

II-582 – FILTRO PLANTADO COM MACRÓFITAS DE FLUXO HORIZONTAL (WETLANDS CONSTRUÍDOS) EMPREGADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES ORIUNDOS DA BOVINOCULTURA LEITEIRA

Catiane Pelissari ⁽¹⁾

Biotechnóloga Industrial. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Bolsista CAPES.

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.

Alessandra Pellizzaro Bento

Bióloga. Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Orlando de Carvalho Junior

Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Delmira Beatriz Wolff

Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professora Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Endereço ⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental – Grupo de Estudos em Saneamento descentralizado – Campus Universitário - Trindade – Florianópolis/SC, CEP 88040-900 – E-mail: catianebti@gmail.com

RESUMO

Efluentes oriundos das instalações de bovinocultura de leite podem causar impactos ambientais significativos quando mal gerenciados. Diante disso, este trabalho apresenta o comportamento de um filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal (FPMH), no tratamento de efluentes de uma instalação de bovinocultura de leite no sul do Brasil. O FPMH (área superficial 26,5m²) foi construído utilizando areia ($d_{10}=0,30$ mm e $d_{60}=0,75$ mm) como material filtrante e a macrófita empregada foi a *Typha domingensis* Pers. O filtro operou com um regime hidráulico de 3,98 m³/semana. A evapotranspiração média quantificada durante o período de maio a setembro de 2012 foi de 22 mm/dia. Por meio do monitoramento físico-químico e biológico ao longo de 12 meses, verificou-se eficiências médias de remoção de carga de 87% de DQO, 81% de DBO, 90% de SS, 80% de NTK, 80% N-NH₄ e 68% de P-PO₄³⁻.

PALAVRAS-CHAVE: Bovinocultura Leiteira, Efluentes, *Wetlands* construídos, Evapotranspiração.

INTRODUÇÃO

A produção de leite é uma das atividades econômicas em constante desenvolvimento no Brasil, contudo, uma instalação de bovinocultura leiteira pode produzir diariamente de 25 a 40L de efluentes por vaca ordenhada (MANTOVI *et al.* 2003). Esta quantidade está associada principalmente a água de lavagem, urina, esterco, detergentes provenientes da limpeza da sala de ordenha, resíduos de leite, restos de células mortas e pêlos dos animais (HEALY, *et al.* 2007).

De forma geral, a maioria das instalações de bovinocultura leiteira conduzem esses efluentes até lagoas de armazenamento para posterior disposição sobre o solo. Entretanto, o potencial poluidor desses efluentes é superior ao potencial poluidor dos efluentes domésticos. Segundo Dericio (1992) *apud* Campos (1997) a carga orgânica produzida por uma vaca é equivalente a carga orgânica produzida por 16 pessoas.

Frente a esse cenário, destaca-se a necessidade de estudos de alternativas tecnológicas com vista a manutenção da qualidade ambiental. Além do mais, cabe ressaltar a importância de tecnologias que se adaptem as localidades produtoras de leite. Dentre elas destacam-se os filtros plantados com macrófitas (*wetlands*

construídos), que são sistemas que vêm demonstrando boa adaptação nos mais variados cenários, além de integrar-se harmoniosamente ao ambiente sendo atrativo na manutenção dos aspectos paisagísticos do meio rural.

A utilização dos filtros plantados com macrófitas voltada para o tratamento de efluentes produzidos em salas de ordenha de bovinocultura de leite vem sendo intensificadas desde 1998, porém, no Brasil poucos são os estudos relacionados com este tipo de efluente. Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar o comportamento de um filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal – FPMH, considerando a influência da evapotranspiração no tratamento de efluentes de uma instalação de bovinocultura de leite no sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

A estação de tratamento estudada foi implantada junto às instalações de bovinocultura de leite do colégio agrícola de Frederico Westphalen (latitude 27°21'33" S; longitude 53°23'40" W; 522 metros de altitude), área anexa a Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

O efluente produzido nas instalações de bovinocultura foi conduzido até a lagoa de armazenamento (LA) que atuou como um sistema de tratamento primário. Cabe ressaltar que esta unidade já existia no local de estudo e eventualmente eram realizadas descargas do efluente no solo, quando a LA atingia seu nível máximo de armazenamento. Alíquotas semanais do efluente da LA foram conduzidas por gravidade até um reservatório equalizador e posteriormente ocorria a alimentação do FPMH. Após a percolação do efluente pelo filtro, o mesmo era infiltrado no solo por meio de valas de infiltração construídas no local. Na figura 1 apresenta-se um desenho esquemático do sistema de tratamento estudado.

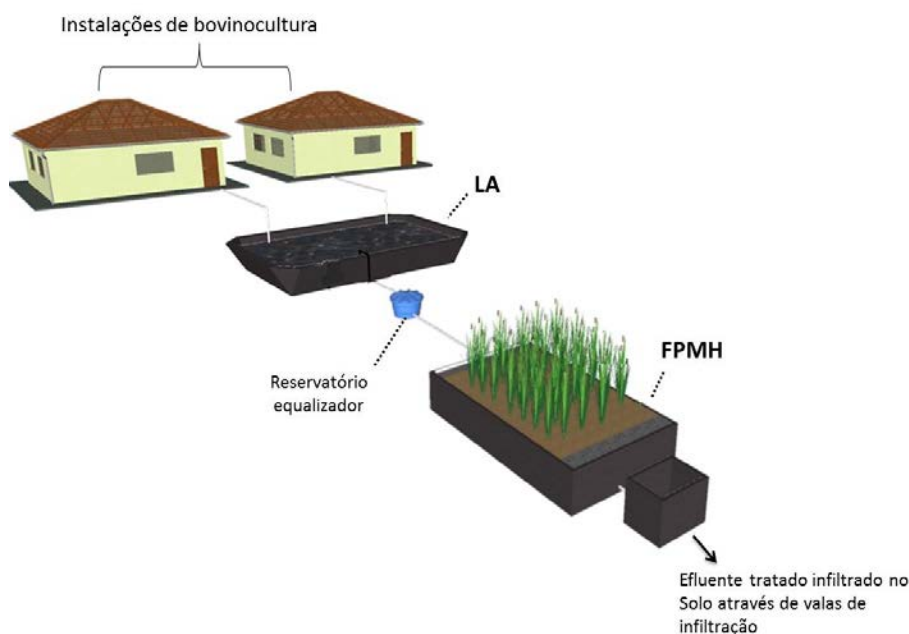


Figura 1: Esquema demonstrando a estação de tratamento estudada.

CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DO FPMH

O FPMH foi dimensionado considerando uma carga afluente de 7g.DBO/m².dia, seguindo recomendações da NRCS (1991) *apud* Healy, *et al.* (2007). As dimensões adotadas foram 6,7 m comprimento, 3,95 m de largura e 0,80 m de profundidade útil, totalizando uma área superficial de 26,5 m².

O FPMH foi implantado em março de 2011, construído em conta inferior a LA. O filtro foi escavado no solo impermeabilizado com duas camadas de lona plástica e uma camada de manta de poliéster. Areia grossa foi utilizada como material filtrante ($d_{10}= 0,30$; $d_{60}= 0,75$; Uniformidade = 2,5) e a macrófita empregada foi a *Typha domingensis* Pers. Na figura 2 são apresentadas as principais etapas de construção do FPMH.

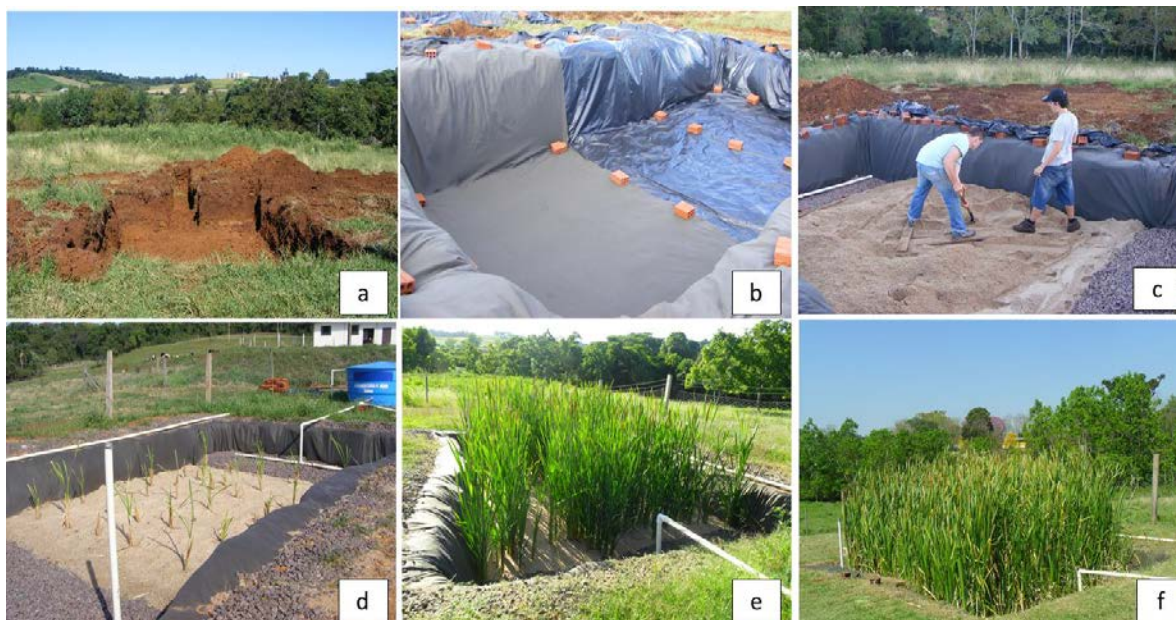


Figura 2: Etapas da implantação do FPMH. a) escavação no solo; b) impermeabilização; c) assentamento do material filtrante; d) FPMH pós-plantio; e) FPMH em janeiro de 2012; f) FPMH em agosto de 2012.

O início da alimentação do FPMH ocorreu em junho de 2011. O efluente do reservatório equalizador foi conduzido por gravidade para a alimentação do FPMH. O filtro operou com uma vazão diária de 995L distribuídos em 4 horas por dia, sendo que o filtro foi alimentado 4 vezes na semana (segundas, terças, quintas e sextas - feiras), trabalhando portanto com uma vazão semanal de 3.980L/semana.

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO EFLUENTE

Durante o período de novembro 2011 a outubro de 2012 foram realizadas análises do afluente e efluente do FPMH com periodicidades semanais.

Os parâmetros analisados foram: pH, Alcalinidade, Demanda Química de Oxigênio (DQO); Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Sólidos Suspensos (SS); Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK), Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4$), Nitrogênio Nitrito ($N-NO_2^-$), Nitrogênio Nitrato ($N-NO_3^-$) e Fósforo Ortofosfato ($P-PO_4^{3-}$). Todos os parâmetros seguiram recomendações do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA 2005 e 1998), com exceção do nitrogênio amoniacal que seguiu recomendações do Vogel (1983).

QUANTIFICAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO FPMH

A evapotranspiração (EVT) foi estimada baseada na diferença de vazão entre o afluente e o efluente do FPMH. Os ensaios de EVT foram realizados uma vez por semana, através de aferições de vazão do afluente e efluente do FPMH ao longo do período compreendido entre 01/05/2012 a 30/09/2012.

Nos dias dos ensaios da EVT foi aferido a vazão do afluente e efluente do FPMH em uma frequência de 15 em 15 minutos, totalizando 4 medições por hora, durante todo o período de alimentação e drenagem do efluente do FPMH, desta forma obteve-se a vazão total de entrada e saída de efluente do dia.

Durante todo o período de estudo o controlador de nível do FPMH foi mantido elevado em uma altura de 58 cm, de forma que não originasse escoamento superficial e que possibilitasse ao mesmo tempo, o bom desenvolvimento das macrófitas. Na figura 3 são mostrados os locais de aferição de vazão e a altura mantida do controlador de nível juntamente a medição de vazão do efluente.

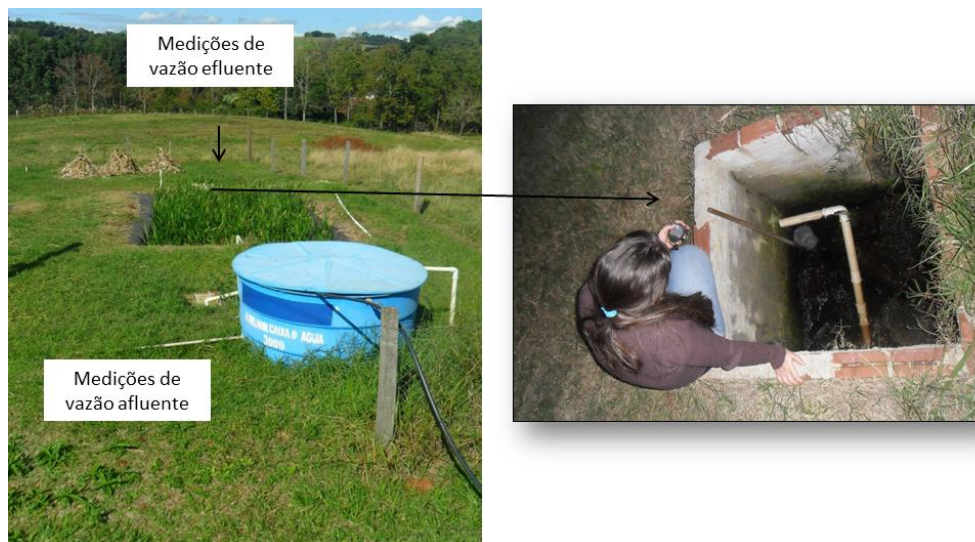


Figura 3: Locais de aferição de vazão e altura mantida do controlador de nível.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A EVT média quantificada durante o período de maio a setembro de 2012 no FPMH foi de 22 mm/dia, representando uma perda de 49% da vazão de entrada. Durante o período avaliado a EVT variou de 19,3 até 29,4 mm/dia. Headly *et al.* (2012) afirmam que a EVT está diretamente relacionada com temperatura, radiação, umidade do ar e o estágio do crescimento das macrófitas.

Esses fatores também foram relevantes nesse estudo, pois conforme apresentado na tabela 1 todas as correlações entre esses parâmetros e a EVT foram de significâncias medianas e fortes podendo induzir então, que quanto maior for a temperatura e a radiação e menor for a umidade do ar e a velocidade de crescimento das macrófitas, maior é a EVT. Salienta-se que nesse estudo as menores velocidades de crescimento das macrófitas coincidiram com a maior área foliar das mesmas.

Tabela 1: Correlações de Pearson entre as variáveis climáticas

Parâmetros	Correlação de Pearson
Temperatura	0,643805
Umidade do ar	-0,707954
Radiação	0,867603
Crescimento das macrófitas	-0,779126

Pode-se observar que a EVT aumentou significativamente nos meses de agosto e setembro (figura 4). Além do fato de ter diminuído a umidade do ar e a temperatura ter aumentado nesses meses (figura 5), o aumento da EVT pode estar relacionado com a máxima área foliar das macrófitas. Esse fato foi reportado por diversos autores: Brasil e Matos (2008) relataram maior EVT da macrófita *Typha* quando as plantas estavam com aproximadamente 2 metros de altura, na fase reprodutiva; Headly *et al.* (2012) observaram maiores taxas de EVT no auge da produtividade da biomassa das macrófitas, e menores taxas quando as macrófitas estavam no início de seu desenvolvimento; Moro *et al.* (2004) também observaram que a transpiração das macrófitas foi mais elevada quando as plantas atingiram a máxima área foliar.

Logo, observa-se que a EVT teve um papel significativo no FPMH, influenciando diretamente no volume de efluente do sistema. Durante 5 meses de avaliação da EVT obteve-se uma perda de 44.000L dos 90.000L aplicados no FPMH.

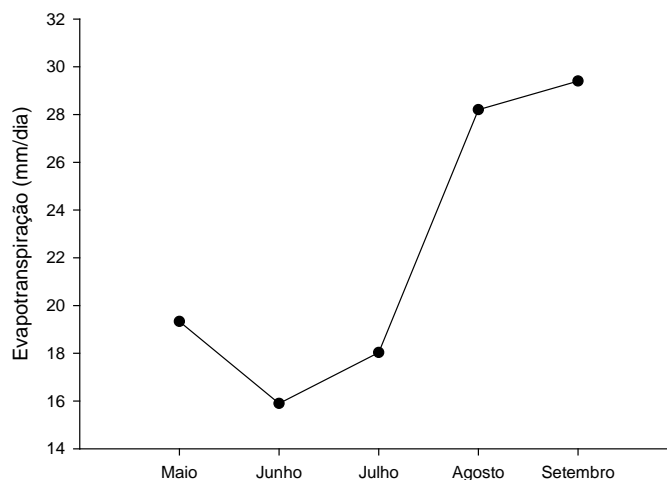


Figura 4: EVT média quantificada no FPMH durante o período de maio a setembro de 2012.

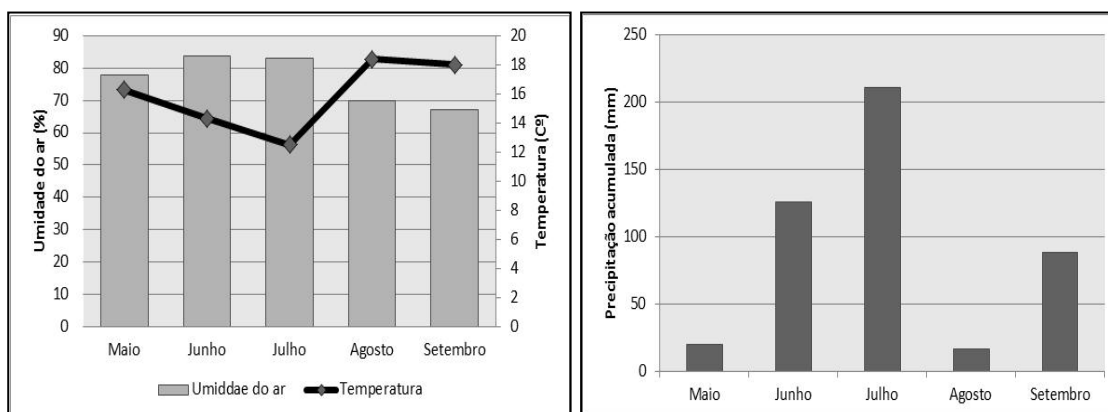


Figura 5: Valores médios mensais de temperatura, umidade do ar e precipitação mensal acumulada durante o período de estudo da EVT.

QUALIDADE DO EFLUENTE TRATADO

Na tabela 2 apresentam-se os resultados obtidos quanto ao monitoramento físico-químico e biológico do afluente e efluente do FPMH.

Tabela 2: Valores de concentração média e desvio padrão do afluente e efluente do FPMH obtidos durante o período de novembro/2011 a outubro/2012.

Parâmetros (n= 35)	Afluente FPMH		Efluente FPMH		Eficiência de remoção média (%)
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
Temperatura (°C)	18,2	-	19,7	-	-
pH	7,2	-	6,4	-	-
Alcal. (mg CaCO ₃ /L)	668,3	300,0	455,0	300,4	-
DQO (mg/L)	1.008,2	297,6	262,2	83,3	74
DBO (mg/L)	138,2	67,8	52,9	28,5	62
SS (mg/L)	254,1	100,6	48,9	33,1	81
NTK (mg/L)*	68,8	68,8	27,6	14,7	60
N-NH ₄ ⁺ (mg/L) *	55,0	27,2	22,8	21,3	58
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	-
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	5,2	3,9	3,0	1,6	-
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	23,6	6,9	15,1	7,8	35

* considerado 23 análises validadas

Trabalhando-se com um carregamento médio de DQO de 151,42 g/m².semana, obteve-se uma eficiência de remoção média de DQO de 74 %. Mantovi *et al.* (2003) trabalharam com dois FPMH em serie aplicado ao tratamento de bovinocultura leiteira na Itália. Os autores aplicaram carga superior de 663 g DQO/m².semana e obtiveram eficiências médias superior a 90% .

A carga aplicada de DBO (20,75 g DBO/m².semana) foi inferior ao parâmetro de projeto (28 g DBO/m².semana) e obteve-se uma remoção média de 62%. Newman *et al.* (2000) aplicando um FPMH para o tratamento de efluente de laticínios, empregando uma carga afluente de 51 g DBO/m².semana obtiveram eficiências médias de 85 %.

Infer-se que a reduzida performance do FPMH em relação a remoção de matéria orgânica carbonácea, quando comparada com os demais trabalhos, esteja associada com uma matéria orgânica carbonácea de lenta e difícil degradação, pois a relação DQO/DBO afluente do FPMH foi de 7,3, a qual pode ser considerada segundo Von Sperling (2005) como elevada, indicando que a fração não biodegradável é alta. Um fato que pode ser associado à baixa concentração de DBO em relação à concentração DQO afluente é o tipo de manejo e quantidade de produtos de limpeza utilizados nas instalações de bovinocultura leiteira, o qual é destinado ao tratamento basicamente água de lavagem, detergentes , restos de leite, urina, e sedimentos dos animais.

Considerando a área transversal ao fluxo afluente no FPMH de 3,16 m², a carga aplicada de SS foi de 320 g/m².semana e obteve-se uma remoção em termos de concentração média de 81%. Pode-se observar na figura 6 um comportamento linear entre as cargas aplicadas e removidas de SS. Segundo Vymazal e Kröpfelová (2008), os FPMH geralmente apresentam eficiências elevadas, isso ocorre principalmente devido aos mecanismos de filtração, que são responsáveis por 75% do processo, e por biodegradação, responsável por 15% junto ao material filtrante.

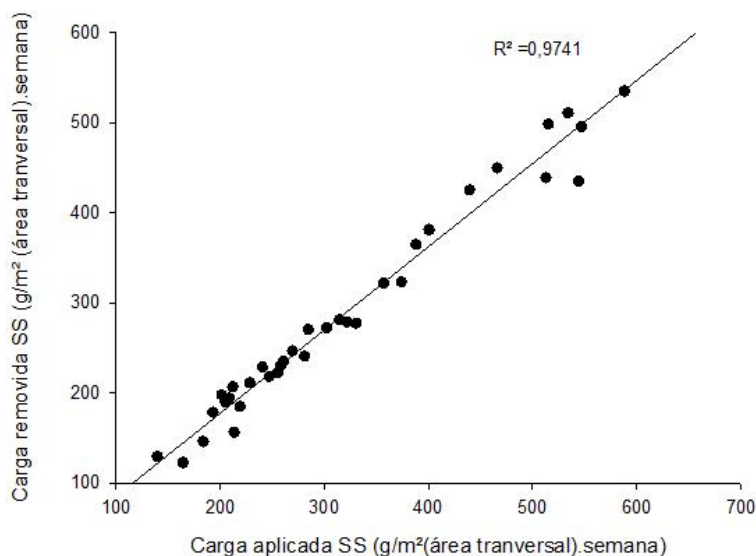


Figura 6: Correlação entre carga aplicada e carga removida de SS.

Após 16 meses de operação trabalhando com um carregamento médio de 320 g/m² de seção transversal. semana e uma taxa hidráulica de 37,5 mm/dia, não observou-se escoamento superficial. Sezerino (2006) submeteu um FPMH a uma taxa hidráulica de 83 mm/d e uma carga transversal média de 16,25 g SS/m².dia durante 9 meses e não observou ocorrência de colmatção, alcançando ótimos resultados em termos de SS. Já em um segundo FPMH, recebendo cargas transversais médias de 52 g SS/m².dia, sob mesma taxa hidráulica, o autor observou a ocorrência de escoamento superficial após 16 meses de operação do filtro. Segundo o autor, entre os fatores que podem estar relacionados com a colmatção estão o carregamento e as características do material filtrante.

A remoção em termos de concentração média de nitrogênio amoniacal foi de 58% aplicando-se cargas médias de 8,2 g N-NH₄/m².semana. Ressalta-se que não foi constatado nitrificação nesse módulo (figura 7) devido a baixa concentração de oxigênio inerente à concepção deste modelo de filtro plantado, no entanto, pode-se reportar boas remoções de nitrogênio amoniacal. Dado que não observou-se a formação de nitrato nesse módulo, que a volatilização da amônia não pode ser considerada como uma via de remoção no FPMH visto que o pH se manteve próximo da neutralidade, a remoção da amônia nesse filtro pode estar associada a assimilação pelas macrófitas e a adsorção pelo material filtrante.

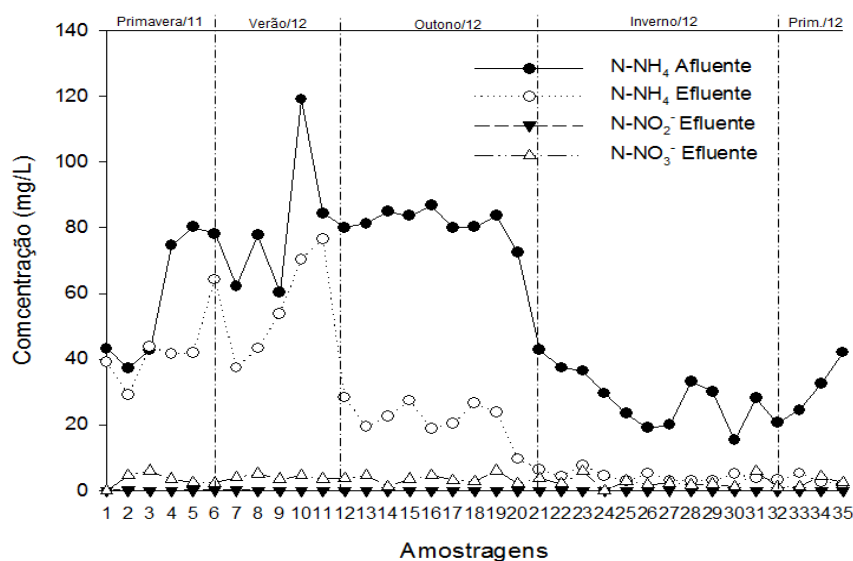


Figura 7: Concentrações de N-NH₄ do afluente e efluente do FPMH e concentrações de N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ no efluente do FPMH.

Foi visível a remoção de $P-PO_4^{3-}$ nos primeiros meses de operação (figura 8). Durante esse período a eficiência de remoção média foi de 76% aplicando-se uma carga de $4,4g/m^2.semana$. Após 9 meses de operação a eficiência média caiu para 4% aplicando-se uma carga de $3,04g/m^2.semana$. A eficiência média considerando todo o período de monitoramento foi de 35%. Arias *et al.* (2001) relatam que o principal meio de remoção de $P-PO_4^{3-}$ no início de operação são as reações de adsorção e precipitação que ocorrem na composição do material filtrante.

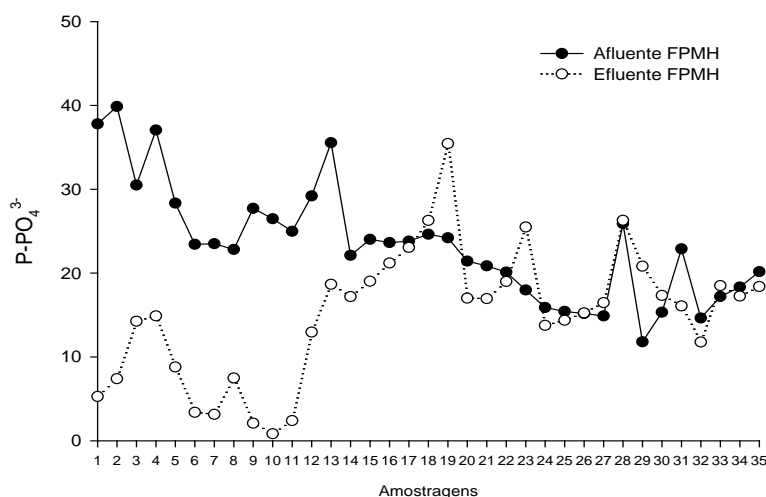


Figura 8: Concentrações de $P-PO_4^{3-}$ afluente e efluente do FPMH ao longo do período de estudo.

Wood *et al.* (2007) também relataram uma variação na remoção de fósforo variando de 13 a 86% em um FPMH durante 2 anos de monitoramento, Sousa *et al.* (2004) também encontraram grandes variações temporais, com queda de desempenho ao longo do período de operação do sistema: remoção de fósforo: 80 a 90% (primeiro ano), 15 a 30% (segundo ano), 15% (terceiro ano).

Devido a diferença de vazões de entrada e saída do FPMH, em função da interferência da evapotranspiração a eficiência em termos de carga é mais representativa e relativamente mais elevada. A tabela 3 apresenta as eficiências do FPMH em termos de carga aplicada e carga removida.

Tabela 3: Valores de concentração média e desvio padrão do afluente e efluente do FPMH obtidas durante o período de novembro/2011 a outubro/2012.

Parâmetros	FPMH – Área superficial: 26,5 m ²		
	Carga Superficial Aplicada (g/m ² .semana)	Carga Efluente (g/m ² .semana)	Eficiência %
DQO	151,42	19,30	87
DBO	20,76	3,90	81
SS	38,17	3,60	90
NTK	10,35	2,03	80
N-NH ₄	8,27	1,68	80
P-PO ₄ ³⁻	3,51	1,11	68

CONCLUSÕES

A partir de 19 meses de implantação e operação do FPMH, pós-lagoa de armazenamento aplicado no tratamento de efluente líquido de instalações da bovinocultura de leite, pode-se inferir:

- A evapotranspiração influenciou diretamente na vazão de saída do FPMH, verificando-se uma perda de 37% até 65% da vazão de entrada. Essa variação está relacionada com as condições climáticas, área foliar das macrófitas e as características de alimentação do filtro;
- O FPMH removeu 87%, 81%, 90%, 80%, 68% das cargas aplicadas considerando a área superficial, em termos de DQO, DBO, SS, N-NH₄ e P-PO₄³⁻, respectivamente;

-Mesmo operando com cargas transversais de 320 g SS/m².semana, após 16 meses de operação, não se observou escoamento superficial;

-Não identificaram-se problemas operacionais e nem liberação de odores desagradáveis ao longo de período de estudo;

- O FPMH apresentou potencialidade de agregação de valor com a utilização do efluente tratado, haja visto que este apresenta concentrações de nitrogênio e fósforo possíveis de serem aplicados na agricultura;

- O FPMH demonstrou ser uma tecnologia viável para ser empregada no tratamento de efluentes oriundos das atividades de bovinocultura leiteira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th.ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2005. 1368p.
2. APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th. Washington: APHA-AWWA-WEF, 1998. 1195p.
3. ARIAS, C. A.; DEL BUBBA, M.; BRIX, H. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds. Water Research, v. 35, n. 5, p. 1159-1168, Abril, 2001.
4. BRASIL, M. da S.; MATOS, A. T. de. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial. Engenharia Sanitária e Ambiental .v. 13, n. 3, p. 323-328.2008.
5. CAMPOS, A. T. Análise da variabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistemas intensivos de produção de leite.1997.141 f. Tese (Mestrado Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências. Agrônomicas do Campus de Botucatu. Botucatu – SP, 1997.
6. HEADLEY, R.T.; DAVISON, L.; HUETT, O.D.; MULLER, R. Evapotranspiration from subsurface horizontal flow wetlands planted with *Phragmites australis* in sub-tropical Australia. Water Research, v. 46, p 345-354,2012.
7. 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.
8. 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.
9. MORO, M.J., DOMINGO, F., LOPEZ, G.Seasonal transpiration pattern of *Phragmites australis* in a wetland of semi-arid Spain.Hydrological Processes.V. 18, p.213-227,2004.
10. NBR 7181: Solo: análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT,13 p. 1984.
11. NEWMAN, J.M.; CLAUSEN, J.C.; NEAFSEY, J.A. Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in Connecticut.Ecological Engineering, vol. 14, p. 181-198, 2000.
12. 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.
13. SOUSA, J. T. de; HAANDEL, A. van; LIMA, E.P. da C.; HENRIQUE, I.N. Utilização de *Wetland* construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 4, p. 285-290,2004.
14. VOGEL, A.I. Química analítica qualitativa. 5.ed, editora Mestre Jou, São Paulo, 1981, p.665.
15. VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade Das Águas e ao Tratamento de Esgotos v. 1. Belo Horizonte, MG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFGM, 2005,p.452
16. VYMAZAL, J; KROPFEOVÁ,L. Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow. Republica Tcheca, 2008,579 p.
17. WOOD, J.; FERNANDEZ,G.; BARKER, A.; GREGORY,J.;CUMBEY,T.; Efficiency of reed beds in treating dairy wastewater. Biosystems Engineering, v.98, p 455-469. 2007.