



II-462 - AVALIAÇÃO DE SISTEMAS TIPO WETLANDS DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL NO TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA VISANDO A REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E FÓSFORO

Rodrigo Cesar de Moraes Monteiro⁽¹⁾

Ecólogo pela Universidade Estadual Paulista (UNESP Rio Claro). Mestrando em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica de São Paulo (EPUSP). Pesquisador do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA).

Ivanildo Hespanhol⁽²⁾, Professor Titular, Escola Politécnica da USP e Diretor do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água – CIRRA/IRCWR.

Eduardo Lucas Subtil⁽³⁾

Oceanógrafo pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestre em Engenharia Ambiental (UFES). Doutorando em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Pesquisador do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA).

Raquel Jardim Medeiros da Silva⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

Endereço⁽¹⁾: Av. Professor Lucio Martins Rodrigues, 120 – Cidade Universitária – São Paulo - SP - CEP: 05508-010 - Brasil - Telefone: (11) 3039-3184 - e-mail: monteiorcm@yahoo.com.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a aplicação de um sistema Wetlands para o tratamento de águas cinza visando o reúso planejado direto em edificações residenciais. O sistema utilizado no estudo possui dimensão de 1,2 x 0,6 x 6,0 m, preenchido com 40 cm de material de enchimento e 38 cm de coluna d'água. Tal sistema foi dividido em duas seções por um septo central, de modo a segregar os dois materiais de enchimento: brita nº1 e areia com granulometria média/grossa (coeficiente de uniformidade: 2,97). O cultivo foi realizado em policultura, assim como ocorre em sistemas naturais, como brejos, pântanos e outros ecossistemas alagados, sendo a diversidade de macrófitas diferente para cada seção do reservatório. A avaliação do tratamento foi medida pela remoção de matéria orgânica representada pelos parâmetros DQO, DBO e COT. Além do material orgânico, foi medida a remoção de fósforo do sistema. O sistema Wetlands apresentou comportamento satisfatório para o tratamento de águas cinza, com eficiência de remoção de aproximadamente 60% para os parâmetros NPOC, DQO e DBO e 80% para SSV. A remoção do fósforo foi elevada durante o período de acompanhamento do sistema com um valor médio de 84% em relação à carga aplicada.

PALAVRAS-CHAVE: Wetlands Construídos, Horizontal/Subsuperficial, Policultura, Matéria Orgânica, Nutriente Fósforo.

INTRODUÇÃO

A disparidade entre o crescimento populacional e a oferta de água potável representa grandes riscos ao abastecimento de água, sobretudo para os grandes centros urbanos. O aumento da pressão e o uso não planejado dos recursos hídricos têm demonstrando a necessidade de preservação da qualidade da água e conservação deste recurso. Assim, medidas que visem à redução do consumo de água e consequentemente promovam medidas de conservação dos recursos hídricos nunca foram tão importantes.

Dentre as medidas de conservação ditas não convencionais o reúso planejado direto, onde o efluente proveniente de diferentes atividades é tratado e reutilizado, tem se mostrado eficaz na redução do consumo de água em edificações (referencia). Neste caso, a água utilizada deve ser diferenciada em uso potável e não potável, sendo que o uso de água potável para suprir a demanda dos usos menos nobres acelera o processo de escassez hídrica local, levando à busca de água em locais cada vez mais distantes, fato que incide na elevação do custo desse bem.

Desta forma, o uso não potável pode ser suprido por fontes alternativas, como águas pluviais ou água de reúso. Nesse caso, para residências, as águas geradas na máquina de lavar, nos chuveiros e lavatório (água cinza) pode ser suficiente para atender as demandas para fins não potáveis, o que requer o seu tratamento para



minimizar riscos aos usuários. Além da adequação da qualidade da água ao tipo de uso, deve-se reduzir sua demanda, adotando medidas conservacionistas desse recurso, adequando o volume necessário para a realização da atividade.

Existem sistemas que proporcionam a adequação da qualidade da água às exigências do uso não potável que não necessitam de energia elétrica no processo ou utilização de produtos químicos. Entre esses sistemas estão os sistemas tipo wetlands construídos horizontais, que necessitam de uma área superficial maior que os sistemas convencionais, mas podem proporcionar uma efluente com a característica necessária sem a utilização de energia elétrica, consumo de compostos químicos, geração de grande quantidade de lodo, além de compor o paisagismo local.

Nesse contexto, desenvolveu-se uma pesquisa com sistema tipo “wetlands”, de fluxo horizontal subsuperficial para tratamento de água cinza, visando o reúso para fins não potáveis. Foi avaliada a capacidade do sistema na remoção de matéria orgânica e fósforo total.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de tratamento tipo “wetlands” consta de um reservatório de dimensão 1,2 x 0,6 x 6,0 m, preenchido com 40 cm de material de enchimento e 38 cm de coluna d’água. Tal sistema foi dividido em duas seções por um septo central, de modo a segregar os dois materiais de enchimento: brita nº1 e areia com granulometria média/grossa (coeficiente de uniformidade: 2,97).

O cultivo foi realizado em policultura, assim como ocorre em sistemas naturais, como brejos, pântanos e outros ecossistemas alagados. A diversidade de macrófitas é diferente para cada seção do reservatório (Figura 1):

Primeira seção (Brita nº1):

- Sombrinha chinesa – *Cyperus alternifolius*;
- Taboa – *Typha sp*;
- Papiro – *Cyperus papyrus*.

Segunda seção (Areia):

- Cavalinha – *Equisetum sp*;
- Copo de leite - *Zantedeschia aethiopica*;
- Citronela – *Cymbopogon sp*;
- Pontederia – *Pontederia cordata*;
- Íris amarela - *Iris pseudacorus*;
- Rogéria - *Saururus sp*;
- Conta - *Coix lacryma*;
- Cana do brejo – *Costus sp*;
- Chapéu de couro – *Echinodorus sp*;
- Sagitária - *Sagittaria montevidensis*;
- Eleocharis - *Eleocharis interstincta*, *Eleocharis nudipes* e;
- Hidrocótila - *Hydrocotyle ranunculoides*.



Figura 1: Célula de wetlands, mostrando a seção com areia, septo central, seção com brita nº1 e reservatório de aplicação.

A distribuição do afluente foi feita por meio de uma tubulação perfurada de 40 mm de diâmetro, sobre uma camada de brita nº3, com 30 cm de comprimento. A coleta do efluente foi realizada por uma tubulação subsuperficial envolvida por brita nº 3. O sistema de distribuição e coleta almeja a utilização de toda a área transversal (PROSAB, 1999), maximizando o tempo de contato entre a água cinza, as bactérias e as raízes.

Para o monitoramento do sistema experimental, a célula de tratamento apresenta 3 pontos equidistantes de amostragem ao longo de seu comprimento, tornando possível a coleta de amostras no centro da primeira e segunda seções (brita e areia) e no septo. Considerando a entrada e saída da unidade, dispõe-se de 5 pontos de amostragem, que permitem um acompanhamento da melhoria da qualidade da água. Cada ponto de amostragem corresponde a um tempo de detenção hidráulico (T.D.H.) apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Pontos de amostragem e respectivos T.D.H..

	Ponto de Amostragem				
	Afluente	Brita	Septo	Areia	Efluente
T.D.H. (d)	0	1,1 ± 0,2	2,3 ± 0,4	3,0 ± 0,5	3,7 ± 0,6

A unidade experimental recebe água cinza proveniente de máquina de lavar roupas, lavatórios e chuveiros, instalados em um container devidamente modificado. A água cinza produzida era acumulada em um reservatório plástico com mil litros de capacidade após passar por uma peneira. Desse reservatório, a água seguia para o reservatório de distribuição em uma cota inferior, de onde o efluente era recalcado por uma bomba peristáltica em operação durante 24 horas por dia.

A instalação do reservatório de distribuição foi necessária para diminuir a oscilação da vazão afluente devido à mudança da altura da coluna de água no reservatório de acumulação. O reservatório de distribuição sempre apresenta um nível constante devido a instalação de uma bóia.

A água cinza foi aplicada no sistema com uma taxa 42 ± 8 L/m².dia em relação à área superficial. Essa diminuta vazão quando recalçada no sistema distribuição, não era uniformemente aplicada sobre a brita nº3. A distribuição uniforme foi intensificada com a adoção de um reservatório de aplicação provido com um sifão (Figura 1). Dessa forma, o afluente era acumulado e aplicado a cada hora numa vazão de aproximadamente 4L/min, proporcionando uma distribuição mais uniforme.

A quantidade de matéria orgânica foi verificada pelas análises de:



- Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e;
- Carbono Orgânico Não Purgável (NPOC).

Tanto as análises de matéria orgânica quanto a de fósforo total seguiram as metodologias básicas descritas no “Standard Methods of Water and Wastewater Examination” 20ª edição.

RESULTADOS

A água cinza produzida não apresentou constância na sua composição, uma vez que suas características são relacionadas principalmente com a condição da roupa a ser lavada, produtos utilizados nos banhos e dosagem de produtos em geral.

Durante o experimento, a temperatura do ambiente teve média de $24,6 \pm 4,8^\circ\text{C}$ e a unidade de wetlands apresentou os valores $16,3 \pm 3,1^\circ\text{C}$. A amplitude térmica da unidade experimental foi inferior à do ambiente, mas poderia ser menor, caso o sistema fosse enterrado.

A vazão afluente apresentou oscilações apesar das intervenções pretendendo anular esse fator. A figura 1 apresenta a relação entre a vazão e as temperaturas (ar e unidade de wetlands). A vazão da bomba pode ser atribuída à oscilação da energia elétrica, formação de biofilme na tubulação e mudança da temperatura. A oscilação de temperatura não é favorável ao tratamento, uma vez que proporciona a variação da velocidade de utilização de substrato pelos microrganismos. Uma menor variação térmica proporcionaria um ambiente mais estável, selecionando microrganismo mais adaptados a esse meio, possibilitando uma maior velocidade de consumo do material orgânico.

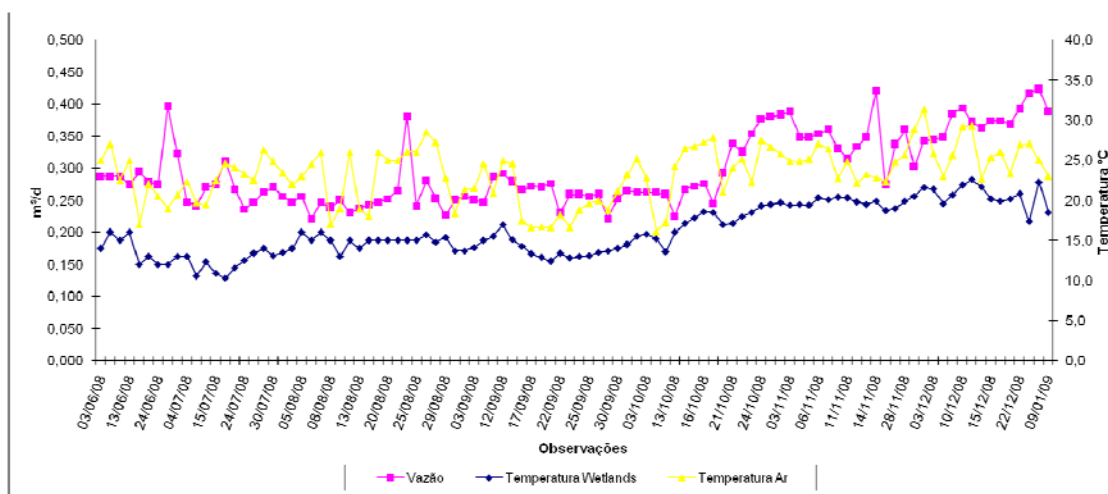


Figura 2: Gráfico relacionando vazão e temperaturas.

A tabela 2 encontra-se as médias e respectivos desvios-padrão das análises realizadas na unidade experimental. Além disso, nas figuras de 2 a 6 é possível observar uma análise estatística do comportamento das seguintes variáveis: NPOC, DQO, DBO, SSV e fósforo total.

A tabela 3 apresenta as cargas aplicadas de matéria orgânica e fósforo afluente e respectivas remoções proporcionadas na área plantada da célula de tratamento.



Tabela 2: Valores médios e respectivos desvios-padrão para os parâmetros analisados (mg/L).

Parâmetro		Afluente	Efluente	Eficiência
NPOC	Média	83,7	36,2	57%
	Desvio Padrão	22,9	9,2	
DQO	Média	350	143	59%
	Desvio Padrão	113	64	
DBO	Média	188	77	59%
	Desvio Padrão	67	43	
SSV	Média	63	12	81%
	Desvio Padrão	18	5	
P-total	Média	1,7	0,3	85%
	Desvio Padrão	1,5	0,3	

Tabela 3: Cargas de matéria orgânica e fósforo afluente e respectivas remoções por área plantada.

Parâmetro	Carga Afluente (g/d)	Remoção (g/m ² .d)
NPOC	24,3	2,3
DQO	99,3	9,7
DBO	57,4	5,4
SSV	17,2	2,3
Fósforo Total	0,49	0,07

A remoção de matéria orgânica não apresenta incremento da eficiência na segunda parte da secção preenchida com areia (entre o P4 e P5) quando analisada pelo parâmetro de NPOC e DQO. Para esses parâmetros, o aumento do tempo de detenção hidráulico pode não ser necessário dependendo da utilização do efluente final. O aumento do volume da célula de tratamento não chega a diminuir consideravelmente o desvio padrão, não possibilitando uma maior assimilação de cargas de choques nesse volume adicional.

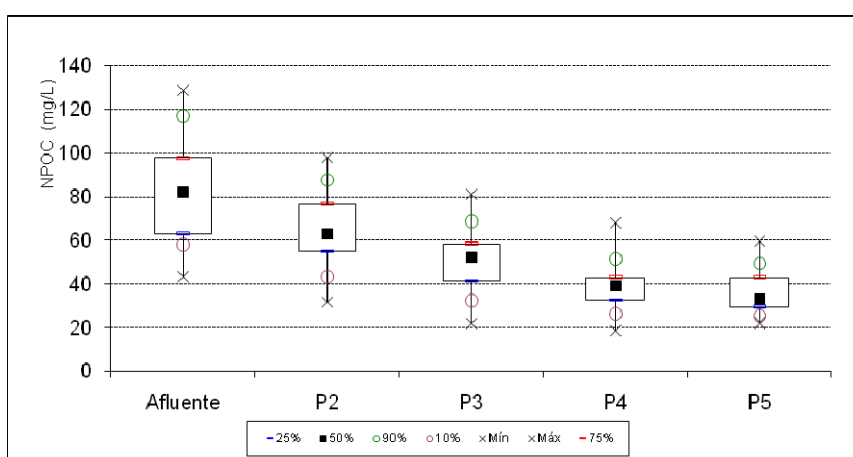


Figura 3: Variação do NPOC durante a operação do sistema, totalizando 53 observações.

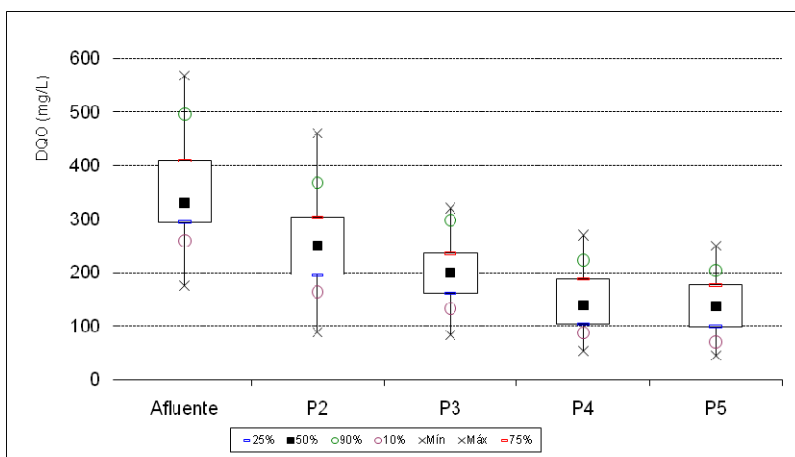


Figura 4: Variação da DQO durante a operação do sistema, totalizando 25 observações.

A matéria orgânica contabilizada pela DBO apresenta redução gradativa na sua remoção ao longo da célula de tratamento. Assim como o NPOC e DQO, o maior tempo de detenção hidráulico não possibilita um menor desvio padrão, apesar de ocorrer maior remoção do material orgânico (entre P4 e P5) quando comparado aos parâmetros já citados.

A remoção de matéria orgânica poderia ser maior caso o sistema possibilitasse um ambiente com predomínio aeróbio. Na célula de wetlands, o efluente final não apresentava oxigênio dissolvido, ou por insuficiência na transferência do mesmo às raízes, ou pela carga orgânica maior que a capacidade de oxigenação.

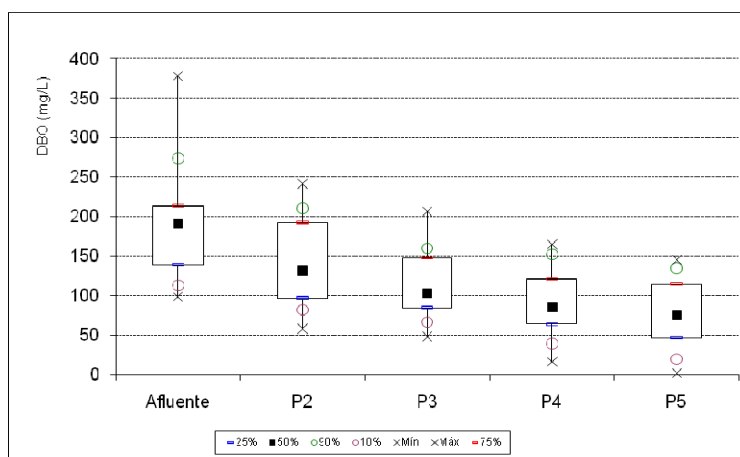


Figura 5: Variação da DBO durante a operação do sistema, totalizando 26 observações.

A remoção dos sólidos em suspensão voláteis apresenta remoções distintas entre o início e a parte final de cada uma das secções. Pode-se afirmar que o processo de filtração é predominante na remoção desse parâmetro. O aumento do volume da célula possibilitou um desvio padrão 33% menor no P5 comparado ao P4. Esse fato deve estar relacionado com o efeito de filtração proporcionado pela areia.

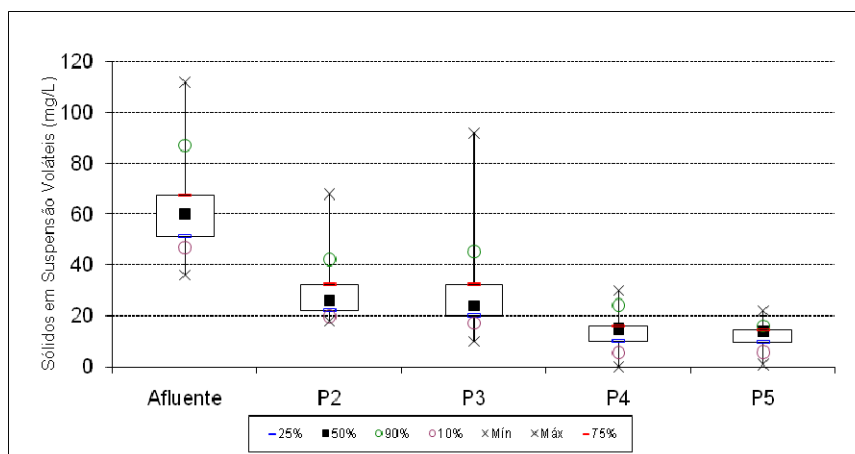


Figura 6: Variação da SSV durante a operação do sistema, totalizando 20 observações.

O fósforo é um elemento presente na grande maioria dos produtos destinados a limpeza. Sua variação na carga afluyente deve-se aos diversos produtos utilizados, assim como suas respectivas quantidades. Apesar do grande desvio padrão afluyente constatado, o sistema teve condições de amortizar essas cargas de choques.

Os processos relacionados com a remoção do fósforo são a incorporação à biomassa (tanto macrófitas como biofilme e microorganismo) e armazenamento no material de enchimento. O fósforo total apresenta uma maior dependência do tempo de detenção hidráulico para sua remoção, apresentando remoção média de 84% quando sua carga afluyente. Esse parâmetro merece atenção a longo prazo, uma vez que sua remoção é influenciada pela saturação do material de enchimento.

O fósforo fica complexado e retido em material orgânico, alumínio, cálcio, ferro e argila, elementos que não estão presentes em brita e areia comercial em quantidades suficientes para remoções elevadas durante o período de estudo. Esse fato induz a atribuir alguma eficiência na imobilização às macrófitas, diferente a alguns autores que referenciam às macrófitas como limitados acumuladores de fósforo.

A remoção alta do fósforo total não pode ser atribuída ao processo de filtração da sua forma particulada. Esse material particulado retido sofreria decomposição sendo liberado na forma solúvel, contabilizada no parâmetro fósforo total.

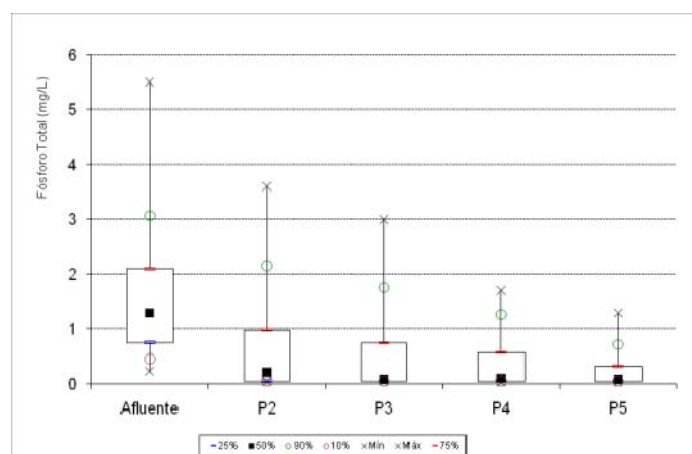


Figura 7: Variação do fósforo total durante a operação do sistema, totalizando 43 observações.

Durante o período de estudo da célula de wetlands, não foi observado a formação de fluxo superficial. A observação desse tipo de fluxo está relacionada com o processo de colmatção do material de enchimento. A adoção de dois materiais de enchimento com granulometria distintas deve ter propiciado o fluxo subsuperficial durante todo o período de monitoramento.



Apesar da célula de wetlands ser predominantemente anaeróbia, não foi constatado odor desagradável nela. Esse fato pode ser atribuído ao processo de bio-filtro proporcionado pelas raízes das macrófitas. O efluente final apresentava odor desagradável quando agitado, proporcionado por gases dissolvidos ionizáveis, como o sulfeto de hidrogênio.

CONCLUSÕES

Durante o experimento ocorreu grande variação da composição do afluente, assim como na sua vazão de aplicação. Assim como a carga variou, ocorreu variação da temperatura. A oscilação térmica dentro da célula de tratamento poderia ser menor caso o sistema fosse enterrado. Essa menor variação térmica seria benéfica ao desenvolvimento microbiológico em melhores condições, refletindo num sistema mais estável.

A eficiência na remoção de matéria foi de aproximadamente 60% para os parâmetros NPOC, DQO e DBO e 80% para SSV. Dessa forma, a avaliação na remoção de material orgânico pode ser realizada pelo NPOC, uma vez que apresenta maior rapidez na sua determinação e não utiliza produtos tóxicos para sua quantificação.

O aumento do tempo de detenção hidráulico mostra-se mais eficiente para a remoção do fósforo e sólidos em suspensão voláteis do que para NPOC, DQO e DBO. A remoção de matéria orgânica pode ser intensificada com a presença de ambientes com predomínio de metabolismo aeróbio. Nas condições impostas, o predomínio foi de ambientes anaeróbios.

A remoção do fósforo foi elevada durante o período de acompanhamento do sistema. A remoção de 84% em relação à carga aplicada pode reduzir após a saturação do material de enchimento, a não ser que as macrófitas apresentem papel mais significativo do que a literatura recomenda.

A utilização de sistemas tipo wetlands construídos de fluxo horizontal subsuperficial mostra-se como uma alternativa na remoção de matéria orgânica, podendo e devendo ser intensificada com a adoção de ambiente com predomínio de metabolismo aeróbio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA and WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, Ed. 20, Washington, D.C., 1998.
2. DAVIS, L.A. **Handbook of Constructed Wetlands**. Volume 2: (USEPA Region III with USDA, NRCS, ISBN 0-16-052999-9), 2000.
3. LEE, C., Y.; LEE, C., C.; LEE, F., Y.; TSENG, S., K.; LIAO, C., J. Performance of subsurface flow constructed wetland taking pretreated swine effluent under heavy loads. **Bioresource Technolog**, Taipei, n. 92, p. 173-179, 2004.
4. METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3 ed., Metcalf & Eddy Inc., 1991. 1334 p.
5. PROSAB, **Tratamento de Esgoto Sanitário para Processos Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**, 1999, 1ª ed.
6. STOTTMEISTER, U.; WIEBNER, A.; KUSCHK, P.; KAPPELMEYER, U.; KÄSTNER, M.; BEDERSKI, O.; MÜLLER, R., A.; MOORMANN., H.. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands treatment. **Biotechnology Advances**, Leipzig-Halle n. 22, p. 93-117, 2003.
7. VALENTIM, M.A.A., **Desempenho de leitos cultivados ("constructed Wetland") para tratamento de esgoto**: Contribuições para concepção e operação. 2003. 210p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.