

**II-323 – DESEMPENHO DE WETLANDS DE FLUXO HORIZONTAL  
SUBSUPERFICIAL VEGETADAS E NÃO VEGETADAS ATUANDO COMO  
PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO DE REATOR UASB****Jocilene Ferreira da Costa**

Engenheira Sanitarista pela Universidade de Mato Grosso (UFMT). Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Tecnologias Ambientais e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**André Cordeiro De Paoli**

Engenheiro Ambiental. Especialista em Engenharia Sanitária. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

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

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

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Av. Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia - Bloco 1, 4º andar, sala 4622 – CEP 31270-901 - Belo Horizonte – MG. Tel: (31) 3409-1935; Fax: (31) 3409-1879; e-mail: ([marcos@desa.ufmg.br](mailto:marcos@desa.ufmg.br))

**RESUMO**

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar a remoção de poluentes em *wetlands* de fluxo horizontal subsuperficial, utilizadas como pós-tratamento do efluente sanitário de um reator anaeróbico do tipo UASB, com base em três anos de monitoramento. O sistema de pós-tratamento era composto por duas *wetlands* horizontais de fluxo subsuperficial construídas em paralelo, sendo uma unidade vegetada com taboas (*Typha latifolia*) e a outra não vegetada. O equivalente populacional de cada unidade era aproximadamente 50 habitantes. O efluente final apresentou excelente qualidade em termos de matéria orgânica e sólidos suspensos, mas o sistema apresentou baixa capacidade de remoção de nitrogênio. Valores médios de concentração efluente para as unidades plantadas e não plantadas foram, respectivamente: DBO: 30 e 22 mg/L; DQO: 46 e 50 mg/L; SST: 7 e 5 mg/L; NT: 30 e 32 mg/L e N-amoniaco: 26 e 27 mg/L. As perdas de água tiveram valores médios de 25% e 13% nas unidades plantada e não plantada, respectivamente. O presente estudo mostrou que *wetlands* horizontais de fluxo subsuperficial podem efetivamente tratar o efluente de reatores anaeróbicos, constituindo-se em uma importante opção de pós-tratamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Wetlands* subsuperficiais, reator UASB, águas residuárias domésticas, nutrientes, matéria orgânica, *Typha latifolia*.

**INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos diversas pesquisas vêm sendo conduzidas no intuito de se aperfeiçoar o processo de digestão anaeróbia no tratamento de esgotos domésticos, uma vez que sistemas anaeróbicos apresentam várias vantagens. No entanto, segundo Chernicharo (2001), é necessário que o efluente advindo do reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo (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, tanto para lançamento em corpos receptores como também para o reuso.

O emprego de *wetlands* construídas como pós-tratamento de esgotos sanitários tem crescido substancialmente em várias partes do mundo, especialmente em instalações de pequeno porte (Cooper, 2010). O sistema de *wetlands* construídas vem se destacando por ser um tratamento de baixo custo de construção e operação, por poder ser implementado próximo ao local onde os esgotos são gerados, e por poder ser mantidos por pessoas relativamente sem treinamento (Campos et al., 2002). Este método de tratamento de águas residuárias vem se mostrando eficiente na remoção de carga orgânica (DBO), sólidos suspensos totais (SST), fósforo e coliformes fecais de esgoto doméstico (Corea, 2001; Lim et al., 2003; Mazzola et al., 2003), podendo assim ser utilizado como pós-tratamento de sistemas anaeróbicos.

Um sistema composto por um reator anaeróbio do tipo UASB, seguido de duas *wetlands* construídas horizontais de fluxo subsuperficial operando em paralelo foi avaliado para o tratamento em escala de demonstração de águas residuárias geradas na cidade de Belo Horizonte, Brasil (50 habitantes para cada unidade). Uma unidade foi plantada com taboa (*Typha latifolia*) e a outra não foi plantada. Foi utilizado como leito filtrante escória de alto forno.

O presente trabalho relata os resultados obtidos ao longo de três anos de monitoramento, compreendendo os principais parâmetros de qualidade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade experimental - *wetlands* de fluxo horizontal subsuperficial com leito de escória siderúrgica, utilizado para o pós-tratamento de efluente sanitário de reator UASB encontra-se no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento – CePTS UFMG/COPASA, localizado na ETE Arrudas, na cidade de Belo Horizonte – MG. A ETE experimental recebe esgoto bruto municipal, gerado na Bacia do Arrudas. A montante do sistema experimental o esgoto recebe tratamento preliminar, composto por gradeamento mecanizado (grade grossa e fina) e desarenador da própria COPASA.

As duas unidades de *wetlands* foram preenchidas com escória de alto forno, de granulometria semelhante à da brita #1 e projetadas para tratar uma vazão de 7,5 m<sup>3</sup>/d cada, o equivalente a uma população de aproximadamente 50 habitantes cada. Uma das unidades (wetland plantada - WP) foi plantada com taboa (*Typha latifolia*), respeitando uma densidade mínima de 4 plantas por m<sup>2</sup>. Foram realizadas podas periódicas sempre após o florescimento das plantas e antes do início da dispersão das sementes. A outra unidade (wetland não plantada - WNP) foi mantida sem plantas, como controle do experimento. O meio suporte foi caracterizado por análise granulométrica, tendo sido obtidos os seguintes resultados: d<sub>10</sub>= 19 mm, coeficiente de desuniformidade d<sub>60</sub>/d<sub>10</sub>= 1,2 e volume de vazios (porosidade) = 40%.

Na zona de entrada e na saída das *wetlands* foi colocado um leito de transição, com dimensões de 3,0 m largura x 0,4 m altura x 0,5 m comprimento, preenchido com “pedra de mão” com granulometria entre 10 e 15 cm de diâmetro. A distribuição do afluente era feita através de uma tubulação de PVC com 60 mm de diâmetro disposta perpendicularmente ao comprimento de cada unidade de tratamento e com o mesmo tamanho da largura do leito de cada *wetland*. A retirada do efluente era por tubulação perfurada de PVC, submersa e disposta perpendicularmente ao escoamento das *wetlands* na zona de saída.

A Tabela 1 contém as principais características dimensionais e operacionais das unidades de *wetlands*, ao passo que a Figura 1 mostra uma vista de ambas as unidades.

**Tabela 1: Principais características de projeto e operação de cada unidade do sistema de *wetlands***

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
Altura total dos leitos	0,4	m
Altura do líquido nos leitos	0,3	m
Comprimento	24,1	m
Largura	3,0	m
Área superficial	72,3	m <sup>2</sup>
Volume útil (molhado)	21,7	m <sup>3</sup>
Vazão afluente (Q afluente)	8,0	m <sup>3</sup> /d
Taxa de aplicação hidráulica (Q afluente / área)	0,11	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Tempo de detenção hidráulica (Volume x porosidade / Q afluente)	1,1	d



**Figura 1. Vista das duas unidades de wetlands (plantada e não plantada)**

Para monitoramento do sistema foram efetuadas coletas semanais de amostras do esgoto bruto, do efluente do reator UASB e saída das wetlands, ao longo de três anos (setembro de 2007 a setembro de 2010). As análises dos parâmetros de qualidade foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-químicas do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, de acordo com os procedimentos constantes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 2005).

Para o presente trabalho foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos: DQO, DBO<sub>5</sub>, sólidos em suspensão totais, nitrogênio total, amônia, OD, turbidez, pH, além da vazão.

## RESULTADOS

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das vazões médias de entrada e saída nas duas unidades de wetlands durante o período da pesquisa. Observa-se que as vazões efluentes dos dois sistemas são menores que a afluyente, e que a unidade plantada apresentou valor médio menor que a wetland não plantada. Este fato pode ser explicado devido à evaporação que ocorreu nas duas wetlands e pela transpiração do sistema vegetado. A maior perda de água foi na wetland plantada, cerca de 25%, ao passo que na unidade não plantada a perda média foi de 13%. As perdas por infiltração foram consideradas desprezíveis nas duas unidades, devido ao fundo das unidades ser impermeabilizado com argila compactada.

**Tabela 2: Médias das vazões afluyente e efluente de cada unidade de wetland**

Unidade	Vazão afluyente média (m <sup>3</sup> /d)	Vazão efluente média (m <sup>3</sup> /d)	Perda de água (%)
Wetland plantada	8,0	6,0	25%
Wetland não plantada	8,0	7,0	13%

Perda de água:  $(Q_{\text{afluyente}} - Q_{\text{efluente}})/Q_{\text{afluyente}}$

Nas figuras 2 e 3 observa-se que as vazões nas duas wetlands sofreram variações ao longo do tempo monitorado, não se mantendo constantes na vazão de projeto do sistema de wetlands, que foi de 7,5 m<sup>3</sup>/d para cada unidade. Esse fato ocorreu devido ao difícil controle das vazões afluentes às wetlands, o qual era feito manualmente.

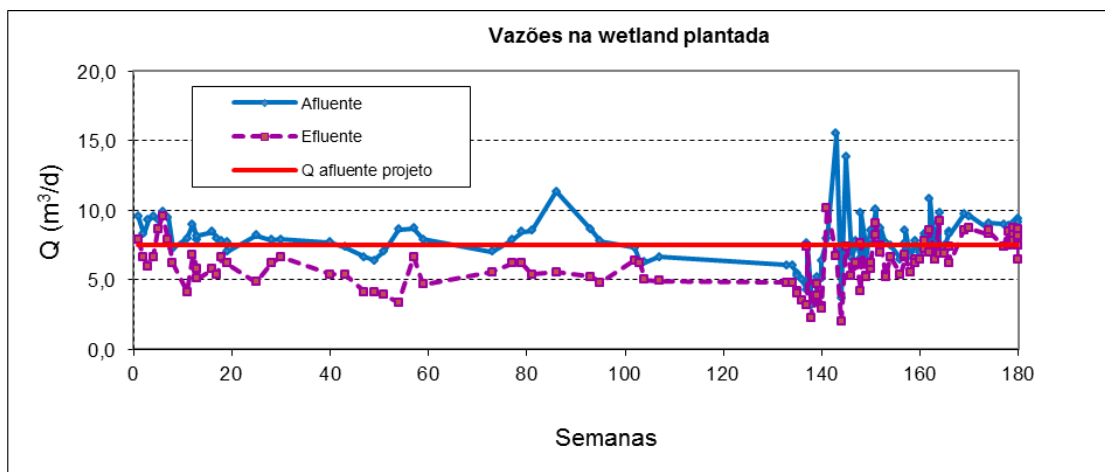


Figura 2: Vazões afluente e efluente para a wetland plantada

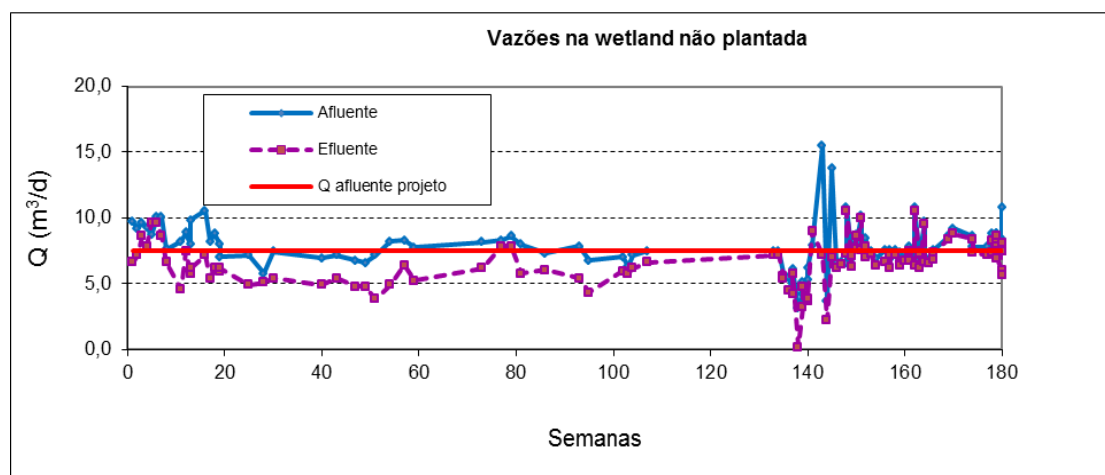


Figura 3: Vazões afluente e efluente para a wetland não plantada

As estatísticas básicas (média e desvio padrão) das concentrações em cada ponto ao longo dos três anos de monitoramento estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Concentração média e desvio padrão dos parâmetros de qualidade dos esgotos.

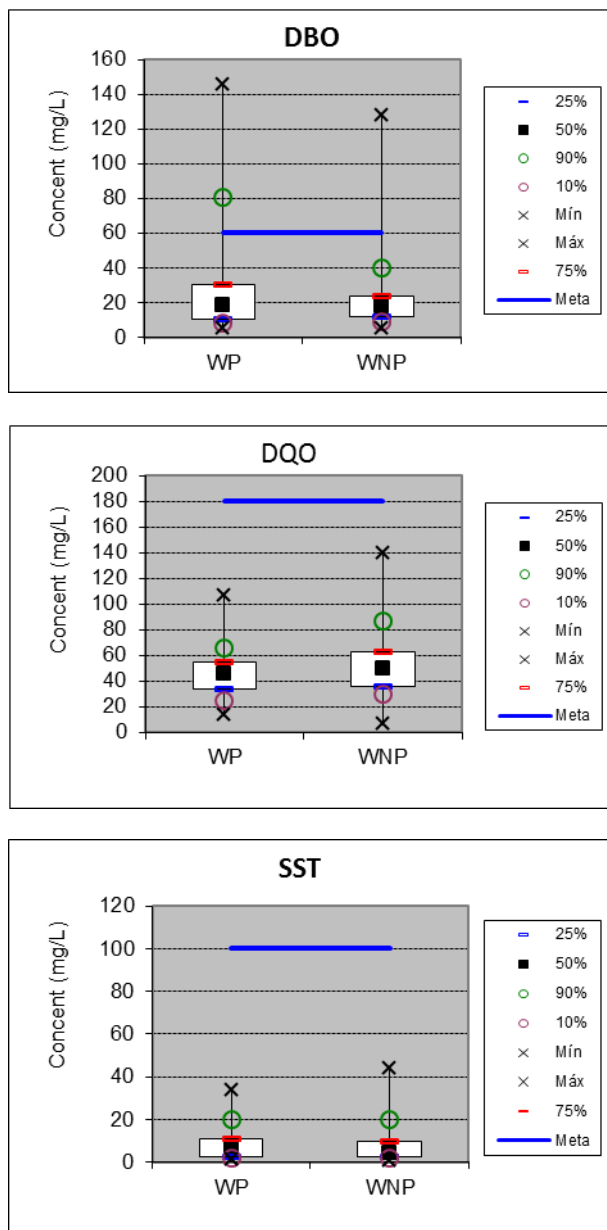
Parâmetros	Esgoto Bruto		UASB		Wetland plantada		Wetland não plantada	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
DQO	567	489	166	78	46	17	50	23
DBO	321	285	80	52	30	30	22	17
SST	316	65	46	24	7	5	5	5
N Total	35	15	34	8	30	10	32	9
N amoniacal	-	-	30	8	26	10	27	10
OD	0,3	0,3	1,0	0,5	2,0	1,2	2,0	0,8
Turbidez	-	-	79	29	9	7	7	8
pH	7,1	0,2	7,0	0,2	7,3	0,2	7,3	0,7

Para todos os parâmetros a unidade adotada é mg/L, com exceção de Turbidez – NTU e pH- sem unidade. Número aproximado de dados para cada parâmetro: n = 104

As wetlands horizontais de fluxo subsuperficial (WHFSS) são tipicamente citadas na literatura como excelentes na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. Isso é verificado na tabela acima, tendo por base as

reduzidas concentrações efluentes de DQO, DBO e SST obtidas nas duas *wetlands*. O pH ao longo do sistema manteve-se próximo à neutralidade. Apesar do afluente às *wetlands* ser oriundo de um reator anaeróbio, o efluente final saiu com teores de OD próximos a 2,0 mg/L.

Na Figura 4 estão apresentadas graficamente as concentrações efluentes das unidades plantada e não plantada, comparando com as os padrões de lançamento da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1/2008 para o estado de Minas Gerais (DQO: 180 mg/L; DBO: 60 mg/L; SST: 100 mg/L). Observa-se um sistemático atendimento aos padrões de DQO e DBO, e um elevado atendimento ao padrão de DBO.



**Figura 4:** Concentrações efluentes de DBO, DQO, SST na *wetland* plantada (WP) e *wetland* não plantada (WNP).

As eficiências médias de remoção para cada unidade de tratamento (reator UASB, WP e WNP) e para o sistema como um todo são apresentadas na Tabela 4. Os valores foram calculados com base nas concentrações médias apresentadas na Tabela 3. Observa-se a excelente eficiência global de remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão, tanto na unidade plantada quanto na não plantada.

**Tabela 4: Eficiências médias de remoção (%) de cada unidade do sistema.**

Parâmetros	UASB	WP	WNP	Eficiência Global (UASB+WP)	Eficiência Global (UASB+WNP)
DQO	71	72	70	92	91
DBO	75	63	73	91	93
SST	85	85	89	98	98
N Total	3	12	6	14	9
N Amoniacal	-	13	10	13	10

Eficiência =  $(C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}) / C_{\text{afluente}}$ ; concentrações médias obtidas da Tabela 3.

Observando a Tabela 4, nota-se mais uma vez que ambas as *wetlands* apresentaram um excelente desempenho para a remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, ressaltando que a parte mais facilmente biodegradável já havia sido removida no pré-tratamento com o reator UASB. Kadlec (2003) apresentou um estudo no qual dados de eficiência de 21 sistemas foram analisados, e no qual os valores médios de eficiência encontrados foram 67% para sólidos suspensos totais e 61% para demanda bioquímica de oxigênio, em *wetlands*.

Os resultados de eficiência de remoção de amônia do sistema diferem de alguns resultados encontrados na literatura para sistemas em operação estável. Sousa *et al.* (2000), operando sistemas *wetlands* como pós-tratamento de efluente de reator UASB, obtiveram uma eficiência de remoção de amônia variando entre 51 e 86%, ao passo que Vymazal e Kropfelová (2009) em um trabalho de revisão verificaram uma eficiência média da ordem de 34%. Para o N Total, as eficiências de remoção nas *wetlands* monitoradas no presente trabalho também não foram expressivas.

Como as *wetlands* perdem água, isto altera a interpretação do conceito de eficiência de remoção, uma vez que a perda de água causa um aumento na concentração. Os valores apresentados na Tabela 4 foram calculados com base nas concentrações (C): Eficiência =  $(C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}) / C_{\text{afluente}}$ . No entanto, caso as eficiências de remoção sejam calculadas com base na carga (carga = concentração x vazão), e sabendo-se que a vazão efluente é menor que a vazão afluente, ter-se-á valores diferentes. Neste caso, a eficiência é dada por: Eficiência =  $(\text{Carga}_{\text{afluente}} - \text{Carga}_{\text{efluente}}) / \text{Carga}_{\text{afluente}}$ , sendo que carga afluente = vazão afluente x concentração afluente e carga efluente = vazão efluente x concentração efluente. A Tabela 5 compara as eficiências de remoção nas duas unidades de wetland, segundo os dois critérios de cálculo. Observa-se que, ao se levar em consideração a carga removida, as eficiências são superiores, retratando o real desempenho das unidades de *wetlands*.

**Tabela 5: Eficiências de remoção nas *wetlands*, calculadas com base em concentrações e em cargas**

Parâmetro	Wetland plantada		Wetland não plantada	
	Eficiência com base em concentração	Eficiência com base em carga	Eficiência com base em concentração	Eficiência com base em carga
DQO	72	79	70	74
DBO	63	72	73	76
SST	85	89	89	90
N Total	12	34	6	18
N Amoniacal	13	35	10	21

Eficiência com base em concentração =  $(C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}) / C_{\text{afluente}}$ ; concentrações médias obtidas da Tabela 3

Eficiência com base em carga =  $(\text{Carga}_{\text{afluente}} - \text{Carga}_{\text{efluente}}) / \text{Carga}_{\text{afluente}}$ ; concentrações médias obtidas da Tabela 3; vazões afluentes e efluentes obtidas da Tabela 2

## CONCLUSÕES

Ao longo dos três anos de monitoramento, as *wetlands* apresentaram um ótimo desempenho na remoção da matéria orgânica e sólidos em suspensão, sendo que o efluente enquadrava-se aos padrões de lançamento do estado de Minas Gerais estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 1 (60 mg/L para DBO, 180 mg/L para DQO e 100 mg/L para SST). As eficiências médias globais (reator UASB +



wetlands) de remoção destes constituintes situaram-se entre 91% e 98%, ressaltando o excelente desempenho do sistema, como um todo.

A remoção de amônia e nitrogênio total foi baixa, tanto no sistema plantado quanto no não plantado.

As perdas de água tiveram valores médios de 25% e 13% nas unidades plantada e não plantada, respectivamente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das seguintes instituições: FAPEMIG, CNPq, FUNASA, COPASA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
2. CAMPOS, J.C., FERREIRA, J.A., MANNARINO, C.F., SILVA, H.R., BORBA, S.M.P. Tratamento do chorume do aterro sanitário de Pirai (RJ) utilizando wetlands. In: VI SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Vitória-ES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.
3. COOPER, P. Constructed wetlands after 25 years of application: A review of the developments that we have made and the problems that we still have to overcome. *12<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Veneza, Itália, 4-9 Outubro 2010. 2010.
4. COREA, E. J. H. *Appropriate disposal of sewage in urban and suburban Sri Lanka*. Leeds: School of Civil Engineering, 2000. 252p. Thesis (Doctor of Philosophy) - The University of Leeds, 2001.
5. CHERNICHARO, C.A.L. (Coord.) *Pós-tratamento de reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: ABES, 2001. Projeto Prosab.
6. KADLEC, R. H. Pond and wetland treatment. *Water Science Technology*, v. 48, n. 5, p. 1-8, 2003.
7. LIM, P. E.; TAY, G.; MAK, K. Y.; MOHAMED, N. The effect of heavy metals on nitrogen and oxygen demand removal in constructed wetlands. *Sci Total Environ*, v.301, nº.1-3, January/2003, p.13-21.
8. MAZZOLA, M.; ROSTON, D. M.; VALENTIM, M. A. A. Leito cultivado ("Constructed Wetland" de fluxo vertical por batelada no tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., Joinville, SC, 2003. *Anais....* Resumo expandido. Joinville: ABES/AIDIS, 2003, CD.
9. SOUZA, J. T.; ADRIANUS, C.; van HAANDEL, A. C.; COSENTINO, P. R. S.; GUIMARÃES, A. V. A. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas "wetlands" construídos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.87-91, 2000.
10. VYMAZAL, J., KRÖPFELOVÁ, L. 2009. Removal of nitrogen in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: a review. *Wetlands*, v. 29, n. 4, p. 1114 - 1124, Czech Republic.