

## II-353 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA SATURAÇÃO DE FUNDO DO MACIÇO FILTRANTE DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS VERTICAIS TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO POR MEIO DE ENSAIOS EM COLUNAS DE AREIA

**Mayara Oliveira dos Santos<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Mestranda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Pablo Heleno Sezerino**

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

**Catiane Pelissari**

Biotechnóloga Industrial pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Doutoranda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Gabriel Pergher Turcato**

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – CTC – Universidade Federal de Santa Catarina – Trindade – Florianópolis – Santa Catarina – CEP: 88040-900 – Brasil – Tel: +55 (48) 3721-7696 – e-mail: [mayolivs@hotm.com](mailto:mayolivs@hotm.com).

### RESUMO

Os *wetlands* construídos verticais (WCV) são sistemas de tratamento de esgotos comumente dimensionados para promover a depuração da matéria orgânica carbonácea e a nitrificação, apresentando, portanto, limitações na remoção completa de nitrogênio. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de ensaios em colunas de areia, a melhor condição de saturação do maciço filtrante componente de WCV em termos de eficiência de tratamento de esgotos sanitários, a fim de promover, principalmente, condições para a ocorrência de nitrificação e desnitrificação na mesma unidade de tratamento. O experimento, em escala de bancada, consistiu na utilização de quatro colunas de vidro com diâmetro interno de 96 mm. As colunas foram preenchidas com areia grossa ( $d_{10} = 0,25$  mm,  $d_{60} = 1,63$  mm e  $U = 6,5$ ) em uma altura útil de 0,55 m para simulação do maciço filtrante componente de WCV. Cada coluna foi operada com uma altura de saturação de fundo específica, sendo: fundo livre; 0,20 m de saturação; 0,30 m de saturação e 0,40 m de saturação. A alimentação das colunas foi realizada aplicando-se esgoto sanitário de forma intermitente, três vezes por dia, sendo três dias seguidos com alimentação e quatro dias de repouso, em um período total de 182 dias. O carregamento de DQO aplicado foi fixo em  $41 \text{ gDQO} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  e, consequentemente, a taxa hidráulica aplicada foi variável. A caracterização físico-química do afluente e efluente das colunas foi realizada semanalmente. Com base nos resultados obtidos, verificou-se as que colunas de areia com fundo livre e com alturas de saturação de fundo de 0,20 m, 0,30 m e 0,40 m apresentam elevadas remoções de DQO (variando de 87% a 97%) e Sólidos Suspensos (variando de 91% a 95%). Observou-se maior nitrificação na coluna com fundo livre, e provável nitrificação seguida de desnitrificação nas colunas com saturação de fundo. A composição de um maciço filtrante com 0,15 m de profundidade insaturada e 0,40 m de profundidade saturada com o esgoto submetido ao tratamento apresentou-se com boa potencialidade de aplicação em WCV, pois atingiu remoções médias de 89% em termos de DQO, 92% de SS e 67% de  $\text{N-NH}_4^+$ , além de apresentar as menores concentrações médias de nitrogênio inorgânico no efluente final.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgotos Sanitários, *Wetlands* Verticais, Saturação de Fundo, Nitrificação, Desnitrificação.

### INTRODUÇÃO

Os *wetlands* construídos verticais (WCV) são sistemas mundialmente empregados para o tratamento de diversos tipos de efluentes. Uma das particularidades dessa modalidade de *wetlands* em relação às demais é

que elas são dimensionadas principalmente para propiciar a depuração carbonácea, bem como a nitrificação (COOPER, 1996; KADLEC e WALACE, 2009).

Os WCV possuem modelos de dimensionamento baseados no arraste de oxigênio para o interior do maciço filtrante, favorecendo a formação de ambientes oxidativos, beneficiando assim a remoção de matéria orgânica e, também, a nitrificação, como é o caso dos estudos realizados por Platzer (1999). Contudo, os WCV apresentam limitações quanto à remoção de nitrogênio, pois não promovem a remoção completa deste nutriente, devido à ausência de ambientes redutores. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de entendimentos vinculados às estratégias operacionais, carregamentos orgânicos, inorgânicos e hidráulicos, a fim de otimizar a remoção conjunta da matéria orgânica carbonácea e nitrogênio em WCV.

Dentro desse contexto, muitos estudos vêm sendo realizados, a fim de maximizar estratégias operacionais que promovam a remoção de matéria orgânica carbonácea, sólidos suspensos, bem como a nitrificação e desnitrificação, como é o caso dos *wetlands* construídos verticais modificados (WCV) sob diferentes modalidades, tais como: (i) com ciclos de enchimento e drenagem – *Tidal Flow*, (ii) com unidades de repouso – modelo francês, (iii) com fundo saturado, (iv) com recirculação, (v) com sistemas combinados, entre vários outros.

A intensificação do tratamento realizado por WCV têm se mostrado vantajosa, uma vez que está sendo possível obter elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica e nutrientes dos efluentes em uma única modalidade de *wetland* construído e, além disso, possibilitando a redução de área necessária destinada ao tratamento de efluentes quando consegue-se obter todas essas vantagens em um único módulo de tratamento.

Recentemente, estudos de Kim *et al.* (2014) destacam que WCV com duas zonas distintas, uma superior insaturada e outra inferior saturada com esgoto, proporcionam condições para uma boa remoção de nitrogênio amoniacal devido a ocorrência de nitrificação e desnitrificação sequencial. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de ensaios em colunas de areia, a melhor condição de saturação do maciço filtrante componente de *wetlands* construídos verticais com fluxo descendente em termos de eficiência de tratamento de esgoto sanitário, a fim de promover, principalmente, condições para a ocorrência de nitrificação e desnitrificação no mesmo módulo de tratamento.

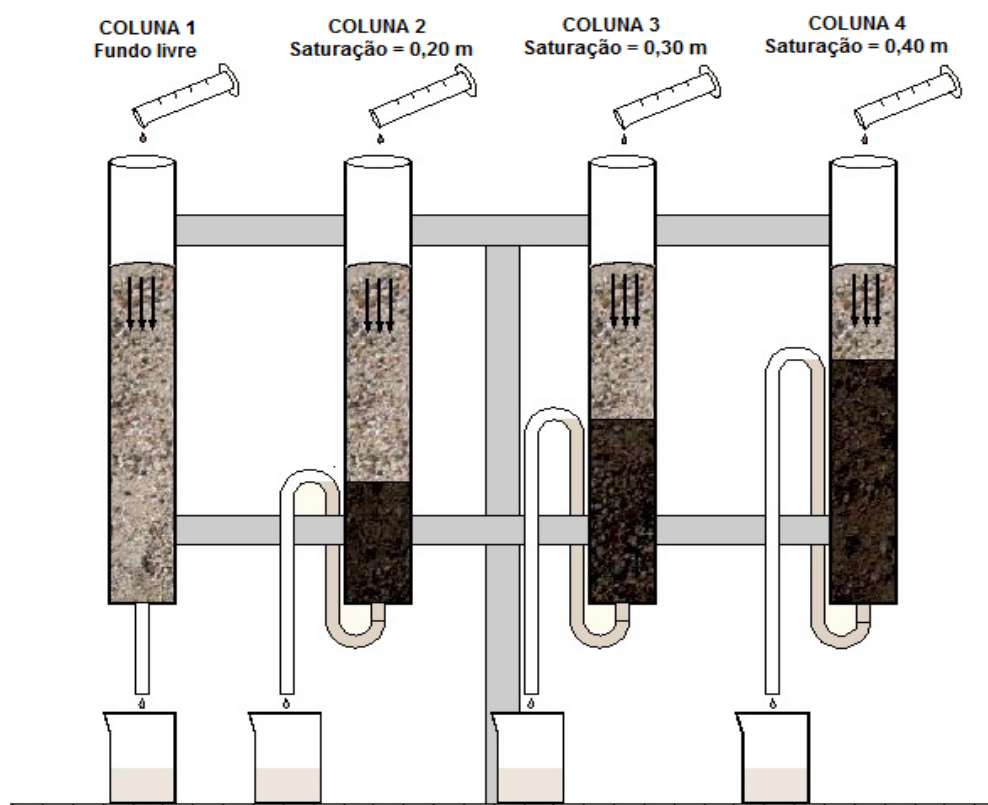
## METODOLOGIA

O experimento, em escala de bancada, consistiu na utilização de quatro colunas de vidro com diâmetro interno de 96 mm (área superficial de 0,007238 m<sup>2</sup>). As colunas foram preenchidas com areia grossa ( $d_{10} = 0,25$  mm,  $d_{60} = 1,63$  mm e  $U = 6,5$ ) em uma altura útil de 0,55 m para simulação do maciço filtrante componente de *wetlands* construídos verticais. Cada coluna foi operada com uma altura de saturação de fundo específica, sendo: coluna 1 – fundo livre; coluna 2 – 0,20 m de saturação; coluna 3 – 0,30 m de saturação e coluna 4 – 0,40 m de saturação. A saturação de fundo das colunas foi realizada com a utilização de mangueiras: as mesmas tiveram suas extensões fixadas nas alturas estudadas. Na Figura 1 estão apresentadas, de forma esquemática, as colunas de areia utilizadas no experimento com suas respectivas condições de saturação de fundo.

O efluente utilizado no experimento foi oriundo de uma parcela do esgotamento sanitário produzido no bairro Pantanal, do município de Florianópolis - Santa Catarina. O sistema de coleta de esgotos sanitários passa dentro do *campus* da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), onde o esgoto foi coletado. A alimentação das colunas foi realizada aplicando-se o esgoto sanitário de forma intermitente, três vezes por dia (9h, 13h e 17h), sendo três dias seguidos com alimentação e quatro dias de repouso, em um período total de 182 dias. A caracterização físico-química do afluente e efluente das colunas foi realizada semanalmente.

Os parâmetros físico-químicos avaliados tanto para o afluente quanto para o efluente foram: Potencial Hidrogeniônico (pH), Alcalinidade, Sólidos Suspensos (SS), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal ( $N-NH_4^+$ ), Nitrogênio Nitrito ( $N-NO_2^-$ ) e Nitrogênio Nitrato ( $N-NO_3^-$ ). Todos os parâmetros foram realizados seguindo recomendações de APHA (2005), com exceção de  $N-NH_4^+$ , que foi realizado seguindo a metodologia de Vogel (1981).

O carregamento de DQO aplicado foi fixado durante todo o período de estudo como sendo de  $41 \text{ gDQO.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , conforme critérios de Sezerino (2006). A Taxa Hidráulica (TH) foi, portanto, variável durante o estudo a fim de manter o carregamento de DQO constante.



**Figura 1:** Representação esquemática das colunas de areia simulando os maciços filtrantes componentes de *wetlands* construídos verticais de fluxo descendente com as respectivas alturas de saturação de fundo.

Aplicou-se análise estatística de variância (ANOVA), com o nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ) utilizando o software Microsoft Excel®, entre as diferentes colunas e os dados obtidos no monitoramento físico-químico.

## RESULTADOS

As colunas de areia operaram ao longo de 182 dias, com um carregamento constante de DQO de  $41 \text{ gDQO.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e uma taxa hidráulica média de  $72 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Na tabela 1 apresentam-se os resultados médios com desvio padrão, referentes aos parâmetros físico-químicos analisados.

**Tabela 1:** Resultados médios com desvio padrão referentes aos parâmetros físico-químicos.

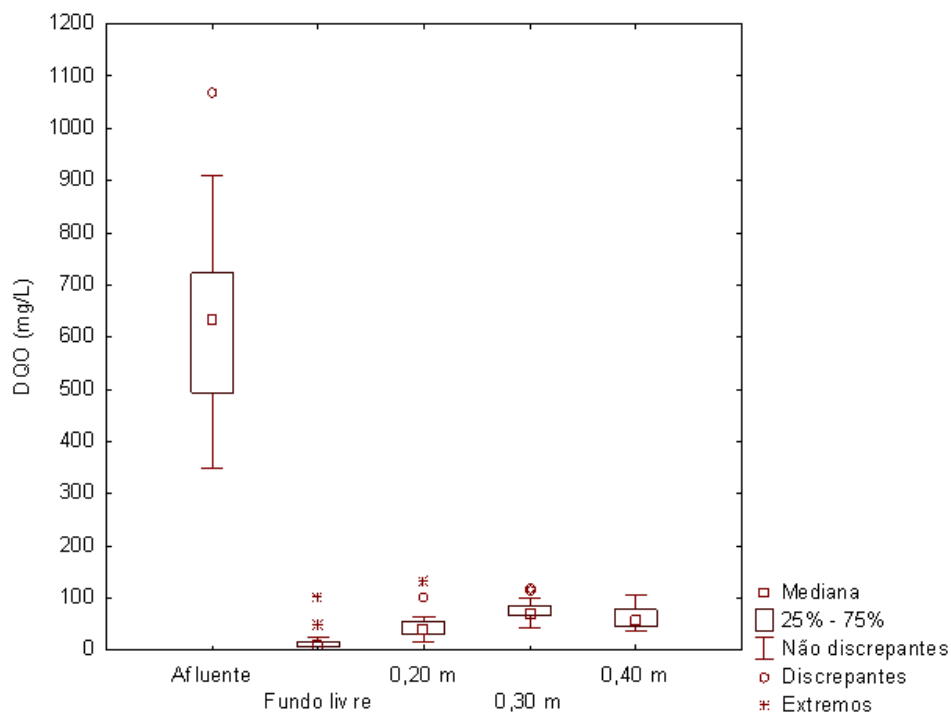
Parâmetros Físico-químicos (n = 26)	Esgoto Sanitário Afluente	Esgoto Sanitário Efluente			
		Coluna 1 (Fundo Livre)	Coluna 2 (0,20 m de saturação)	Coluna 3 (0,30 m de saturação)	Coluna 4 (0,40 m de saturação)
pH	$7,1 \pm 0,2$	$3,7 \pm 0,6$	$5,5 \pm 1$	$6,4 \pm 0,3$	$7 \pm 0,3$
Alcalinidade ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$264,8 \pm 61$	$4,1 \pm 11,5$	$25 \pm 24$	$44,1 \pm 21$	$101,5 \pm 37,3$
SS ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$96,5 \pm 46,5$	$2,4 \pm 6,3$	$4,8 \pm 10,7$	$3,85 \pm 9,97$	$4,8 \pm 6,8$
DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$624,5 \pm 181$	$16 \pm 20$	$45,8 \pm 24,8$	$75,3 \pm 18,5$	$62,2 \pm 20,$
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$58,6 \pm 12$	$11,5 \pm 8,3$	$12 \pm 7$	$13,7 \pm 7,1$	$19,1 \pm 10,6$
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) *	$0,15 \pm 0,05$	$0,65 \pm 1,9$	$2,5 \pm 3,2$	$2,5 \pm 3,5$	$0,7 \pm 1$
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) *	$2,8 \pm 1,4$	$61,8 \pm 25,7$	$48,4 \pm 18,6$	$32,5 \pm 13,5$	$11,4 \pm 9$

n = número de amostragens

\* n = 25

Visto que todas as colunas receberam um carregamento médio de  $6,2 \text{ gSS.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , verificou-se altos valores de remoção de SS, sendo de 95%, 91%, 92% e 92% de remoção para as colunas de fundo livre, 0,20 m, 0,30 m e 0,40 m de saturação de fundo, respectivamente.

Observou-se um pequeno decaimento na remoção de DQO nas colunas de areia que operaram com saturação de fundo de 0,20, 0,30 e 0,40 m, com valores de 92%, 87% e 89%, respectivamente, em relação à coluna que operou com drenagem livre e obteve 97% de remoção de DQO (Figura 2).



**Figura 2: Concentração de DQO afluente e efluente de cada coluna em estudo.**

Apesar das quatro colunas apresentarem comportamento similar com valores próximos para a remoção de DQO, com base nos resultados obtidos pelo teste ANOVA ( $p < 0,05$ ), verificou-se que existem diferenças significativas entre os tratamentos para a remoção de DQO.

É provável que a diferença na remoção de DQO, esteja associada com as variações das alturas de saturação de fundo, onde as mesmas proporcionam diferentes condições no meio, sobretudo relacionado com a disponibilidade de oxigênio, o que reflete diretamente na comunidade bacteriana atuante na remoção de compostos orgânicos.

Em relação ao  $\text{N-NH}_4^+$ , operando as colunas com um carregamento médio de  $4 \text{ gN-NH}_4^+.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , os valores de remoção de  $\text{N-NH}_4^+$  foram de 81%, 79%, 76% e 67%, respectivamente para as colunas de fundo livre, 0,20 m, 0,30 m e 0,40 m. Na Figura 3 apresentam-se as evoluções das concentrações de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  referentes aos 182 dias de operação do experimento.

A nitrificação foi evidente em todas as colunas, devido à formação de  $\text{N-NO}_3^-$  no efluente final, bem como o consumo da alcalinidade (Tabela 1). Esse processo pode ter sido favorecido pela disponibilidade de oxigênio, propiciada pelo regime de alimentação intermitente, que permitiu a efetiva transferência de oxigênio ao maciço filtrante, e ao estabelecimento de biofilme nitrificante.

Com base nos resultados obtidos pela análise ANOVA, observou-se diferença significativa em relação ao parâmetro nitrogênio amoniacal, para a coluna que operou com um fundo saturado de 0,40 m. É provável que esse fato esteja associado às diferentes vias de transformação desse íon proporcionada pela altura de saturação de fundo.

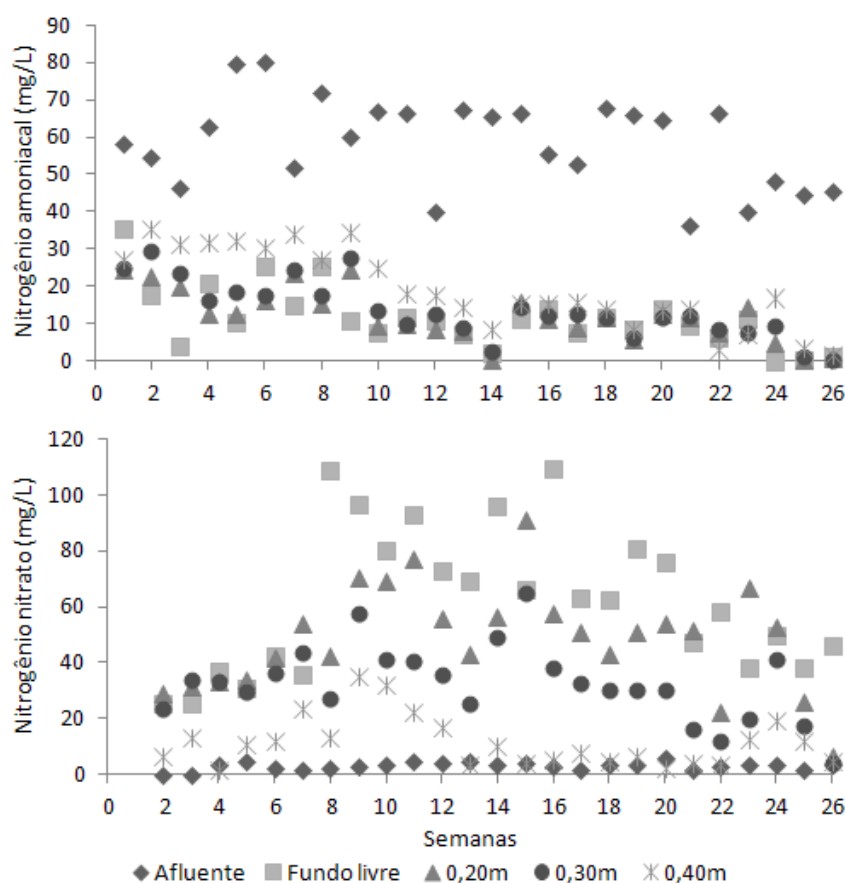


Figura 3: Evolução das concentrações de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ .

Conforme observado na Figura 3, após a 10<sup>a</sup> semana de operação do experimento, identificou-se o decaimento das concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrogênio nitrato na coluna que operou com saturação de fundo de 0,40 m, o que pode indicar indícios de desnitrificação, dado que foi a coluna que apresentou as menores concentrações de nitrogênio inorgânico no efluente final ( $\text{N-NO}_2^-$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ) (Figura 4).

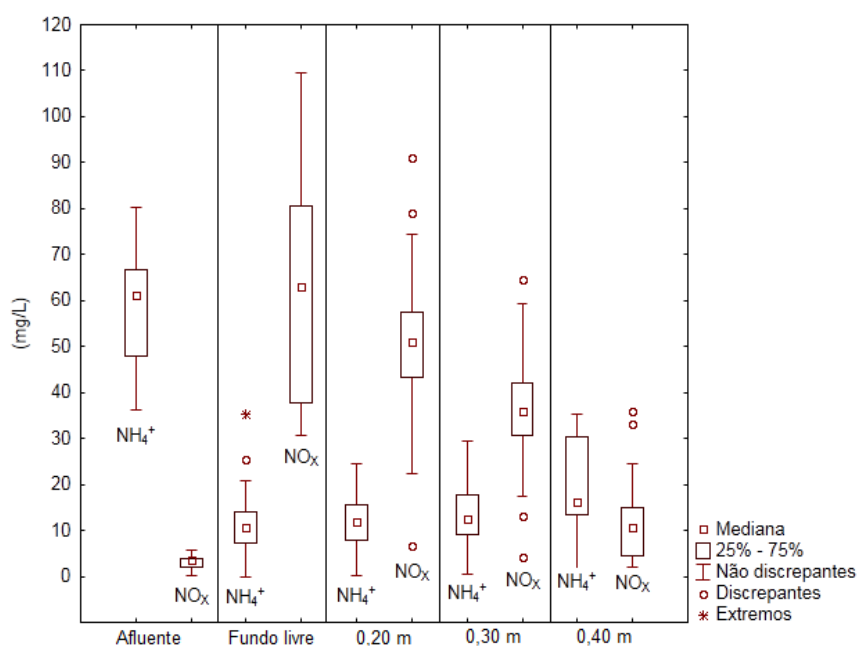


Figura 4: Concentrações afluentes e efluentes de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_x$ .

## CONCLUSÕES

Por meio da avaliação do desempenho de colunas de areia com 0,55 m de altura útil, operadas durante 182 dias no tratamento de esgoto sanitário e submetidas a diferentes alturas de saturação de fundo, pode-se concluir que:

- Colunas de areia com fundo livre e com alturas de saturação de fundo de 0,20 m, 0,30 m e 0,40 m apresentam elevadas remoções de DQO (variando de 87% a 97%) e SS (variando de 91% a 95%);
- Observou-se maior nitrificação na coluna com fundo livre e provável nitrificação seguida de desnitrificação nas colunas com saturação de fundo;
- A composição de um maciço filtrante com 0,15 m de profundidade insaturada e 0,40 m de profundidade saturada com o esgoto submetido ao tratamento apresenta-se com boa potencialidade de aplicação em WCV, pois atingiu remoções médias de 89% em termos de DQO, 92% de SS e 67% de  $\text{N-NH}_4^+$ , além de apresentar as menores concentrações médias de  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  no efluente final.

A partir da realização do experimento em laboratório, definiu-se uma saturação de 0,40 m do perfil vertical do maciço filtrante de um WCV piloto que está sendo implantado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O *wetland* construído vertical modificado com fundo saturado (WCVMF) foi dimensionado para atender a contribuição de esgoto representativa de uma família de cinco pessoas. O WCVMF tem área superficial de 7,5 m<sup>2</sup> e nele será aplicada carga orgânica aproximada de 41 gDQO.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, mesma condição operacional adotada no experimento com colunas de areia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21ed., Washington: APHA-AWWA-WEF. 1368p., 2005.
2. COOPER, P.F.; JOB, G. D.; GREEN, M. B.; SHUTES, R. B. E. Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Medmenham: WRc Publications, 1996.
3. KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. Treatment Wetlands. 2 ed., [s. l.]: Taylor & Francis, 2009.
4. KIM, B.; GAUTIER, M.; PROST-BOUCLE, S.; MOLLE, P.; MICHEL, P.; GOURDON, R. Performance evaluation of partially saturated vertical flow constructed wetland with trickling filter and chemical precipitation for domestic and winery wastewaters treatment. Ecological Engineering, v.71, p.41-47, 2014.
5. PLATZER, C. Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. Water Science and Technology, v. 40, n. 3, p. 257-263, 1999.
6. SEZERINO, P. H. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
7. VOGEL, A. I. Química analítica qualitativa. 5ed, Editora Mestre Jou: São Paulo, 665p., 1981.