

## **WETLANDS CONSTRUÍDOS APLICADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE BOVINOCULTURA LEITEIRA**

### **CONSTRUCTED WETLANDS APPLIED IN TREATMENT OF DAIRY CATTLE EFFLUENT**

**Catiane Pelissari\***

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
catianebti@gmail.com

**Samara Terezinha Decezaro**

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
samaradecezaro@hotmail.com

**Alessandra Pellizzaro Bento**

Companhia Catarinense de Águas e Saneamento - CASAN  
abento@casan.com.br

**Delmira Beatriz Wolff**

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
delmirawolff@hotmail.com

**Pablo Heleno Sezerino**

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
pablo.sezerino@ufsc.br

#### **Resumo**

O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho de *wetland* construído horizontal (WCH) e *wetland* construído vertical (WCV), empregados no tratamento do efluente de bovinocultura leiteira. Implantou-se duas unidades de WC pós lagoa de decantação (área: 116 m<sup>2</sup>), a qual recebeu efluente proveniente de uma unidade produtiva leiteira (capacidade diária de produção de 140 litros de leite). Os WC foram operados em paralelo e caracterizam-se, por um WCH (área superficial de 26,5 m<sup>2</sup>) e WCV (área superficial de 14,3 m<sup>2</sup>). Ambos os WC foram escavados no solo, impermeabilizados, preenchidos com areia grossa ( $d_{10} = 0,30$  mm e  $d_{60} = 0,75$  mm) como material filtrante e plantados com a macrófita *Typha domingensis* Pers. O WCH operou sob um regime hidráulico de 3,98 m<sup>3</sup>/semana e o WCV com 4,5 m<sup>3</sup>/semana. O efluente tratado foi infiltrado no solo, através de valas de infiltração construídas no local. Por meio do monitoramento físico-químico ao longo de 12 meses, verificou-se maior desempenho de efluente tratado para o WCH com eficiências médias de remoção em termos de carga de 87% de DQO, 81% de DBO, 90% de SS, 80% de NTK, 80% N-NH<sub>4</sub> e 68% de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, respectivamente. Para o WCV as eficiências obtidas foram de 70% de DQO, 52% de DBO, 70% de SS, 73% de NTK, 81% de N-NH<sub>4</sub> e 16% de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, respectivamente. A partir dos resultados obtidos nesse estudo recomenda-se a utilização dos WC

como uma alternativa tecnológica de tratamento de efluente líquido oriundo das instalações de bovinocultura de leite.

**Palavras-chave:** Efluente. Bovinocultura leiteira. *Wetlands* construídos horizontal e vertical. Desempenho de tratamento.

## Abstract

The goal of this study was to measure the performance of the vertical flow constructed wetland (VFCW) and the horizontal flow constructed wetlands (HFCW), used in the treatment of dairy cattle effluent. Was implanted two constructed wetland (CW) units after sediment pond (area: 116m<sup>2</sup>), which received effluent from a dairy production unit (daily production capacity of 140 liters of milk). The CW were operated in parallel and are characterized by a HFCW (surface area of 26.5m<sup>2</sup>) and VFCW (surface area of 14.3m<sup>2</sup>). Both CW were dug in the ground, sealed, filled up with sand ( $d_{10} = 0.30$  mm and  $d_{60} = 0.75$  mm) as filter material and planted with macrophyte *Typha domingensis* Pers. The HFCW operated under a hydraulic scheme of 3.98m<sup>3</sup>/week and HFCW with 4.5m<sup>3</sup>/week. The treated effluent was infiltrated into the soil through artificial swales constructed on site. Through physical-chemical monitoring during 12 months, was verified a higher performance of the treated effluent to HFCW with average removal efficiencies in terms of load of 87% of COD, 81% BOD, 90% of SS, 80 NTK%, 80% NH<sub>4</sub>-N and 68% P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, respectively. For VFCW the efficiencies obtained were 70% for COD, BOD 52%, 70% SS, NTK 73%, 81% NH<sub>4</sub>-N and 16% P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, respectively. From the results obtained in this study, it is recommended to use the CW as a technological alternative to liquid effluent treatment derived from the dairy production.

**Keyword:** Effluent. Dairy cattle. Constructed wetlands. Performance treatment.

## 1 Introdução

Os *wetlands* construídos são considerados uma ecotecnologia mundialmente consolidada para o tratamento de diversos tipos de efluentes. No caso das águas residuárias da agropecuária, esses sistemas vêm sendo cada vez mais utilizados no tratamento por possibilitarem a remoção de nutrientes, particularmente nitrogênio e fósforo (GOTTSCHALLET al., 2007).

Quanto a utilização desta tecnologia no tratamento de águas residuárias de bovinocultura leiteira, existe a necessidade de estabelecer relações entre dimensionamento, operação, carregamentos aplicados e desempenho do tratamento, considerando as particularidades destes efluentes.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho de um *wetland* construído horizontal e de um *wetland* construído vertical empregados no tratamento de efluentes oriundos da bovinocultura leiteira.

## 2 Metodologia

A área de estudo compreende as instalações para manejo de bovinocultura de leite do Colégio Agrícola de Frederico Westphalen (CAFW), pertencente à Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, campus de Frederico Westphalen, mesorregião Noroeste do Rio Grande do Sul.

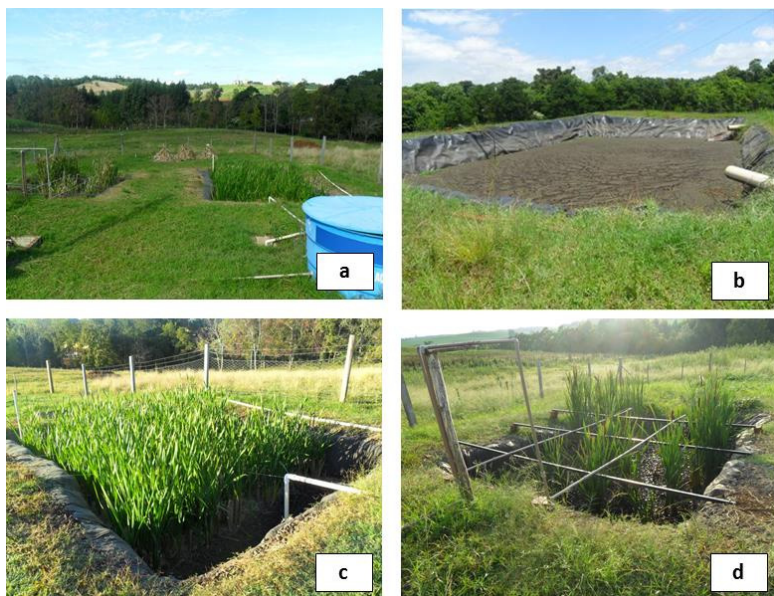
Foram instalados dois *wetlands* construídos em paralelo, sendo um horizontal e outro vertical, aplicados no tratamento secundário do efluente de uma lagoa de decantação que recebia os despejos da instalação de bovinocultura de leite (Figura 1).

O dimensionamento dos *wetlands* foi realizado levando em consideração uma carga de 7,0 g DBO/mdia, segundo a recomendação da *Natural Resources Conservation Service* (NRCS, 1991 *apud* Healy et al.,2007) para o WCFH, e de 20,0 g DQO/mdiapara o WCFV, estabelecido por Winter e Goetz (2003).

As dimensões adotadas para o WCH foram de 6,7 m de comprimento, 3,95 m de largura e 1,15 m de profundidade, resultando em uma área superficial de 26,5 m<sup>2</sup>, enquanto que o WCV possuía uma área superficial de 14,3 m<sup>2</sup>, com dimensões de 4,4 m de comprimento, 3,25 m de largura e 1,15 m de profundidade.

A areia utilizada como material filtrante em ambos *wetlands* apresentou d<sub>10</sub> (diâmetro efetivo) de 0,30 mm, d<sub>60</sub> de 0,75 mm e coeficiente de uniformidade (U) de 2,50. As unidades foram escavadas no solo, em cota inferior à lagoa de decantação, sendo feita impermeabilização nas laterais e no fundo com duas camadas de lona plástica e manta de poliéster na última camada.

Figura 1 – Estação de tratamento no CAFW : (a) vista geral; (b) lagoa de decantação; (c) WCH; (d) WCV



Fonte: Autoria própria (2012)

A macrófita empregada em ambos *wetlands* foi a *Typha domingensis* Pers., conhecida popularmente como taboa. As mesmas foram plantadas diretamente no material filtrante na razão de 1,5 plantas/m, após a retirada da parte aérea e excesso de matéria orgânica aderida aos rizomas.

Um reservatório de 3.000 L foi utilizado como equalizador, o qual recebia o efluente da lagoa de decantação e o distribuía para as duas unidades *wetlands*, em paralelo, com uma vazão média de 3.980 L/semana para o WCH, distribuído apenas por gravidade e 4.500 L/semana para o

WCV, de forma intermitente, através de um sistema de bombeamento controlado por um temporizador. Após passar pelas unidades experimentais o efluente tratado foi infiltrado no solo, por meio de valas de infiltração.

As unidades foram operadas durante 17 meses (junho/2011 a outubro/2012). O WCH foi alimentado 4 vezes por semana (segundas, terças, quintas e sextas-feiras), com uma vazão média de 995 L/dia (alimentação durante um período de 4 horas). Já no WCV, a alimentação foi realizada 3 vezes por semana (segundas, quartas e sextas-feiras), através de 4 pulsos diários de 375 L, durante 5 minutos de sucção, totalizando 1.500 L/dia.

O monitoramento do experimento compreendeu ações de aferição de vazão, coleta de amostras e análises laboratoriais. As análises físico-químicas do efluente foram realizadas semanalmente, após coletas pontuais, em 3 pontos, sendo: (i) pós lagoa de decantação (no equalizador); (ii) pós WCH e (iii) pós WCV. Os parâmetros analisados foram: Potencial Hidrogeniônico (pH), Alcalinidade, Oxigênio Dissolvido (OD), Sólidos Suspensos (SS), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Nitrogênio Nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Nitrogênio Nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e Ortofosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). As concentrações de nitrogênio total (NT) foram calculadas somando-se os valores de NTK, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Todos os parâmetros foram realizados seguindo recomendações de APHA (2005), com exceção de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, que foi realizado seguindo a metodologia de Vogel (1981).

### 3 Resultados e discussão

Na Tabela 1 apresenta-se a caracterização físico-química do afluente e dos efluentes do WCH e do WCV, referente a 12 meses de monitoramento (novembro/2011 a outubro/2012).

Tabela 1 – Valores médios e desvios padrão obtidos por meio do monitoramento físico-químico

Parâmetros (mg/L) n= 35	Afluente	Efluente do WCH	Efluente do WCV
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
pH	7,2	6,4	6,9
Alcalinidade	668,3 ± 300,0	455,0 ± 300,4	290,2 ± 141,2
OD	1,1 ± 0,1	0,8 ± 0,4	3,4 ± 0,8
SS	254,1 ± 100,6	48,9 ± 33,1	80,2 ± 44,8
DQO	1.008,2 ± 297,6	262,2 ± 83,3	322,9 ± 101,1
DBO <sub>5</sub>	138 ± 67,8	53 ± 28,5	71 ± 45,3
NTK	68,8 ± 29,6	27,6 ± 14,7	19,6 ± 9,2
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	55,0 ± 27,6	22,8 ± 21,3	11,1 ± 10,7
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,0 ± 0,0	*ND	ND
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5,2 ± 3,9	3,0 ± 1,6	37,2 ± 15,3
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	23,2 ± 6,9	15,1 ± 7,8	20,9 ± 7,3

\* Abaixo do limite de detecção;

Fonte: Autoria própria (2012)

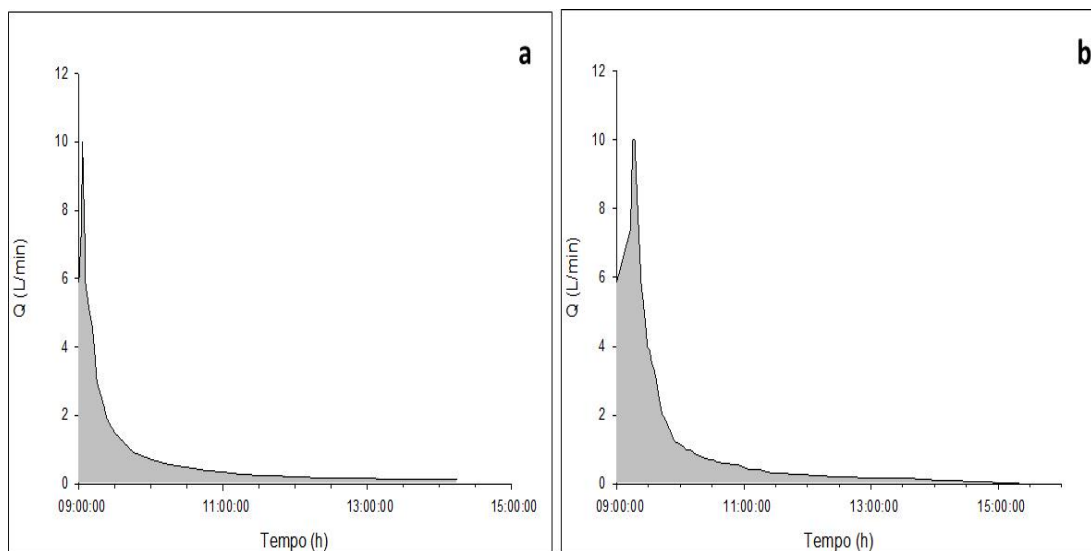
### 3.1 Remoção de sólidos

Tratando-se do WCH a carga média aplicada de SS, considerando uma área transversal de 3,16 m<sup>2</sup>, foi de 320 g/m<sup>2</sup> semana, e obteve-se remoção de concentração média de 80%. Durante todo o período de estudo não observou-se indícios de colmatação nesse módulo.

O WCV operou com cargas médias de 80 g SS/m<sup>2</sup> semana, e obteve-se uma eficiência de remoção de concentração média de 68%. O presente estudo operou com uma taxa hidráulica de 105mm/d e um carregamento médio de 80 g SS/m<sup>2</sup> semana, valores semelhantes aos trabalhados por Langergraber et al. (2003), que estudaram WCV em escala piloto. Os autores relatam que os sistemas apresentaram problemas de colmatação com taxas acima de 100 mm/d e com carregamento de 75,6 g SS/m<sup>2</sup> semana.

Ressalta-se que trabalhando com essas condições, até o término do estudo não verificou-se indício de escoamento superficial. Entretanto, verificou-se no decorrer dos meses um aumento no tempo de drenagem do efluente do WCV. Na Figura 2 apresenta-se a curva de drenagem do efluente do WCV. Como pode ser observado, o tempo de drenagem do efluente no mês de junho de 2012 foi de aproximadamente 5 horas e para o mês de setembro de 2012 o tempo de drenagem foi de aproximadamente 6 horas, indicando um aumento de 1 hora no tempo de drenagem do efluente.

Figura 2 – Curva de drenagem do efluente no WCV, construída com base em valores médios referentes a 2 amostragens mensais. a) junho de 2012; b) setembro de 2012



Fonte: Autoria própria (2012)

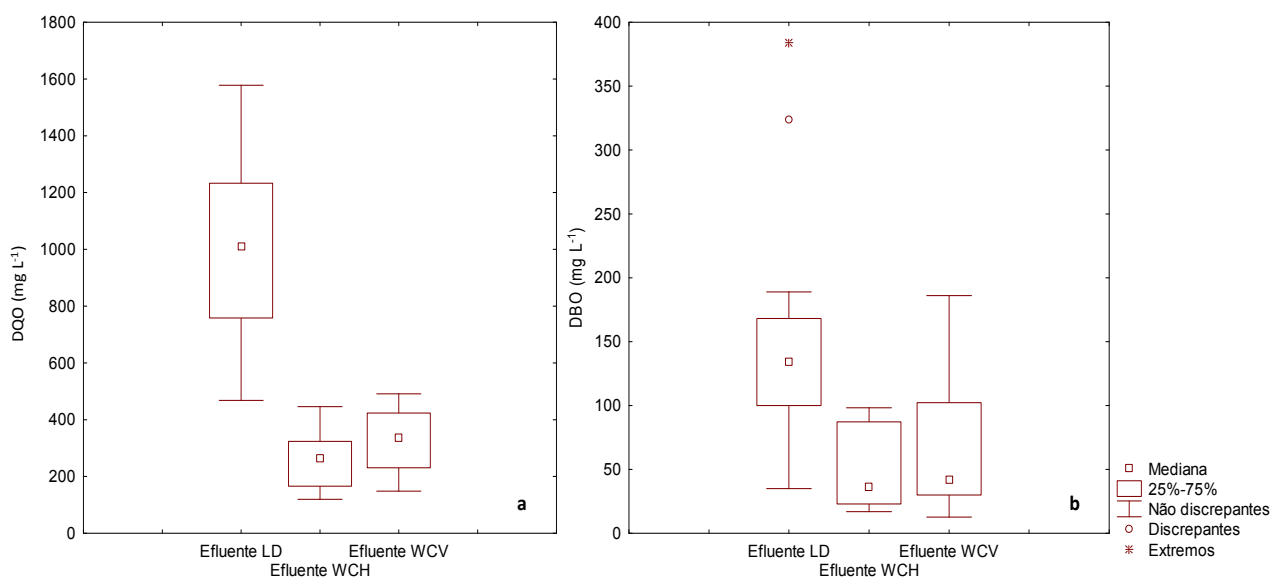
O aumento do tempo de drenagem do efluente pode ter sido influenciado pelo desprendimento dos sólidos e do biofilme, o que reflete na diminuição da condutividade hidráulica, retardando o fluxo do efluente até a zona de saída. Segundo Zhao et al. (2009), esse processo está associado com o desprendimento do biofilme dentro do material filtrante e com a acumulação de partículas orgânicas.

### 3.2 Remoção de matéria orgânica carbonácea

Na Figura 3 apresenta-se o comportamento das concentrações de DQO e DBO do afluente e dos efluentes do WCH e do WCV. Pode-se observar que em termos de concentração final de DQO, os *wetlands* demonstraram comportamento similar entre si.

Para o WCH a carga média superficial aplicada de DQO foi de 151 g/m<sup>2</sup> semana, e obteve-se uma remoção média em termos de concentração de 74%. Para o WCV, a carga média aplicada de DQO foi de 317g/m<sup>2</sup> semana e a eficiência média obtida em termos de concentração foi de 68%. Essa unidade recebeu aproximadamente 2 vezes mais carga do que o parâmetro de projeto, que seguiu recomendações de Winter e Goetz (2003), os quais estabelecem um limite máximo de carregamento de 140g/m<sup>2</sup> semana.

Figura 3 – Concentração de matéria orgânica carbonácea. a) DQO; b) DBO



Fonte: Autoria própria (2012)

Para o WCH aplicou-se um carregamento médio de DBO de 20,7 g/m<sup>2</sup> semana, e obteve-se uma eficiência em termos de concentração média de 62%. Contudo, a literatura apresenta relatos de eficiências superiores. Newman et al.(2000) avaliaram o desempenho de remoção de DBO de um WCH aplicado no tratamento de efluentes de laticínios, empregando uma carga de 51 g/m<sup>2</sup> semana, e obtiveram uma eficiência média de 85% para esse parâmetro. Lee et al. (2004) trabalharam com um WCH aplicado ao tratamento de efluentes de suinocultura com 3 carregamentos, de 331,8 g/m<sup>2</sup> semana, 172,9 g/m<sup>2</sup> semana e 83,3 g/m<sup>2</sup> semana, obtendo remoções de 86%, 91% e 92%, respectivamente. Mantoviet al. (2003), também, observaram remoções superiores a 90% aplicando uma carga média de 254g/m<sup>2</sup> semana, fazendo a recirculação do efluente em dois WCH.

Para o WCV, aplicando-se um carregamento de 43,5 g DBO/m<sup>2</sup> semana, obteve-se eficiência em termos de concentração média de 49%. Aslamet al. (2007) observaram uma remoção de 51% de DBO em um WCV, trabalhando com cargas médias de 95,5 g/m<sup>2</sup> semana. Sarmiento (2010), aplicando um carregamento inferior, de 24,5 g/m<sup>2</sup> semana, observou uma remoção média de 73%.

Pode-se verificar que ambos os sistemas apresentaram remoções de DBO inferiores quando comparados com os demais trabalhos. Infere-se que esta menor remoção pode estar associada com a difícil biodegradabilidade do efluente. Apesar disso, ambos os *wetlands* liberaram o efluente final com concentrações abaixo de 100 mg/L, conforme apresentado na Figura 3.

### 3.3 Remoção e transformação de nutrientes

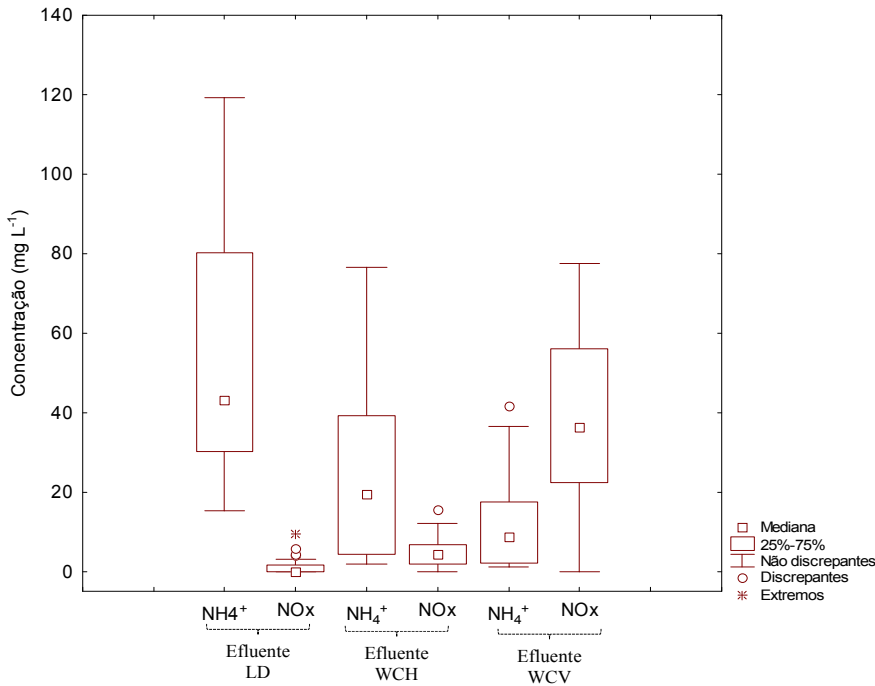
Observou-se uma remoção média de nitrogênio total (NT), em termos de concentração, de 58 % para o WCH e de 22 % para o WCV, contudo, verificaram-se diferentes vias de transformações do nitrogênio em cada unidade de tratamento.

Dentre os principais fatores que proporcionaram as diferentes transformações do nitrogênio no WCH e no WCV destacam-se: i) a disponibilidade de oxigênio; ii) o desenvolvimento das macrófitas, iii) a assimilação de nitrogênio pelas macrófitas (SUN et al. 2012).

Não se observou nitrificação no WCH (Figura 4), devido a baixa disponibilidade de oxigênio no meio em função das características operacionais do sistema. Desta forma, a remoção média de nitrogênio amoniacal foi de 58%, a qual está relacionada principalmente com a assimilação pelas macrófitas, e com a adsorção no material filtrante e no biofilme formado no maciço filtrante.

No WCV, a nitrificação foi o principal mecanismo relacionado com a remoção do nitrogênio amoniacal, a qual foi de 80% (Figura 4), sendo que 73 % da amônia removida foi devido a nitrificação, esse fato ocorreu em função da efetiva transferência de oxigênio no maciço filtrante conforme proposto por Platzer (1999) e também pela adaptação da microbiota nitrificante.

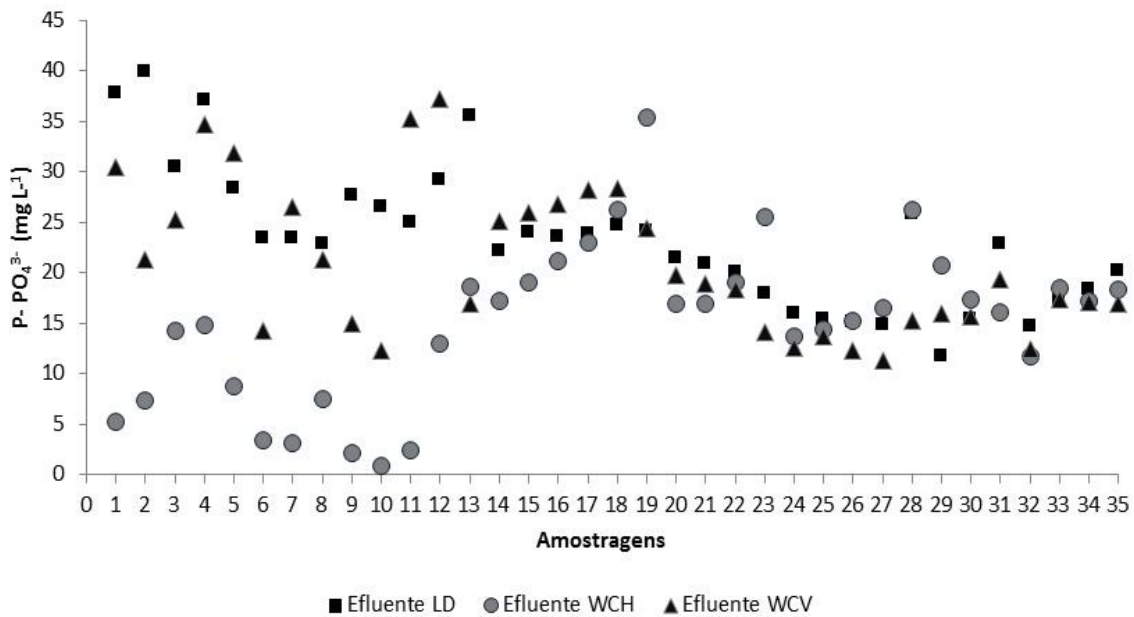
Figura 4 – Concentrações de nitrogênio amoniacal e de NOx no afluente e nos efluentes dos *wetlands*



Fonte: Autoria própria (2012)

Foi visível a remoção de  $P-PO_4^{3-}$  no primeiro ano de operação no WCH (Figura 5). Durante esse período a eficiência de remoção média foi de 76% aplicando-se uma carga de 4,4g/m<sup>2</sup> semana. Após 9 meses de operação a eficiência média caiu para 4%, aplicando-se uma carga de 3,04 g/m<sup>2</sup> semana. A eficiência média considerando todo o período de monitoramento foi de 35%.

Figura5 – Concentrações de ortofosfato no afluente e nos efluentes dos *wetlands*



Fonte: Autoria própria (2012)



Tratando-se do WCV (Figura 5), a eficiência de remoção de  $P-PO_4^{3-}$  foi baixa desde o início do monitoramento. A remoção média de fósforo, em termos de concentração, durante todo o período de estudo foi de 10%, aplicando-se uma carga média de 7,35 g/m<sup>2</sup>semana. O mesmo fato foi relatado por Stefanakis e Tsihrintzis (2012). Segundo os autores, as baixas remoções de  $P-PO_4^{3-}$  no WCV em relação às ocorridas no WCH estão relacionadas com as características hidráulicas de cada unidade, pois no WCH o efluente permanece em contato com o maciço filtrante por um tempo maior, quando comparado com o WCV, onde o efluente é rapidamente drenado até a saída, tendo menos tempo para que ocorra a adsorção de  $P-PO_4^{3-}$  no material filtrante.

### 3.4 Cargas aplicadas e removidas

Devido à diferença de vazões de entrada e saída de ambos os *wetlands*, as eficiências em termos de carga são mais representativas e relativamente mais elevadas se comparadas com as eficiências em termos de remoção de concentração. Na Tabela 2 são mostradas as eficiências do WCH e do WCV quanto às cargas aplicadas e removidas. O WCH apresentou maior eficiência em todos os parâmetros em termos de carga, com exceção apenas do nitrogênio amoniacal. Entretanto, isso já era esperado, pois não se observou nitrificação nesse módulo, diferentemente do observado no WCV.

Tabela 2 - Cargas aplicadas e removidas nos *wetlands*

Parâmetros	WCH			WCV		
	Carga aplicada (g/m <sup>2</sup> d)	Carga Removida (g/m <sup>2</sup> d)	Eficiência (%)	Carga aplicada (g/m <sup>2</sup> d)	Carga Removida (g/m <sup>2</sup> d)	Eficiência (%)
DQO	151,42	19,30	87	317,25	95,52	70
DBO	20,76	3,90	81	43,50	20,88	52
SS	38,17	3,60	90	80,00	23,74	70
NTK	10,35	2,03	80	21,68	5,81	73
N-NH <sub>4</sub>	8,27	1,68	80	17,33	3,30	81
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	3,51	1,11	68	7,35	6,20	16

Fonte: Autoria própria (2012)

## 4 Conclusões

Com base no monitoramento físico-químico realizado ao longo do período de um ano, sob o regime hidráulico e carregamentos aplicados pode-se inferir:

- O WCH removeu 87%, 81%, 90%, 80%, 68% das cargas aplicadas, em termos de DQO, DBO, SS, N-NH<sub>4</sub> e P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, respectivamente;
- O WCV removeu 70%, 52%, 70%, 81%, 16% das cargas aplicadas em termos de DQO, DBO, SS, N-NH<sub>4</sub> e P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, respectivamente;

- c) A remoção média de NT, em termos de concentração, foi de 58% para o WCH e de 22% para o WCV;
- d) A nitrificação foi responsável por remover 73% dos 80% de nitrogênio amoniacal removidos no WCV, já no WCH nãoobservou-se nitrificação, contudo, ocorreu 58 % de remoção média de nitrogênio amoniacal;
- e) Ambos os *wetlands* não foram eficientes na remoção de  $P-PO_4^{3-}$ , com o WCH apresentando eficiência média de 35% e o WCV apenas 10%.
- f) Após 15 meses de operação, trabalhando-se com cargas médias de 80 g SS/m<sup>2</sup> semana, notou-se que o tempo de drenagem do efluente do WCV aumentou em aproximadamente 1 hora;
- g) O WCH mostrou melhor desempenho, quando comparado com o WCV em termos de qualidade de efluente tratado, desenvolvimento das macrófitas e adaptação ao meio rural;
- h) Os *wetlands* construídos apresentaram potencialidade de agregação de valor com a utilização do efluente tratado, haja visto as concentrações de nitrogênio e fósforo, possíveis de serem aplicados na agricultura.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo financiamento da pesquisa.

## Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2005. 1368p.

ASLAM, M.M.; MALIK, M.; BAIG, M.A.; QAZI, I.A.; IQBAL, J. Treatment performances of compost-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for refinery wastewater treatment in Pakistan. *Ecological Engineering*, v.30, n.1, p. 34-42, 2007.

GOTTSCHALL, N.; BOUTIN, C.; CROLLA, A.; KINSLEY, C.; CHAMPAGNE, P. The role of plants in the removal of nutrients at a constructed wetland treating agricultural (dairy) wastewater, Ontario, Canada. **Ecological Engineering**, v. 29 p.154–163. 2007.

HEALY, M. G.; RODGERS, M.; MULQUEEN, J. Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. **Bioresource Technology**, v. 98, p.2268–2281, 2007.

LANGERGRABER, G.; HABERL, R.; LABER, J.; PRESSL, A. Evaluation of substrate clogging process in vertical flow constructed wetlands. **Water Science and Technology**, v. 48, n. 5, p. 25-34, 2003.

LEE, C.Y.; LEE, C.C.; LEE, F.Y.; TSENG, S.K.; LIAO, C.J. Performance of subsurface flow constructed wetlands taking pretreated swine effluent under heavy loads. **Bioresource Technology**, v. 92, p.173-179, 2004.

MANTOVI, P.; MARMIROLI, M.; MAESTRE, E.; TAGLIAVINI, S.; PICCININI, S.; MARMIROLI, N.; Application of a horizontal subsurface flow constructed wetlands on treatment of dairy palor wastewater. **Bioresource Technology**, v.88, p.85–94, 2003.

NEWMAN, J.M.; CLAUSEN, J.C.; NEAFSEY, J.A. Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milk house wastewater in Connecticut. **Ecological Engineering**, v. 14, p. 181-198, 2000.

PLATZER, C. Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 3, p. 257- 263, 1999.

SARMENTO, A.P.; BORGES, A.C.; MATOS, A.T. Evaluation of vertical-flow constructed wetlands in swine wastewater treatment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 12., 2010, Veneza, Italy. **Proceedings...** Londres: IWA, v.2, 2010. p.1494-1501.

STEFANAKIS, I.A.; TSIHRINTZIS. Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands. **Chemical Engineering Journal**, v. 181-182, p. 416-430, 2012.

SUN, G.; ZHAO, Y.; ALLEN, S. Enhanced removal of organic matter and ammoniacal-nitrogen in a column experiment of tidal flow constructed wetland system. **Journal of Biotechnology**, v. 115, n.2, p.189-197, 2005.

VOGEL, A.I. **Química analítica qualitativa**. 5.ed, editora Mestre Jou, São Paulo, 1981, 665 p.

ZHAO, L.; ZHU, W.; TONG, W. Clogging processes caused by biofilm growth and organic accumulation in lab-scale vertical flow constructed wetlands. **Journal of Environmental Science**. v.21, n. 6, p.750-757, 2009.

WINTER, K. J.; GOETZ, D. The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands. **Water Science and Technology**, v. 48, n. 5, p. 9-14, 2003.