



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

COMPORTAMENTO INICIAL DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS EMPREGADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA BOVINOCULTURA DE LEITE

Catiane Pelissari¹, Samara Terezinha Decezaro², Pablo Heleno Sezerino³, Alessandra Pellizzaro Bento⁴, Orlando de Carvalho Júnior⁵, Delmira Beatriz Wolff⁶

RESUMO

Este trabalho objetiva avaliar o comportamento inicial, compreendido pelos nove primeiros meses, de um sistema composto por filtros plantados com macrófitas – FPM (*wetlands* construídos) no pós-tratamento do efluente de lagoa de decantação, proveniente de uma instalação de bovinocultura de leite na região noroeste do Rio Grande do Sul. Foram empregados dois tipos de FPM, em paralelo, ambos escavados no solo, sendo um de fluxo vertical (FPMV), com 14,3 m² de área e outro de fluxo horizontal (FPMH), com 26,5 m² de área. Os FPM foram preenchidos com areia e brita e plantados com *Typha domingensis* Pers. Com vazões de 4500 L/semana e cargas médias de 490 g DBO/semana, 3865 g SS/semana e de 310 g N-NH₄⁺/semana para cada filtro, obteve-se eficiências médias de remoção de 69%, 92%, 29% e 78% para DBO, SS, N-NH₄⁺ e P-PO₄³⁻, respectivamente no FPMH e de 60%, 72%, 67% e 15% para DBO, SS, N-NH₄⁺ e P-PO₄³⁻, respectivamente no FPMV. As macrófitas tiveram bom desenvolvimento no FPMH, o que não ocorreu no FPMV, devido à baixa saturação de efluente no maciço filtrante, sendo realizado novo plantio nesse filtro. O custo total de implantação do sistema representou R\$ 254,9 /m² de filtro construído.

Palavras-chave: Bovinocultura de leite; Tratamento de efluentes; *Wetlands* construídos.

INITIAL BEHAVIOR OF CONSTRUCTED WETLANDS APPLIED AS WASTEWATER TREATMENT OF DAIRY CATTLE

ABSTRACT

This work deals to evaluate the initial behavior during the first nine months of a system composed by two constructed wetlands (CW) applied as post-treatment of settling pond effluent from dairy cattle located in northwestern of state of Rio Grande do Sul, Brazil. Two types of CW were built in parallel, as follow: one of them with vertical flow (VFCW – 14,3 m² of superficial area) and other one with horizontal flow (HFCW – 26,5 m² of superficial area). Both CW were filled up with sand and gravel and were planted with *Typha domingensis* Pers. With average flow of 4500 L/week and loads applied of 490 g BOD / week, 3865 g SS / week and 310 g NH₄⁺-N / week for both CW, were obtained average removal efficiencies of 69%, 92%, 29% e 78% of BOD, SS, NH₄⁺-N and PO₄³⁻-P, respectively in the FPMH and 60%, 72%, 67% e 15% of BOD, SS, NH₄⁺-N and PO₄³⁻-P, respectively in the FPMV. The macrophyte had a good development in the HFCW, however in the VFCW due to low water content in the filter, was necessary replace them for new ones. The total system implantation cost represented R\$ 254,9 /m² of filter.

Keywords: Dairy cattle; Wastewater treatment; Constructed wetlands.

Trabalho recebido em 11/04/2012 e aceito para publicação em 18/06/2012.

^{1,6} Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS. Email: catianebti@gmail.com

^{2,3,4,5} Departamento de Ciências Agrônomicas e Ambientais do Centro de Educação Superior Norte-RS (CESNORS), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Frederico Westphalen, RS.

1. INTRODUÇÃO

A bovinocultura de leite na mesorregião noroeste do estado do Rio Grande do Sul se destaca como uma das principais atividades agropecuárias. Atualmente, esta mesorregião é a maior produtora de leite nacional, com um volume de produção estimada de 2.614.988 mil litros no ano de 2011 (ZOCCAL, 2012).

Essa atividade ocasiona a geração de efluentes líquidos que quando mal gerenciados, contribuem para alteração na qualidade da água dos corpos receptores. Efluentes de sala de ordenha de bovinocultura de leite contém principalmente leite, esterco, urina, pêlos e também detergentes ácidos e/ou alcalinos provenientes da limpeza das instalações. Dependendo do manejo, o efluente gerado nas instalações anexas pode conter agentes medicamentosos e ainda, restos de alimento não consumido. Assim sendo, esses efluentes podem conter alta carga de matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo, e muitas vezes, alto teor de sólidos em suspensão.

A adoção de tecnológicas aplicáveis ao tratamento de efluentes da bovinocultura, que auxiliem na redução do impacto ambiental, é indispensável para que se possa vincular a produtividade animal com a sustentabilidade ambiental. Tecnologias naturais de tratamento de efluentes, tais

como os *wetlands* construídos, atendem essas premissas. Os *wetlands* construídos são sistemas normalmente utilizados no tratamento de águas residuárias biodegradáveis, tais como as de origem doméstica, da suinocultura, de laticínios, industriais, entre outros (SEZERINO *et al*, 2003, DOMINGOS, 2011, TANNER *et al*, 1998), alcançando boa redução da carga poluidora contida nesses efluentes.

Denomina-se filtros plantados com macrófitas (FPM) os sistemas *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial, nos quais, macrófitas emergentes são plantadas diretamente no material filtrante, usualmente brita e/ou areia. De acordo com o tipo de fluxo hidráulico, os FPM podem ser de fluxo horizontal (FPMH) ou vertical (FPMV) (PHILIPPI; SEZERINO, 2004). O tipo de filtro empregado está relacionado com a área requerida para implantação, custos e, também, com a qualidade do efluente gerado ou requerido.

Nos FPMH, o esgoto é lançado na porção inicial do filtro e segue horizontalmente por meio do material filtrante até atingir a porção final do filtro, onde é coletado, devido a uma declividade de fundo. Essa configuração do FPMH possibilita que o efluente entre em contato com o biofilme em regiões aeróbias, existentes ao redor das raízes das macrófitas, mas também com regiões anóxicas e anaeróbias que ocorrem nas camadas de maior

profundidade do leito, favorecendo assim, boa remoção de matéria orgânica, sólidos e principalmente desnitrificação (quando o efluente estiver previamente nitrificado) (HOFFMANN; PLATZER, 2011).

Por outro lado, nos FPMV o efluente é disposto de forma intermitente sobre a superfície do filtro e percola verticalmente pelo material filtrante até atingir o fundo do leito, onde é coletado. Esse tipo de intermitência de fluxo promove grande arraste de oxigênio para o meio filtrante, favorecendo a degradação aeróbia da matéria orgânica e significativa nitrificação (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Por se tratarem de sistemas naturais de tratamento, a performance dos FPM está vinculada às condições climáticas locais, bem como ao manejo operacional, destacando-se a manutenção do regime de alimentação nos filtros, a adaptação das macrófitas e a variação sazonal das características físico-químicas e biológicas do afluente.

As dificuldades na manutenção das condições operacionais ao longo do período inicial de utilização dos FPM são, na maioria das vezes, negligenciadas quando da avaliação da qualidade do tratamento, podendo refletir na interpretação dos dados.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento inicial de operação de *wetlands* construídos como alternativa tecnológica de tratamento de efluentes da bovinocultura de leite.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende as instalações para manejo de bovinocultura de leite do Colégio Agrícola de Frederico Westphalen – CAFW, área anexa ao Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul – CESNORS, campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, localizada na cidade de Frederico Westphalen (latitude 27°21'33" S; longitude 53°23'40" W; 522 metros de altitude).

Foram instalados dois filtros plantados com macrófitas em paralelo, sendo um de fluxo horizontal (FPMH) e outro de fluxo vertical (FPMV), para efetuar o tratamento do efluente da lagoa de decantação (LD) que recebe despejos de uma instalação de bovinocultura de leite. Na figura 1 é apresentado um esquema representativo do sistema de tratamento estudado, demonstrando as etapas de tratamento do efluente gerado nas instalações de bovinocultura.

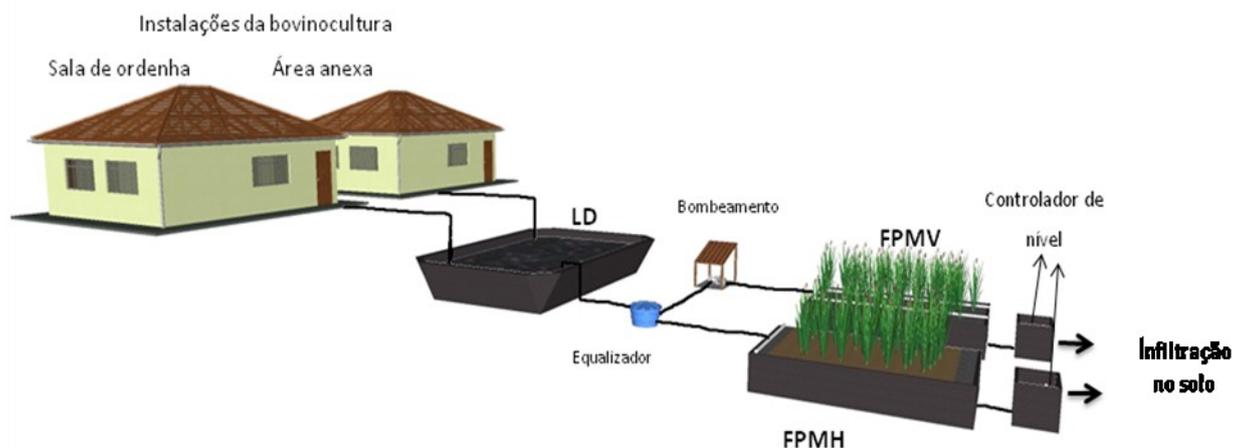


Figura 1 - Estrutura do sistema experimental - Filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal – FPMH

O FPMH foi implantado em cota inferior da lagoa de decantação. O mesmo foi dimensionado levando em consideração uma carga de 7 g DBO/m², seguindo recomendações da NRCS (1991) *apud* Healy, *et al.* (2007), o que resultou em uma área superficial de 26,50 m², sendo 6,70 m de comprimento, 3,95 m de largura e 1,15 m de profundidade.

O filtro foi construído no solo e impermeabilizado com duas camadas de lona plástica e uma camada de manta de poliéster, a qual fica em contato com o material filtrante. As tubulações de distribuição e coleta são compostas por tubos PVC de 50 mm de diâmetro, perfurados com furos de 8 mm de diâmetro, espaçados a cada 10cm. A figura 2 mostra as etapas de construção e implantação do filtro.

O FPMH começou a receber efluente em junho de 2011, após um período de realização de testes hidráulicos com água a fim de verificação de possíveis vazamentos e estabelecimento do regime de alimentação do mesmo. O regime de alimentação proposto foi de 1.000 L /dia de forma contínua.

Em agosto de 2011 foram plantadas 35 mudas da macrófita *Typha domingensis* Pers. conhecida popularmente como taboa. As plantas foram inseridas no filtro com uma razão de 1,5 mudas/m².

O monitoramento físico-químico iniciou-se 5 meses após o início de operação, em novembro de 2011.



Figura 2 - Detalhes da construção do FPMH. a) escavação; b) filtro escavado; c) detalhe da impermeabilização; d) assentamento do material filtrante; e) detalhamento das zonas de entrada e saída preenchidas com brita; f) filtro com as macrófitas recém plantadas.

- Filtro plantado com macrófitas de fluxo vertical – FPMV

O FPMV foi escavado no solo e impermeabilizado com duas camadas de lona plástica e uma camada de manta de poliéster, seguindo o mesmo procedimento executado para o FPMH.

O FPMV foi dimensionado levando em consideração 20 g DQO/m² conforme recomendações de Winter e Goetz, (2003). A área superficial adotada foi de 14,30 m², sendo 4,40 m de comprimento, 3,25 m de largura e 1,15 m de profundidade.

A tubulação de distribuição do efluente no FPMV é composta por tubos PVC de 25 mm de diâmetro, em duas

linhas de distribuição com furos de 6 mm de diâmetro espaçados a cada 10 cm. Nessa unidade o esgoto percola verticalmente até atingir a tubulação de coleta, situada no fundo do filtro e composta por tubos PVC de 40 mm de diâmetro, com furos de 8 mm de diâmetro espaçados a cada 10 cm.

A alimentação do FPMV também iniciou-se em agosto de 2011, obedecendo um regime proposto de 900 L/ dia. A alimentação deste módulo é realizada de forma intermitente com auxílio de um conjunto motor-bomba (Figura 3).

A macrófita empregada no FPMV foi *Typha domingensis* Pers, totalizando 20 mudas plantadas no filtro em uma razão de 1,5 plantas/m².



Figura 3 – Alimentação FPMV; a) detalhe da tubulação de alimentação; b) detalhe da alimentação do FPMV.

O monitoramento físico-químico do FPMV iniciou-se no mesmo período que o módulo horizontal, em novembro de 2011.

- Material filtrante

O material filtrante empregado em ambos os filtros foi o mesmo, brita 1 e areia grossa.

No FPMH utilizou-se uma camada de 4,67 m de comprimento por 0,85 m de profundidade de areia como material filtrante e uma porção de brita como elemento de distribuição e coleta nas zonas de entrada e saída, cada uma delas ocupando cerca de 0,80 m do comprimento por 0,85 m de profundidade do filtro.

No FPMV utilizou-se uma camada de 0,10 m de brita no fundo, na qual foi assentada a tubulação de drenagem/coleta. Acima dessa tubulação foi depositado mais uma camada de 0,05 m de brita para proteção, em seguida foi transferido para o filtro uma camada de 0,60 m de areia e

completado o enchimento do filtro com uma camada adicional de 0,05 m de brita para melhor distribuição do efluente.

A areia empregada como material filtrante nos FPM foi submetida ao ensaio granulométrico, realizado conforme NBR 7181 de dezembro de 1984 (ABNT, 1984), obtendo-se diâmetro efetivo (d_{10}) de 0,30 mm e coeficiente de uniformidade (U) de 2,50 (Figura 4).

- Macrófitas

A macrófita foi retirada do seu ambiente natural, próximo ao local de estudo, e podada 0,30 m acima do seu rizoma, sendo que parte da matéria orgânica extraída junto das raízes foi mantida para melhor aclimatização das plantas nos filtros. Na figura 5 observam-se as etapas sequenciais adotadas durante o plantio.

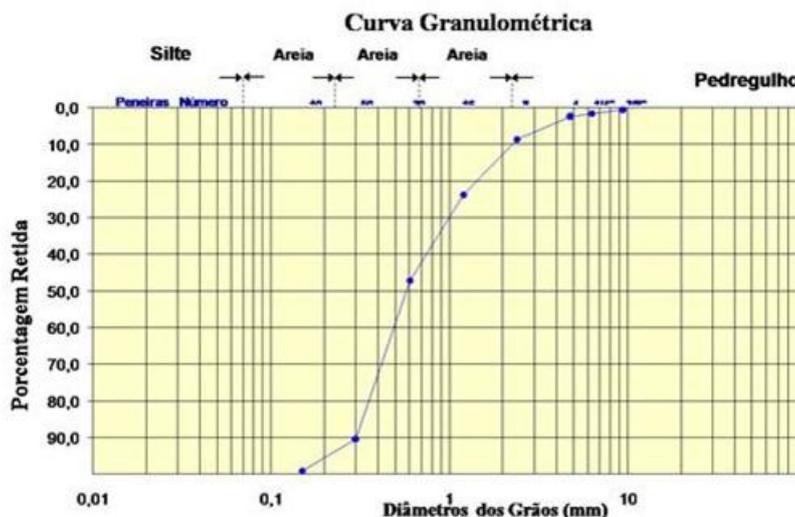


Figura 4 - Curva granulométrica obtida da areia utilizada.



Figura 5 – Etapas realizadas no plantio das macrófitas; a) macrófitas em seu ambiente natural; b) macrófitas coletadas para o plantio nos filtros plantados com macrófitas; c) detalhe do rizoma; d) corte da parte aérea; e) rizomas coletados prontos para o plantio; f) plantio das macrófitas nos filtros.

Após o crescimento das plantas, foi realizada a identificação e classificação da espécie com o auxílio do Herbário do Departamento de Ciências Florestais da UFSM. Os indivíduos foram observados e relacionados às características de inflorescência sendo empregada a chave de

identificação das espécies de *Typha spp.* Segundo a chave de identificação, os caracteres observados correspondem aos da *Typha domingensis* Pers.

- Monitoramento laboratorial

O monitoramento físico-químico foi realizado semanalmente, todas as

quartas feiras, com coletas pontuais sempre às 9h, e analisadas no Laboratório de Águas e Efluentes do CESNORS/UFMS. São 3 pontos de coletas avaliados: pós lagoa de decantação (ponto 1), pós FPMH (ponto 2) e pós FPMV (ponto 3), conforme destacado na figura 6.

Os parâmetros analisados foram: potencial hidrogeniônico (pH),

alcalinidade total, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), nitrogênio amoniacal ($N-NH_4$), nitrogênio nitrito ($N-NO_2^-$), nitrogênio nitrato ($N-NO_3^-$), ortofosfato reativo ($P-PO_4^{3-}$), sólidos suspensos totais (SS) e sólidos totais (ST). Na tabela 1 destacam-se os métodos empregados para cada parâmetro.

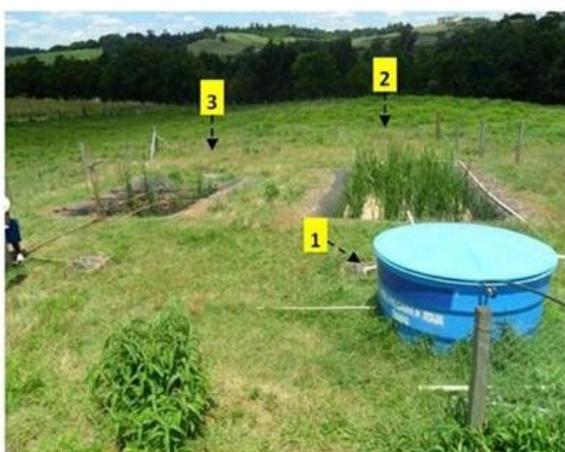


Figura 6 – Locais de monitoramento.

Tabela 1 – Metodologia utilizada para o monitoramento físico-químico

Parâmetros	Métodos
pH	Método eletrométrico - APHA, 2005
$DBO_{5,20}$	Método Manométrico - APHA, 2005
$N-NH_4$	Método de Vogel, 1981
$N-NO_2^-$	Método Alfaftilamina – APHA, 1998
$N-NO_3^-$	Método Brucina – APHA, 1998
$P-PO_4^{3-}$	Método Colorimétrico do Ácido Vanadomolibdofosfórico – APHA, 1998
SS	Método gravimétrico – APHA, 2005
ST	Método gravimétrico – APHA, 2005

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Regime e vazões de alimentação nos FPM

As vazões de alimentação do FPMH e FPMV estabelecidas inicialmente resultaram em constantes obstruções nos registros de controle da tubulação afluyente em ambos os filtros já nos primeiros dias de operação do sistema.

Partiu-se, então, para testes hidráulicos com intuito de manter a vazão de alimentação constante, obtendo-se uma vazão de 4.500 L/semana para cada filtro. Duas formas de alimentação desta vazão semanal estabelecida foram empregadas:

(i) alimentação 1 (período compreendido entre novembro e dezembro de 2011): o FPMH trabalhou com uma vazão de 2.250 L em 8 horas diárias, sendo alimentado 2 vezes por semana (terças e quintas-feiras). No FPMV ocorreu a alimentação intermitente, 1.500 L por dia em 4 ciclos de 375 litros, em pulsos de 10 minutos cada, sendo realizado 3 vezes por semana (segundas, quartas e sextas-feiras), por meio de um sistema de bombeamento e temporizador.

(ii) alimentação 2 (período compreendido entre janeiro e fevereiro de 2012): o FPMH trabalhou com uma vazão de 1.125 L em 4 horas diárias, sendo alimentado 4 vezes por semana (segundas, terças, quintas e sextas-feiras). Para o FPMV a alimentação ocorreu da mesma forma que no período anterior, porém com pulsos de 5 minutos cada.

A vazão de alimentação do FPMH oscilou em ambos os períodos, devido a inconstância da manutenção do nível de efluente no reservatório de equalização a montante, caracterizando assim um regime de escoamento não permanente. Já no FPMV as vazões oscilaram pouco, em função da alimentação ser realizada por bombeamento, as quais foram em média 38 L/minuto no primeiro período e 75 L/minuto no segundo período.

O nível de efluente no reservatório de equalização que alimenta os filtros não se mantém constante devido à dificuldade de captação do efluente da lagoa de decantação em alguns períodos, cujo volume de efluente é elevado em períodos de chuva e muito reduzido em períodos de estiagem.

Além disso, o volume de efluente gerado nas instalações de bovinocultura de leite depende da quantidade de vacas em

lactação e do manejo adotado na limpeza das instalações. Devido a isso, em alguns períodos desse estudo não houve efluente disponível para alimentação dos filtros.

- Desenvolvimento das macrófitas

As macrófitas foram plantadas nos FPM em 15/08/2011 durante o período de testes hidráulicos com água. A fim de disponibilizar os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas passou-se a acrescentar após 15 dias do plantio uma parcela de efluente na alimentação dos filtros (15 L de efluente em 2.500 L de água).

Necessitou-se realizar um novo plantio de macrófitas no FPMV em dezembro de 2011, sendo, portanto, inseridas no filtro 15 novas mudas. A dificuldade de aclimatização da macrófita *Typha domingensis* no ambiente, provavelmente

seja em função das características hidráulicas do filtro, o qual não permanece saturado com efluente/água. Neste caso, surge a necessidade de realizar estudos com plantas de metabolismo C4 que são mais resistentes, quanto comparadas a plantas com o metabolismo C3, caso da macrófita em questão.

Após 6 meses do primeiro plantio nos filtros, percebeu-se que as macrófitas não cobriram totalmente a área do FPMV ao contrário do observado no FPMH (Figura 7), fato este vinculado à velocidade de percolação do efluente no FPMV e, conseqüentemente, à baixa manutenção da umidade no maciço filtrante, diferentemente do ocorrido no FPMH que mantém-se saturado.



Figura 7 - Diferença no desenvolvimento das macrófitas em cada filtro. a) Vista geral do FPMV após 6 meses do plantio; b) Vista geral do FPMH após 6 meses do plantio.

Notou-se a necessidade de realizar a poda das macrófitas do FPMH, pois as mesmas já apresentavam indícios de senescência, o que prejudicaria o desempenho do filtro.

Na poda, os rizomas foram cortados em um ângulo de 45°, a 0,30 m acima do substrato (Figura 8).



Figura 8 - Poda realizada nas macrófitas. a) início da poda; b) término da poda no FPMH.

A biomassa vegetal retirada do FPMH através da poda foi encaminhada para compostagem.

- Qualidade do efluente tratado

A qualidade alcançada no efluente dos FPMH e FPMV descrita na Tabela 2 refere-se ao período inicial de utilização

dos mesmos, destacando-se as dificuldades de manutenção da vazão afluyente, a adaptação das macrófitas e, sobretudo, ao período de estiagem na região noroeste do Rio Grande do Sul, ocorrido entre os meses de novembro de 2011 a fevereiro de 2012.

Tabela 2. Valores médios de concentração e seus respectivos desvios padrão (DP) dos parâmetros monitorados no sistema de tratamento.

Parâmetros (n=11)	Efluente da LD	Efluente do FPMH	Efluente do FPMV
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
Temperatura (°C)	23,18	23,64	24,27
pH	6,89	6,99	6,97
Alcalinidade(mgCaCO ₃ ⁻)	1.007,67 ± 132,04	815,99 ± 214,60	452,39 ±
OD (mg/L)	6,66 ± 1,62	6,79 ± 1,23	6,58 ± 1,53
DBO _{5,20} (mg/L)	109,14 ± 32,55	33,33 ± 9,25	42,23 ± 14,45
SS (mg/L)	858,81 ± 1.149,56	66,41 ± 44,19	81,25 ± 36,62
ST (mg/L)	2.062,55 ± 1.156,04	1.243,45 ± 399,87	1.325,55 ±

N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	69,11 ± 23,58	49,20 ± 15,05	22,34 ± 10,07
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,06	0,08 ± 0,05	0,26 ± 0,43
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	8,91 ± 6,31	7,73 ± 4,52	49,17 ± 16,31
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	29,32 ± 6,21	6,36 ± 4,77	24,41 ± 8,25

Destaca-se que as unidades FPM operam com cargas médias de 490 g DBO/semana, 3.865 g SS/semana e de 310 g N-NH₄/semana para cada filtro.

As eficiências médias de remoção de DBO foram de 69% para o FPMH e de 60% para FPMV, considerando-se uma carga média de aplicação de 4,60 g DBO/m².d e 8,60 g DBO/m².d para o FPMH e FPMV, respectivamente. Newman, *et al.* (2000), avaliaram a performance de remoção de DBO de um FPMH utilizado no tratamento de efluente de laticínios, empregando uma carga de 7,30 g DBO/m².d, e obtiveram média de 85% de eficiência de remoção deste parâmetro.

Ressalta-se que a carga média de aplicação superficial empregada nos FPM é inferior ao valor pré-definido de projeto segundo a recomendação da NRCS (1991) *apud* Healy, *et al.* (2007), que foi de 49 g DBO/m².semana (ou seja, 9,80 g DBO/m².d). Isso ocorreu, devido a boa performance realizada pela lagoa de decantação na estabilização da matéria orgânica.

Em relação ao parâmetro sólidos suspensos, percebe-se uma elevada carga

superficial afluente aplicada aos FPM, atingindo valores médios de 146 g SS/m².semana para o FPMH e de 270 g SS/m².semana para o FPMV. Mesmo assim, durante o período estudado, boas eficiências de remoção de SS foram constatadas, sendo em média de 92% para o FPMH e de 72% para o FPMV.

Vymazal e Kröpfelová (2008), afirmam que em filtros de fluxo subsuperficial horizontal as eficiências de remoção de SS são geralmente muito elevadas, e ocorrem principalmente por processos de filtração e sedimentação junto ao material filtrante. Sezerino (2006), depois de 16 meses de operação de um FPMH, trabalhando com uma carga de 43 g SS/m².semana, constatou indícios de colmatação na porção inicial do filtro, gerando escoamento superficial, apesar disso, o autor obteve eficiências de remoção superiores a 80% do referido parâmetro.

Percebe-se que o FPMV opera com uma carga de SS superior ao FPMH. Winter e Goetz (2003), recomendam que a carga de SS em FPMV não ultrapasse 35 g SS/m².semana. Porém, Pelissari, *et al.* (2011) obtiveram remoção de 59% de SS aplicando uma carga superficial média de 64,40 g SS/m².semana e ao longo de 12

meses de operação não observaram indícios de colmatação. Contudo, cabe salientar que no presente trabalho ocorreram picos de elevada concentração de sólidos em suspensão no efluente da lagoa de decantação, conforme pôde-se perceber pelo elevado desvio padrão descrito na tabela 2.

Em relação ao nitrogênio amoniacal, aplicando cargas superficiais de 12 g N-NH₄/m².semana para o FPMH e de 22 g N-NH₄/m².semana para o FPMV, as eficiências de remoção foram de 67% para o FPMV e de apenas 29% para o FPMH. Essa diferença se dá pelo tipo de fluxo empregado em cada filtro. A alimentação intermitente do FPMV promove grande arraste de oxigênio, favorecendo a oxidação do nitrogênio amoniacal, comprovada pela elevada concentração de nitrogênio na forma de nitrato no efluente desse filtro, alcançando valor médio de 49,17 mg N-NO₃⁻/L, enquanto que no FPMH o ambiente permanece constantemente saturado de efluente, dificultando a difusão e convecção de oxigênio suficientes para a promoção da nitrificação.

A remoção de fósforo é evidente no FPMH, com eficiência média de 78%. Já para o FPMV, a eficiência de remoção é de apenas 15%. Souza, *et al.* (2004) no primeiro ano de monitoramento de um

FPMH, também constataram eficiência satisfatória na remoção de fósforo, a qual foi de 80%. Porém, Brix e Arias (2005) comentam que a remoção de fósforo em sistemas tipo *wetlands* é satisfatória até a saturação do material filtrante, após essa etapa os autores sugerem que a remoção de fósforo seja realizada utilizando processos químicos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicabilidade de sistemas tipo *wetlands* construídos no tratamento de efluentes, inclusive aqueles oriundos da bovinocultura de leite, já está consolidada na literatura, contudo, para a realidade brasileira ainda há que se buscar parâmetros de projeto e operacionais mais adequados.

Ressalta-se a necessidade de se apresentar e discutir os aspectos de dimensionamento e, principalmente, a implantação e o comportamento inicial dos elementos atuantes no processo de tratamento junto aos FPM, destacando-se a impermeabilização, o material filtrante, a distribuição do afluente nos filtros, a adaptação das macrófitas, a manutenção das condições de saturação do filtro, as cargas superficiais aplicadas e as condições climáticas locais.

Assim, infere-se sobre o comportamento inicial dos *wetlands*

construídos, dos tipos FPMH e FPMV, empregados no tratamento complementar de lagoa de decantação de efluentes oriundos da bovinocultura de leite, após 9 meses de operação:

- O material filtrante utilizado com diâmetro efetivo (d_{10}) de 0,30 mm e coeficiente de uniformidade (U) de 2,50, enquadra-se dentro dos padrões apresentados na literatura para *wetlands* construídos que utilizam areia como material filtrante;

- O FPMH foi operado em média com: taxa hidráulica de 42,45 mm/d; 4,60 g DBO/m².d ficando abaixo do valor de projeto que era de 9,80 g DBO/m².d; 36,40 g SS/m².d e 3 g N-NH₄⁺/m².d;

- O FPMH apresentou remoções médias de 60% para DBO, 92% para SS, 39% para ST, 29% para N-NH₄⁺, 78% para P-PO₄³⁻ e pH próximo a neutralidade;

- O FPMV foi operado em média com: taxa hidráulica de 105 mm/d; 8,60 g DBO/m².d; 90 g SS/m².d e 7,30 g N-NH₄⁺/m².d;

- O FPMV apresentou remoções médias de 60% para DBO, 72% para SS, 36% para ST, 67% para N-NH₄⁺ sendo que desta amônia removida praticamente toda fração foi oxidada para N-NO₃⁻, manutenção da alcalinidade mesmo com a elevada concentração de 49,17 mg N-NO₃⁻/L, 78% para P-PO₄³⁻ e pH próximo a neutralidade;

- A macrófita *Typha domingensis* Pers. teve bom desenvolvimento no FPMH, o que não ocorreu no FPMV, devido à baixa saturação de efluente do maciço filtrante, sendo necessário o seu replantio;

- O custo total de implantação do sistema foi de R\$ 9.200,00 como rubrica de custeio e R\$ 1.200,00 como rubrica de capital, o que representa R\$ 254,9 /m² de filtro construído.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento da pesquisa (edital MCT/CNPq N 014/2010).

5 REFERÊNCIAS

- APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th. ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 1998. 1195p.
- APHA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th.ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2005. 1368p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo: análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13 p.
- BRIX, H., ARIAS, C. A. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. **Ecological Engineering**, v. 25, 491-500p. 2005.

- DOMINGOS, S. S. Vertical flow constructed wetlands for the treatment of inorganic industrial wastewater. 2011. Thesis (PhD in Environmental Engineering) – Murdoch University. Australia. 2011.
- HEALY, M. G.; RODGERS, M.; MULQUEEN, J. (2007). Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. **Bioresource Technology**, vol. 98, p. 2268–2281, 2007.
- HOFFMANN, H.; PLATZER, C. **Technology review of constructed wetlands subsurface flow. Constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment in developing countries.** Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ) saneamento Sustentável - Programa da Ecosan. 36 p. 2011
- NEWMAN, J.M.; CLAUSEN, J.C.; NEAFSEY, J.A. Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in Connecticut. **Ecological Engineering**. v. 14, pp 181-198, 2000.
- PELISSARI, C.; FURTADO, F.C.D.; SEZERINO, P.H.; BENTO, A.P.; PHILIPPI, L.S. Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical (Wetlands Construídos) empregados no tratamento complementar de efluente de tanque séptico: Início de operação. **26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental**. Porto Alegre. 8p. 2011
- PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.** Ed. do Autor. Florianópolis/SC. 2004. 144p.
- SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** 2006. 171f Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
- SEZERINO, P.H., REGINATTO, V., SANTOS, M.A., KAYSER, K., KUNST, S., PHILIPPI, L.S., SOARES, H.M. Nutrient removal from piggery effluent using vertical flow constructed wetlands in southern Brazil. **Wat.Sci.Tech.**, v.48, n.2, pp. 129-135. 2003.
- SOUSA, J.T.de; HAANDEL, A, van; LIMA, E.P.da C.; HENRIQUE, L. N. Utilização de Wetland construído no pós-tratamento de esgoto domésticos pré tratados em reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.9,n.4, p. 285-290. 2004.
- TANNER, C. C; SUKIAS, J. P. S; UPSDELLM. P. Organic matter accumulation during maturation of gravel-bed constructed wetlands treating farm dairy wastewaters. **Water Resources**, vol. 32, n.10, p. 3046 -3054, 1998.
- VYMAZAL, J.; KRÖPFELOVÁ, L. **Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow;** Springer: Dordrecht, The Netherlands. 2008. 579p.
- WINTER, K. J.; GOETZ, D. The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands. **Wat. Sci. Tech.** v. 48, n 5, pp 9-14. 2003.
- ZOCAL, R. (2012) Ranking da produção de leite por estado, 2010/2011. Embrapa **Gado de Leite**. Disponível em: <http://www.cnpgl.embrapa.br/nova/informacoes/Estatisticasproducao/tabela_0240.php>. Acesso em 20 fev./2012.