha spp.*)

No tratamento de efluentes domésticos, os SACs têm sido eficientes como uma etapa de polimento de vários sistemas de tratamento de esgotos, principalmente para a remoção complementar da matéria orgânica e de sólidos. Em estudos na Austrália, a média de eficiência de SACs atingiu 81% e 83% para DBO e SST, respectivamente (DAVISON *et al.*, 2004). Na República Tcheca, evidenciou-se eficiência de remoção de 81%, 89% e 91% para DQO, DBO e SST, respectivamente (VYMAZAL, 2004). Em regiões de clima semiárido, como a Espanha, remoções de 63% a 93%, 50% a 88% e 58% a 94% foram obtidas para DQO, DBO e SST, respectivamente (SOLANO *et al.*, 2004). No Brasil, foram obtidas remoções de 77% e 81% para DQO e SST, respectivamente (VALENTIM, 2003).

Sezerino e Philippi (2000) encontraram valores de 74% para remoção de N Amoniacal em SACs. Sousa *et al.* (2004) avaliaram, durante três anos de monitoramento, o desempenho de SACs recebendo efluente de reator UASB a remoção de DQO variou de 70 a 86% de eficiência. Para o NTK e P total o sistema foi mais eficiente no primeiro ano de operação, atingindo 66 e 86% de remoção, respectivamente. Calijuri *et al.* (2009), avaliando reator UASB seguido de SACs, obtiveram eficiências médias de remoção para os parâmetros SST, DBO e DQO de 70, 80 e 60%, respectivamente. Os valores para remoções de nutrientes variaram de 22 a 67% para NTK, de 23 a 82% para amônia (N-NH<sub>3</sub>) e de 25 a 79% de P-total, com os maiores valores para o primeiro ano do experimento. Mbuligwe (2004), estudando SACs de escoamento horizontal subsuperficial vegetada com taboa e uma unidade não vegetada, utilizados como pós-tratamento de UASB, observou que as verificou desempenhos satisfatórios para a remoção de DQO, amônia e fósforo, com valores de eficiência média de 79, 74 para unidade plantada e 69% para a não plantada.

A maioria das plantas, no entanto, são capazes de absorver qualquer forma de nitrogênio solúvel. Concentrações de nutrientes na vegetação tendem a ser mais altas no início do crescimento, diminuindo à medida que a planta amadurece e tende à senescência (Vymazal, 2007).

O presente estudo tem como objetivo avaliar o papel de plantas e mais especificamente de *Typha latifolia* (taboa) na remoção de matéria orgânica e nutrientes (N e P) em um Sistema Alagado Construído de escoamento horizontal subsuperficial atuando como pós-tratamento de efluentes sanitários oriundos de um sistema composto por reator UASB e Filtro Biológico Percolador Aberto, localizado na cidade de Belo Horizonte - MG.

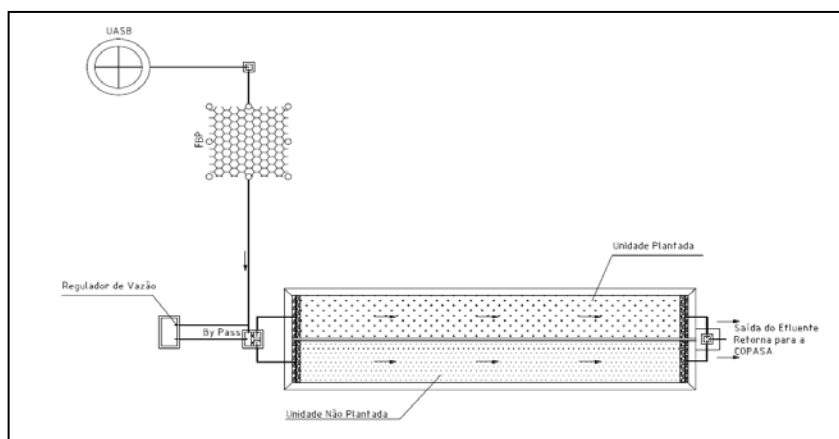
## **MATERIAL E MÉTODOS**

O projeto foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgotos Experimental, pertencente ao CePTS (Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento) UFMG/COPASA, localizado na ETE Arrudas, nas coordenadas geográficas de 19°53'42" S e 43°52'42" O, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. A Figura 1 mostra uma vista aérea da ETE Arrudas com destaque para a localização do CePTS.



**Figura 1 - Vista aérea do CePTS UFMG/Copasa, com destaque para os SACs**  
Fonte: Google Earth

A montante do sistema experimental o esgoto recebe tratamento preliminar, composto por gradeamento mecanizado (grade grossa e fina) e desarenador. A unidade experimental é composta por um SAC de escoamento horizontal subsuperficial com leito de escória siderúrgica, utilizado para o pós-tratamento de esgoto sanitário oriundo de reator UASB e Filtro Biológico Percolador Aberto – FBPA (Figura 2). De setembro 2007 a agosto 2011 os SACs operaram fazendo o pós-tratamento do efluente do reator UASB. Após tal, de setembro 2011 a dezembro 2012, os SACs fizeram o polimento do efluente do FBPA, situado a jusante do reator UASB. O presente trabalho diz respeito a esta segunda fase operacional.



**Figura 2 - Desenho esquemático do sistema UASB – FBPA – SAC**

As duas unidades do SAC operaram em paralelo, tendo sido projetadas para tratar uma vazão de 7,5 m<sup>3</sup>/d cada (aproximadamente 50 habitantes cada). As dimensões básicas de cada unidade são: comprimento = 24,1 m; largura = 3,0 m; altura total do leito = 0,40 m; altura útil do líquido no leito = 0,30 m. O meio suporte é composto por escória siderúrgica, com granulometria definida por  $d_{10} = 19$  mm, coeficiente de desuniformidade  $d_{60}/d_{10}=1,2$  e porosidade = 0,40. Uma das unidades (UP) foi plantada com taboa (*Typha latifolia*), respeitando uma densidade mínima inicial de 4 plantas por m<sup>2</sup>, e com podas periódicas. A outra unidade (UNP) foi mantida sem plantas, como controle do experimento.

O monitoramento teve frequência (em torno de 70 dados), quinzenalmente. Para monitoramento do sistema foram coletadas amostras do esgoto bruto, do efluente do FBPA e efluente das unidades plantada e não plantada, além de em três pontos distintos ao longo do comprimento das mesmas. Foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos: POR, OD, pH, Sólidos, DQO<sub>total</sub>, DBO<sub>5</sub> e Nitrogênio Total, NTK, Nitrito e Nitrato. As análises foram realizadas de acordo com os procedimentos constantes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2005).

Para a avaliação do crescimento e capacidade de extração de nutrientes das plantas, amostras da taboa foram avaliadas através de medições e análise de biomassa na parte aérea. Em quatro áreas distintas ao longo do comprimento de cada SAC foram selecionadas 10 plantas e etiquetadas logo após poda. As medições foram feitas com trena. Foi realizada a determinação da matéria úmida, seca e análises de N, P das amostras.

A análise estatística dos dados para comparar o desempenho entre as unidades plantada e não plantada foi realizada através do teste não paramétrico entre variáveis dependentes Wilcoxon a 5% de significância, empregando o software Statistica®.

## RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das vazões médias, correspondendo a uma taxa de aplicação hidráulica média de aproximadamente  $0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  para a unidade plantada e  $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  na unidade não plantada. O tempo de detenção hidráulica (TDH) teórico médio foi de 1,4 d e 1,3 d para as unidades plantada e não plantada, respectivamente. A perda de água percentual foi calculada como a diferença entre as vazões de entrada e de saída dividida pela vazão de entrada.

**Tabela 1: Médias das vazões e taxas de aplicação.**

Unidade	Taxa de aplicação hidráulica ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ )	TDH (d)	Vazão afluente média ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	Vazão efluente média ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	Perda de água (%)
SAC – plantado	0,11	1,4	8,3	6,6	20%
SAC – não plantado	0,12	1,3	8,9	7,3	18%

Nota-se que as vazões efluentes das duas unidades foram menores que as afluentes, e que a unidade plantada apresentou maior perda de água. Esse fato pode ser explicado devido à evaporação que ocorre nas duas unidades e pela transpiração do sistema vegetado. As vazões de entrada das unidades estiveram acima do valor de projeto, que é de  $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ .

Na Tabela 2 estão apresentadas as eficiências de remoção, expressas tanto em termos de concentração (como é usual), quanto de carga (que leva em consideração as perdas de água). Deve-se notar que são apresentadas aqui apenas as eficiências do SAC, e não das unidades anteriores no tratamento (reator UASB e FBPA).

**Tabela 2: Concentrações e eficiências médias de remoção de cada unidade do SAC em função da concentração e da carga removida**

Parâmetro	Concentração afluente ao SAC ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	Concentração efluente do SAC ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )		Eficiência do SAC com base na concentração removida (%)		Eficiência do SAC com base na carga removida (%)	
		UP	UNP	UP	UNP	UP	UNP
DQO	104(53)	27(15)	32(16)	74	69	79	75
DBO	36(18)	14(10)	13(7)	61	64	69	70
SST	53(35)	16(13)	12(12)	70	77	76	81
NT	33(8)	23(11)	25(8)	30	24	44	38
NTK	29(6)	23(7)	24(7)	21	17	37	32
Nitrito	1,2(0,8)	0,1(0,2)	0,6(0,4)	92	52	94	61
Nitrato	2,6(2,0)	0,3(0,8)	0,2(0,3)	90	94	91	95
P total	4,0(1,5)	1,3(1,1)	1,3(0,9)	70	70	74	73

UP: unidade plantada; UNP: unidade não plantada

Eficiências calculadas com base nas concentrações e vazões médias afluente e efluente

Eficiência expressa em concentração:  $(\text{concentração afluente} - \text{concentração efluente}) / \text{concentração afluente}$

Eficiência expressa em carga:  $(\text{carga afluente} - \text{carga efluente}) / \text{carga afluente}$

Observando a Tabela 2, tem-se que ambas as unidades apresentaram um excelente desempenho para a remoção de matéria orgânica, ressaltando que a parte mais facilmente biodegradável já havia sido removida nas etapas anteriores do reator UASB e FBPA. Van Kaik (2002) avaliou a eficiência de um SAC no tratamento de esgoto doméstico, e como resultados foram obtidas reduções de DQO de 81,6% e de DBO de 83,9%. Eficiências de 45% a 86% para DBO e de 53 a 83% para DQO foram encontrados por García *et al.* (2005), estudando SAC de escoamento horizontal como tratamento secundário. Estatisticamente não houve diferença significativa na remoção de DBO, NTK, Nitrato e Fósforo, e Nitrito entre as unidades plantada e não plantada. O resultado do teste estatístico encontra-se na Tabela 3. Para ambos os efluentes das unidades do SAC, as concentrações de DQO e DBO atenderam ao padrão de lançamento do estado de Minas Gerais (DN COPAM-CERH nº 01/2008) - DQO (180 mg/L) e DBO<sub>5</sub> (60 mg/L).

**Tabela 3 - Resultado do teste de Wilcoxon para as medianas das concentrações efluentes das unidades plantada e não plantada**

Parâmetros	Valor de <i>p</i>	Significativamente diferente?
DBO	0,1606	Não
DQO	0,0284	Sim
SST	0,0003	Sim
NT	0,0000	Sim
NTK	0,0687	Não
Nitrato	0,1242	Não
Nitrito	0,0000	Sim
P-Total	0,9501	Não

$p \leq 0,05$ : medianas das concentrações efluentes das unidades plantada e não plantada são significativamente diferentes

$p \geq 0,05$ : medianas das concentrações efluentes das unidades plantada e não plantada não são significativamente diferentes

Para o N-Total, as eficiências médias de remoção com base na concentração foram de 30% na unidade plantada e 24% na unidade não plantada, evidenciando que as plantas podem ter influenciado na remoção. Resultado semelhante foi encontrado por Brasil (2005), de 33% de eficiência de remoção e TDH de 1,9 d, trabalhando com a espécie taboa (*Typha sp.*) e esgoto doméstico. Com TDH variando de 0,85 a 2,9 d, Tunçsiper *et al.* (2004) observaram eficiência média de remoção de 45% para N-Total no SAC.

A concentração média efluente de nitrato foi de 0,2 mg.L<sup>-1</sup> e 0,1 mg.L<sup>-1</sup>. A presença de nitrato no efluente, provavelmente se deve ao fato da ocorrência de uma pequena nitrificação no FBPA Valentim (2003) encontrou valores da concentração final de nitrato variando entre 0,7 a 1,8 mg L<sup>-1</sup>, com TDH de 1,0 d.

A eficiência média de remoção do fósforo com base na concentração foi de 70% para as ambas as unidades. Sousa *et al* (2004), estudando a utilização de SAC no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB, encontraram eficiências de remoção do fósforo de 82 e 90%, respectivamente em duas unidades vegetadas com macrófitas do tipo *Juncus spp.*, decaindo substancialmente nos anos seguintes.

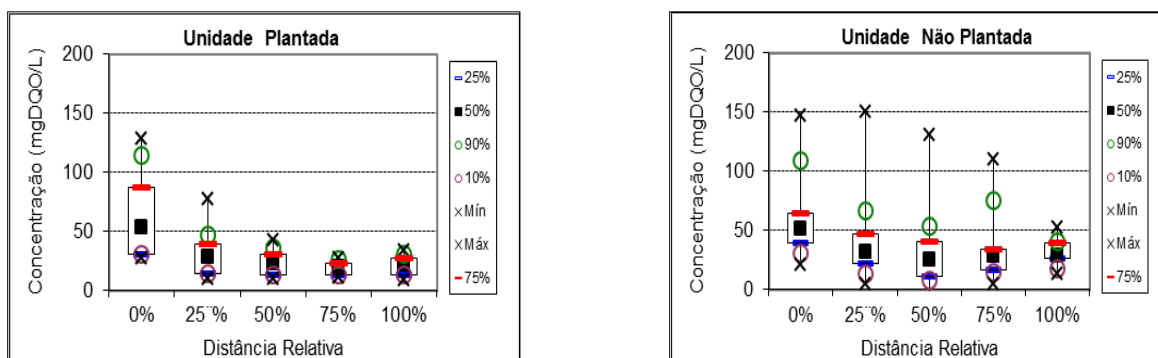
Na Tabela 4, encontram-se os valores médios observados do decaimento da concentração de matéria orgânica (DQO filtrada) ao longo das unidades, sem levar em consideração as perdas de água por evapotranspiração.

**Tabela 4 - Valores médios observados do decaimento da concentração de matéria orgânica (DQO filtrada) ao longo das unidades, sem considerar a evapotranspiração**

Distância relativa	0%	25%	50%	75%	100%
DQO na unidade plantada (mg/L)	66	32	23	19	22
DQO na unidade não plantada (mg/L)	60	41	32	35	31

Na Figura 3 encontra-se decaimento da concentração de matéria orgânica (DQO filtrada) ao longo das unidades, sem considerar a evapotranspiração.

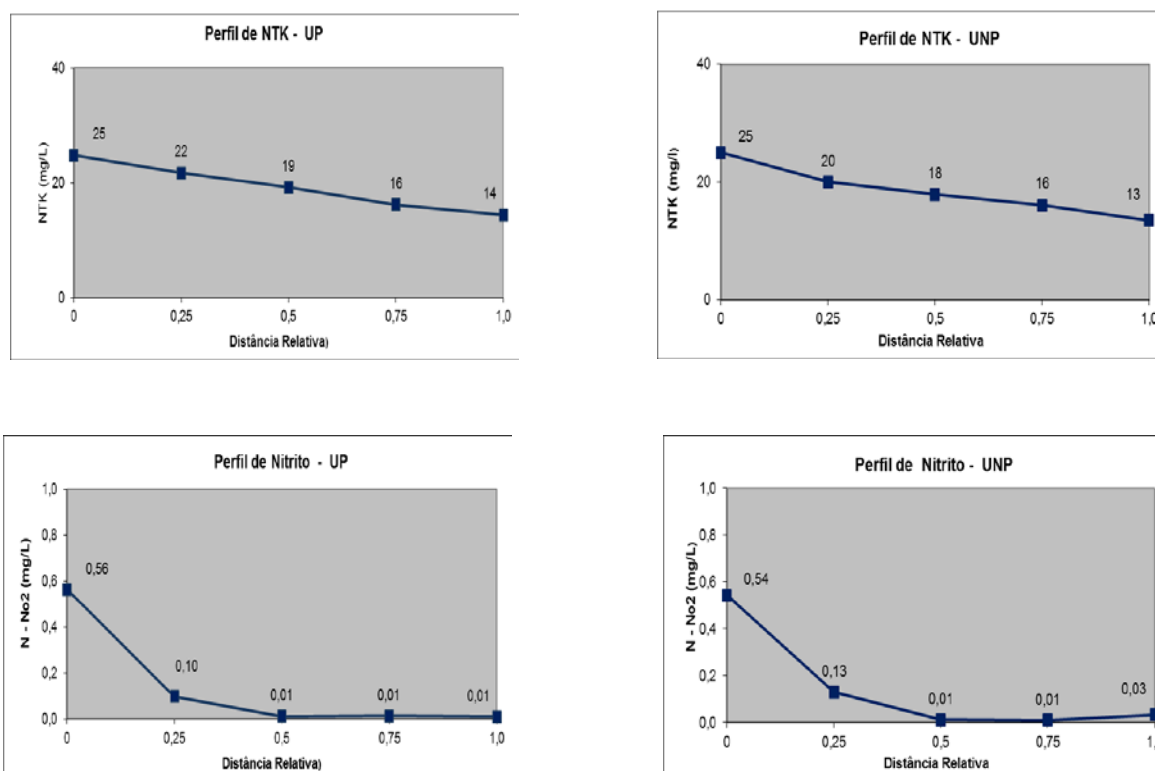


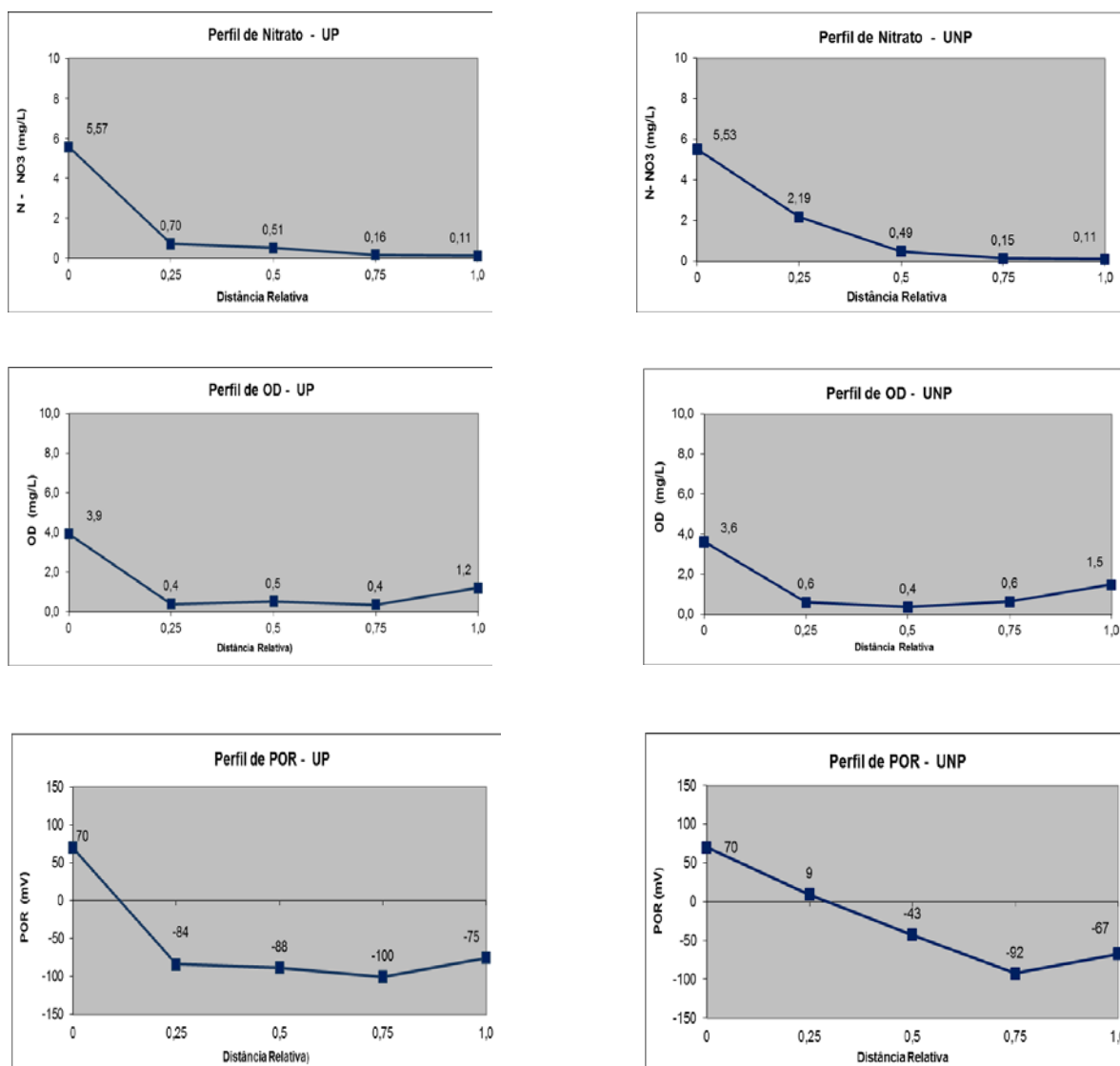


**Figura 3: decaimento da concentração de matéria orgânica (DQO filtrada) ao longo das unidades, sem considerar a evapotranspiração**

Houve claramente o decaimento da DQO filtrada na direção do afluente para o efluente do fluxo em ambas as unidades. Pode-se observar ainda que na unidade plantada do SAC houve um aumento da capacidade do sistema em remover a DQO. Segundo Vymazal, (2011), as plantas podem liberar oxigênio pelo sistema radicular, aumentando assim a degradação aeróbica na matéria orgânica. Abrahão (2006), trabalhando com SAC vegetado por capim tifton-85 e capim elefante tratando águas residuárias de laticínios, notou o aumento da capacidade do sistema em remover DQO, com o aumento das taxas de carregamento orgânico superficial carga orgânica. Segundo o autor a intensificação na formação do biofilme no meio suporte proporcionada, também possa ter aumentado a capacidade do sistema em remover DQO.

Na Figura 4 encontram-se os perfis longitudinais de NTK, nitrito, nitrato, oxigênio dissolvido e potencial redox nas unidades plantada e não plantada, (Valor de n=10).





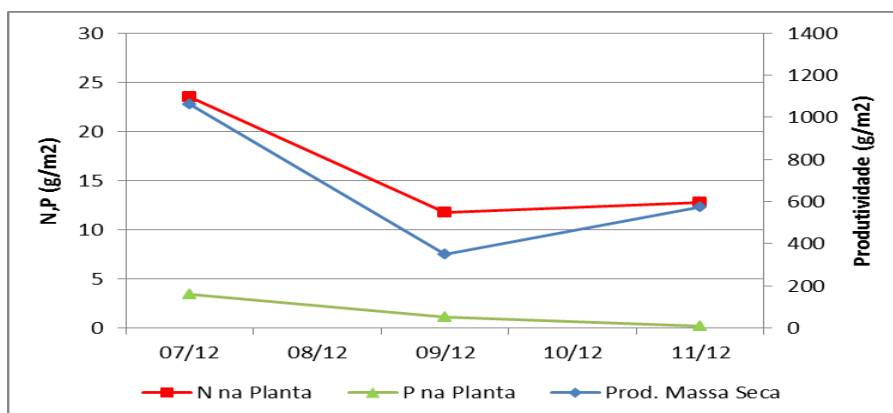
**Figura 4 - Perfis longitudinal dos valores médios de NTK, nitrito, nitrato, oxigênio dissolvido e potencial redox nas unidades plantada e não plantada do SAC**

Pode-se observar na Figura 4 que o perfil de NTK e Nitrito ao longo das unidades plantada e não plantada tiveram comportamento semelhante, evidenciando decaimento em direção ao fluxo.

Segundo Bitton (2005), temperaturas mais altas parecem favoráveis ao desenvolvimento das bactérias nitrificantes, sendo 25° a 30° C a faixa considerada ótima. Apesar de a temperatura permanecer na faixa ótima entre 22° e 27° C e o pH entre 6 e 8, sendo que os valores ótimos de pH para a ocorrência da nitrificação encontram-se na faixa de 7,5 e 8,5, observou-se baixa capacidade de nitrificação do SAC em ambas unidades. Provavelmente este fato ocorreu pelas baixas concentrações de OD no SAC. Através do perfil de Potencial Redox (POR), nota-se a predominância das condições anaeróbias e também anóxicas, favorecendo a realização da desnitrificação. Matos *et al* (2010), avaliando SAC vegetado com taboa e tratando águas residuárias de suinocultura, observou nos primeiros 12 m (maior percurso) condições anóxicas/aeróbias.

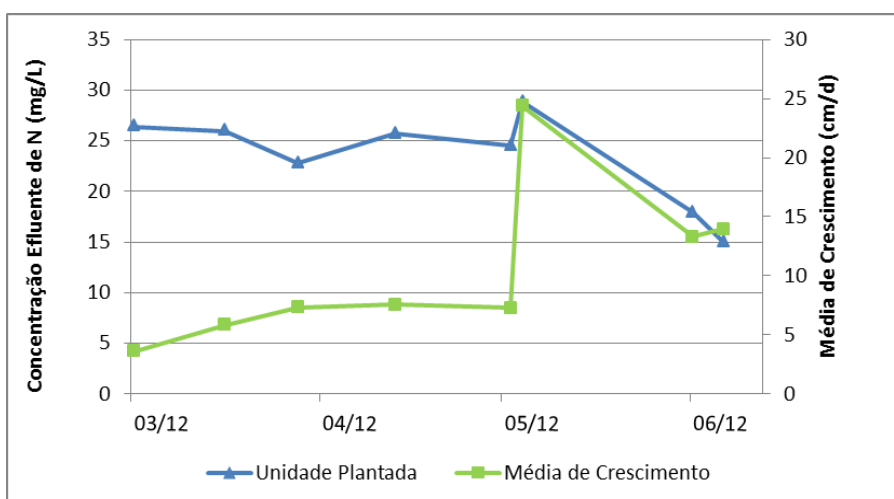
A Figura 5 demonstra a produtividade expressa em massa seca e o nitrogênio e fósforo foliar expresso em g/m<sup>2</sup> (m<sup>2</sup> de área superficial da unidade plantada do SAC) no SAC. Nota-se que há uma relação entre a produtividade da massa seca e taxa de N e P foliar, ou seja, quanto menor a produtividade, menores são as

concentrações desses nutrientes. Tal fato provavelmente ocorreu pela assimilação e absorção de nutrientes pela vegetação.



**Figura 5 - Produtividade de massa seca e nitrogênio e fósforo foliar no SAC**

A Figura 6 relaciona o crescimento médio entre podas da *Typha latifolia* com a concentração final de N, no SAC. Observa-se que houve uma variação da remoção de N, com o crescimento da vegetação. Esse fato provavelmente ocorreu pela assimilação e absorção de nutrientes pela vegetação. Ocorreram as menores concentrações nesse período, quando a taboa estava iniciando o 3º ciclo (fase de senescência), quando há uma estagnação de absorção nutricional pela planta.



**Figura 6 - Crescimento da *Typha latifolia* relacionado à concentração final de N**

Para a biomassa vegetal foram encontrados valores médios de  $33,0 \text{ gN.kg}^{-1}$  de nitrogênio e  $3,7 \text{ gP.kg}^{-1}$  de fósforo (1,5 mês após a poda, ou seja, próximo ao início do crescimento), de  $21,0 \text{ gN.kg}^{-1}$  de nitrogênio e  $2,1 \text{ gP.kg}^{-1}$  de fósforo na fase intermediária, e de  $13,0 \text{ gN.kgMS}^{-1}$  de nitrogênio e  $3,1 \text{ gP.kgMS}^{-1}$  de fósforo na matéria seca (após 4 meses, próximo à poda, ao final do ciclo). Observa-se, portanto, que no início do crescimento a incorporação de nutrientes é maior do que na fase de senescência, próxima à poda. Brasil *et al.*, (2007) obtiveram o acúmulo de N na biomassa seca da ordem de  $15,0 \text{ g.kg}^{-1}$ , estudando SAC plantado com taboa e tratando esgoto sanitário.



## CONCLUSÃO

O SAC apresentou ótimo desempenho na remoção da matéria orgânica (DBO e DQO), apresentando reduzidas concentrações efluentes, sendo que, na unidade plantada do SAC houve um aumento da capacidade do sistema em remover a DQO, sendo provado através de teste estatístico a diferença na eficiência.

Os resultados levam a concluir que no sistema a eficiência média de remoção na concentração final do N Total foram de 30% para unidade plantada e 24% na unidade não plantada, havendo diferença estatística entre as unidades, evidenciando que as plantas podem ter influenciado na maior remoção.

Houve predominância de condições anaeróbias e anóxicas ao longo do SAC.

Observou-se que quanto menor a produtividade de massa seca vegetal, menores foram as concentrações de nutrientes (N, P) foliar, provavelmente ocorreu assimilação e absorção de nutrientes pela vegetação.

Notou-se, que no início do crescimento a incorporação de nutrientes foi maior do que na fase de senescência, onde ocorre uma estagnação de absorção de nutrientes pela planta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
2. ABRAHÃO, S. S. Tratamento de água residuária de laticínios em sistemas alagados construídos cultivados com forrageira. Viçosa: UFV, 2006. 110p. Dissertação Mestrado
3. ARIAS, C. A.; BRIX, H. Humedales artificiales para el tratamiento de águas residuales. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, v.13, p. 17-24, 2003.
4. BITTON, G. *Wastewater Microbiology*, Wiley Liss Pub. New York, 746p. 2005.
5. BRASIL, M.S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A.; Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Typha sp.*) utilizado no tratamento de esgoto doméstico em Sistema de Alagados Construídos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, V. 12, p. 266-272, 2007.
6. BRASIL, M. S. Desempenho de sistemas alagado construído para tratamento de esgoto doméstico. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG. 2005. 160p.
7. CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; MAGALHÃES, T. B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/*wetlands* construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*. V. 14 n. 3. 2009.
8. DAVISON, L.; HEADLEY, T.; PRATT, K. Performance and sustainability of small horizontal flow wetlands. In: *Proceedings: 6th International Conference on Waste Stabilization Ponds and 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Avignon, France, CD-ROM. 2004
9. GARCÍA, J.; AGUIRRE, P.; BARRAGÁN, J.; MUJERIEGO, R.; MATAMOROS, V.; BAYONA, J. M. Effect of key design parameters on the efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecol. Eng.* 25, 405-418. 2005.
10. MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; LO MONACO, P. A. V. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. *Ambi-Água*, v.5, n.2, p.119-132, 2010.
11. MBULIGWE, S. E. Comparative effectiveness of engineered wetland systems in the treatment of anaerobically pre-treated domestic wastewater. *Ecological Engineering*, v. 23, p. 269–284 2004.
12. MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais –COPAM e Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH, 2008.
13. SOLANO, M. L.; SORIANO, P.; CIRIA, M. P. Constructed wetlands as a sustainable solution for treatment in small villages. *Biosystems Engineering*, 87. (1). 109-118. 2004.

14. SOUZA, J. T. de, HAANDEL, A. V., LIMA, E. P. da C., HENRIQUE, I. N. – Utilização de *wetland* construído no pós - tratamento de esgotos domésticos pré - tratados em reator UASB – Engenharia Sanitária e Ambiental – Anais... Vol. Nº 4 , p 285-290, out/dez 2004.
15. SOUSA, J. T., et al. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “*Wetlands*” construídos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v. 4, n. 1, p. 87-91, 2000.
16. TUNÇSIPER, B.; AYAZ, S. Ç.; AKÇA, L. Performance analysis and modeling of an experimental constructed wetland. Proceedings: 6<sup>th</sup> International Conference on Waste Stabilisation Ponds and 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Avignon, France, IWA/Astee, 26<sup>th</sup> of Sept. - 1<sup>st</sup> of October 2004. OC-40, CD-ROM.
17. VALENTIM, M.A.A. Desempenho de leitos cultivados (“*construted wetland*”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2003. 210f. Tese de Doutorado.
18. VYMAZAL, J. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Hydrobiologia*, 674:133-156, 2011.
19. VYMAZAL, J. Removal of phosphorus via harvesting of emergent vegetation in constructed wetlands for wastewater treatment. Proceedings of International Conference on Wetland Systems. Avignon, France. CD-ROM. 2004.
20. VAN KAICK, T. S. Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia)-PPGTE, CEFET-PR.