

Implantação e início de operação de filtros plantados com macrófitas para tratamento de efluentes de bovinocultura de leite

Decezaro, S.T.¹, Sezerino, P.H.², Bento, A.P.³, Bergmann, I.⁴, Carvalho Júnior, O. de⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Campus CESNORS

(E-mail: ¹samaradecezaro@hotmail.com; ²phsezerino@hotmail.com;

³bentoalep@hotmail.com; ⁴igoritg@hotmail.com; ⁵orlandocarvalhojr@yahoo.com.br)

Resumo

Este trabalho objetiva avaliar a implantação e início de operação 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, implantados em paralelo, 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* sp. Para o FPMH as cargas superficiais aplicadas foram de 16,3 g DBO/m².semana e de 40,8 g SS/m².semana, sendo que o mesmo apresentou eficiências de remoção de 66% para DBO e de 83% para SS. Para o FPMV as cargas aplicadas foram de 30,2 g DBO/m².semana e 75,5 g SS/m².semana, sendo a eficiência de remoção de 53% para DBO e de 72% para SS. Após 198 dias de operação, o FPMV apresenta significativa nitrificação, com uma média de 40 mg/L de N-NO₃⁻ formado e o FPMH se destaca na remoção de fósforo, sendo superior a 70%.

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

Área temática: Tecnologias para gestão de resíduos sólidos e líquidos na atividade agropecuária.

Abstract

*The main objective of this work is to evaluate the implantation and start up periods of a system composed by two constructed wetlands (CW) applied as a 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* sp. For HFCW the organic load applied were 16,3 g BOD/m².week and 40,8 g SS/m².week, with an average removal efficiencies of 66% of BOD and 83% of SS. For VFCW the organic load applied were 30,2 g BOD/m².week and 75,5 g SS/m².week, with an average removal efficiencies of 53% of BOD and 72% of SS. After 198 days of operation, it was possible to notice a good nitrification and phosphorus removal in VFCW and HFCW, respectivelvly.*

Key words: *Dairy cattle. Wastewater treatment. Constructed wetlands.*

Theme Area: *Technologies for management of solid and liquid waste in farming.*

1 Introdução

A atividade leiteira no estado do Rio Grande do Sul apresenta-se em crescente expansão. O estado está enquadrado em segundo lugar no ranking brasileiro de produção de leite com um volume estimado de 3.668.050 mil litros no ano de 2010, representando 12% da produção nacional (ZOCCAL, 2011).

Esta produção acarreta na geração de efluentes líquidos que necessitam de gerenciamento adequado para garantir tal desenvolvimento e atender aos padrões estabelecidos pela legislação. Águas residuárias provenientes de instalações de bovinocultura de leite são compostas principalmente por urina e esterco, como também detergentes provenientes da limpeza da sala de ordenha, resíduos de leite e muco (HEALY, *et al.* 2007). Além de sólidos e DBO, nutrientes como nitrogênio e fósforo são os constituintes mais importantes em águas residuais de animais, os quais são responsáveis pela eutrofização (CRONK, 1996). Assim, percebe-se a necessidade de alternativas tecnológicas como filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) para tratamento desses efluentes.

Existem várias configurações de *wetlands* construídos, entre os quais destacam-se os de escoamento sub-superficial, denominados filtros plantados com macrófitas (FPM). Esses sistemas são muitas vezes, módulos escavados no terreno, que dispõem de um material de recheio (brita, areia ou cascalho) no qual o efluente a ser tratado percola, dependendo do tipo de fluxo empregado, no sentido horizontal ou vertical.

Nos filtros plantados com macrófitas de fluxo horizontal (FPMH) o efluente é disposto em uma camada de brita, denominada zona de entrada, percola pelo material filtrante, geralmente areia, até atingir a porção final do filtro, também composta por brita, devido a uma declividade de fundo. Nos filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical (FPMV) o efluente a ser tratado é disposto intermitentemente, sobre a superfície do módulo de tratamento, o qual percola verticalmente ao longo de todo o perfil vertical, sendo coletado no fundo por meio de um sistema de drenagem/coleta (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

Os FPMH apresentam-se como sistemas eficientes na remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica carbonácea (DBO_{5,20}), e nitrogenada - desde que o sistema receba efluente parcialmente nitrificado (COOPER, *et al.*, 1996). Os FPMV, também eficientes na remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos suspensos, apresentam configuração que favorece a conversão de matéria orgânica nitrogenada por nitrificação (IWA, 2000; PHILIPPI e SEZERINO, 2004; KAYSER e KUNST, 2005).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a implantação e início de operação de um sistema composto por filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical e horizontal para tratamento de efluentes da bovinocultura de leite.

2 Metodologia

A área de estudo comprehende as instalações para manejo de bovinocultura de leite do Colégio Agrícola de Frederico Westphalen – CAFW (figura 1), 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).



Figura 1 - Instalações da bovinocultura de leite do CAFW

A estrutura das instalações de bovinocultura do CAFW é composta por 9 vacas em lactação, que produzem 140 litros de leite por dia em duas ordenhas.

A geração de efluente resultante das águas de lavagens estimada através do consumo de água diário, é em torno de 2000 L/d.

A partir de um projeto de pesquisa financiado pelo CNPq (edital MCT/CNPq N 014/2010, sob registro junto a UFSM – SIE 028374) foram instalados dois filtros plantados com macrófitas dos tipos FPMH e FPMV, em paralelo, no tratamento do efluente de lagoa de decantação que recebe despejos da instalação de bovinocultura de leite.

O efluente gerado é captado por coletores tipo canaletas, onde segue por gravidade em duas linhas – uma linha que conduz as águas de lavagem da sala de ordenhamento e a outra das demais áreas da instalação, as quais seguem para a lagoa de decantação existente. As unidades FPM foram projetadas para operar no tratamento secundário de 1900 L/d do efluente gerado na lagoa de decantação, sendo este direcionado a um reservatório de 3000 L para a partir deste tanque ser distribuído aos dois filtros, em paralelo, sendo para o FPMH apenas por gravidade e para o FPMV de forma intermitente, através de um sistema de bombeamento controlado por um temporizador. Após passar pelos FPM o efluente tratado segue para infiltração em solo, sendo que para cada filtro há uma vala de infiltração. Na figura 2 é apresentado um fluxograma da estrutura do sistema experimental.

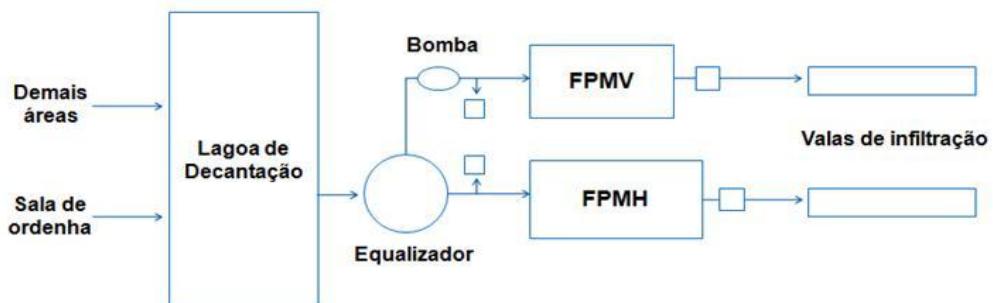


Figura 2 - Estrutura do sistema experimental

3 – Resultados

A construção do sistema experimental iniciou-se em março de 2011. O dimensionamento foi realizado levando em consideração uma carga de 7,0 g DBO/m².dia segundo a recomendação da NRCS (1991) apud Healy, *et al.* (2007) para o FPMH e 20,0 g DQO/m².dia para o FPMV, estabelecido por Winter e Goetz (2003).

- Escavação e Impermeabilização

Os FPM foram escavados no solo, em cota inferior à lagoa de decantação, cujas dimensões constam na tabela 1, sendo feita impermeabilização nas laterais e no fundo com duas camadas de lona plástica e manta de poliéster na última camada (figura 3).



Figura 3 – Escavação em solo e impermeabilização dos FPM

Tabela 1 – Características físicas dos FPM

Dimensões	FPMH	FPMV
Área superficial	26,5 m ²	14,3 m ²
Comprimento	6,7 m	4,4 m
Largura	3,95	3,25 m
Altura do filtro	1,15 m	1,15 m
Altura do substrato	0,80 m	0,80 m

- Preenchimento dos filtros

Utilizou-se brita 1 e areia grossa como substrato.

No FPMV utilizou-se uma camada de 10 cm de brita no fundo, na qual foi assentada a tubulação de drenagem/coleta. Acima da tubulação de coleta foi depositada mais uma camada de brita de 5 cm para proteger a tubulação, em seguida foi transferido para o filtro uma camada de 60 cm de areia e completado o enchimento do filtro com uma camada de 5 cm de brita para melhor distribuição do efluente.

No FPMH utilizou-se areia como substrato e brita nas zonas de entrada e saída, cada uma delas ocupando cerca de 80 cm do comprimento do filtro.

A areia empregada nos FPM como material filtrante foi submetida ao ensaio granulométrico, realizado conforme NBR 7181 de dezembro de 1984 (ABNT, 1984), obtendo-se diâmetro efetivo (d_{10}) de 0,3 mm e coeficiente de uniformidade (U) de 2,50.

-Tubulações de distribuição e drenagem

A tubulação de distribuição do efluente no FPMV é composta por tubos PVC de 25 mm de diâmetro e 6 aspersores rotativos. 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 0,8 mm de diâmetro espaçados a cada 10 cm (figura 4). Para o FPMH as tubulações de distribuição e coleta são compostas por tubos PVC de 50 mm de

diâmetro, também perfurados com furos de 8 mm de diâmetro, espaçados a cada 10cm (figura 5).



Figura 4 – Preenchimento e tubulações de distribuição e drenagem do FPMV



Figura 5 - Preenchimento e tubulações de distribuição e drenagem do FPMH

- Plantio das macrófitas

A macrófita empregada nos FPM foi *Typha* sp., conhecida popularmente como taboa. As mesmas foram retiradas do seu *habitat* natural e plantadas diretamente no material filtrante (figura 6) na razão de 1,5 plantas/m² em 15/08/2011, após a retirada da parte aérea e excesso de matéria orgânica aderida à rizosfera.



Figura 6 – Retirada de *Typha* sp do *habitat* natural e plantio nos FPM

- Custos de implantação

Para a construção dos FPM foi utilizado 8 horas / máquina retroescavadeira, 12 horas / máquina trator, 24,6 m³ de areia, 7,8 m³ de brita, 240 m² de lona plástica, 96 m² de manta de poliéster, 5 barras de tubo PVC DN 50, 4 barras de tubo PVC DN 40, 2 barras de tubo PVC DN 32 e 3 barras de tubo PVC DN 25. As demais estruturas necessárias para a utilização dos FPM foram 01 reservatório de Fibra com volume de 3000 L, 01 conjunto motor-bomba centrífuga rotor aberto (modelo BA 12 – Thebe), 01 conjunto temporizador composto por *Timer* e *Contator*, 04 caixas de inspeção para medição e controle de vazão e 02 valas de infiltração. 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.

-Operação e monitoramento dos FPM

A alimentação dos filtros com efluente proveniente da lagoa de decantação foi iniciada em 01/06/2011. Essa alimentação teve que ser interrompida após 20 dias de operação pois o nível da lagoa encontrava-se muito baixo, impossibilitando a captação do efluente. Devido a isso, retornou-se os testes com água e após o plantio das macrófitas, a alimentação do sistema foi feita através da mistura de efluente com água, a fim de disponibilizar os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. O regime de alimentação do sistema com esgoto foi restabelecido em 05/10/2011.

Os FPM operam com um regime de 4.500 L por semana em cada leito. Para o FPMH, 2.250 L em pulso de 8 horas, duas vezes por semana (terças e quintas-feiras). Para o FPMV a alimentação ocorre de forma intermitente, 1.500 L em 4 ciclos de 375 litros por dia, sendo realizado 3 vezes por semana (segundas, quartas e sextas-feiras), por meio de um sistema de bombeamento. Cabe ressaltar que a vazão de projeto era de 1900 L/d, sendo destes, 1000 L/d para o FPMH e 900 L/d para o FPMV.

Visto que o tratamento primário do efluente é a lagoa de decantação, observou-se que a mesma não atinge o volume máximo nos períodos com escassez de chuva, e como o ciclo hidrológico tem interferência direta nesses sistemas, a lagoa sofre constantes perdas de água devido à evaporação. Deste modo, nota-se que não há necessidade de alimentação diária dos filtros, o que demonstra uma particularidade quando comparado com esgoto doméstico.

Notou-se a necessidade de realizar uma substituição das macrófitas no FPMV, pois 30% destas não se adaptaram ao mesmo. Contudo, no FPMH todas as macrófitas estão se desenvolvendo conforme esperado. Na figura 7 é mostrada a vista geral do sistema.



Figura 7 – Vista geral do sistema

As análises físico-químicas estão sendo realizadas semanalmente no Laboratório de Águas e Efluentes do CESNORS/UFSM, através de coletas pontuais em três pontos: Ponto 1 – efluente da lagoa de decantação; Ponto 2 – efluente tratado no FPMH; Ponto 3 – efluente tratado no FPMV. Os parâmetros analisados são: potencial hidrogeniônico (pH), alcalinidade total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), nitrogênio amoniacial (N-NH₄), nitrogênio nitrito (N-NO₂⁻), nitrogênio nitrato (N-NO₃⁻), ortofosfato reativo (P-PO₄³⁻), sólidos suspensos totais (SS), sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), sólidos totais fixos (STF) e sólidos sedimentáveis (SSd) , seguindo recomendação da APHA (1998), com exceção do nitrogênio amoniacial que é realizado conforme Vogel (1981).

As unidades FPM operam com taxas hidráulicas de 170 L/m².semana e cargas de 432 g DBO/semana e de 1080 g SS/semana para cada filtro.

Cargas superficiais de 16,3 g DBO/m².semana são aplicadas no FPMH e de 30,2 g DBO/m².semana no FPMV. Percebe-se que a carga de aplicação superficial no FPMH é inferior ao parâmetro de projeto, que foi de 7,0 g DBO/m².dia, segundo a recomendação da NRCS (1991) apud Healy, *et al.* (2007). Isso provavelmente se deve ao papel realizado pela lagoa de decantação na estabilização da matéria orgânica.

Por outro lado, percebe-se uma elevada carga superficial de SS afluente aos FPM, atingindo valores médios de 40,8 g SS/m².semana para o FPMH e de 75,5 g SS/m².semana para o FPMV. Boas eficiências de remoção de SS são constatadas, sendo em média de 72% para o FPMV e de 83% para o FPMH. Sezerino, *et al.* (2005), avaliaram FPMH durante 14 meses, trabalhando com uma carga de 42 g SS/m² semana e também obtiveram eficiências de remoção superiores a 80%.

As características de efluentes de instalações de bovinocultura de leite podem variar na composição e concentração de seus componentes, dependendo do manejo adotado e do volume de água utilizada para lavagem e desinfecção dos equipamentos e instalações (CAMPOS, *et al.*, 1994 apud SILVA, 2007). Em geral, efluentes dessa natureza possuem considerável valor de sólidos em suspensão que podem diminuir o tempo de vida útil da areia empregada nos FPM. Dunne, *et al.* (2005), relatam concentrações de 921-1080 mg SST/L. Daí a importância do tratamento primário para redução desses sólidos.

Após 198 dias de operação o FPMV já apresenta significativa nitrificação do efluente, com uma média de 40 mg/L de N-NO₃⁻ formado e remoção de N-NH₄⁺ superior a 70%.

A remoção de fósforo é evidente no FPMH, ficando acima de 70%. Já para o FPMV, a eficiência de remoção é inferior a 20%.

Conclusão

A partir da implantação e após 198 dias de operação dos FPM aplicados como tratamento complementar de lagoa de decantação, empregados no tratamento de efluente de bovinocultura de leite, é possível concluir que:

- O custo total de implantação dos FPM foi de R\$ 10.400,00, que representa R\$ 254,90 por m² de filtro construído;
- O tratamento primário efetuado pela lagoa de decantação necessita ser melhor caracterizado, bem como há a necessidade de correlacionar as variáveis climáticas com a performance de tratamento;
- As eficiências médias na remoção de SS foram de 72% para o FPMV e de 83% para o FPMH;
- Ocorrência de significativa nitrificação no FPMV, com remoções de N-NH₄⁺ superiores a 70%;
- Boa remoção de fósforo no FPMH, atingindo valores acima de 70%;
- Bom desenvolvimento das macrófitas no FPMH e necessidade de replantio de 30% no FPMV;

- Não há liberação de odores desagradáveis;
- Adequação visual do sistema de tratamento com a área rural;
- 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.

Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181-84, Solo: Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, 1984.
- APHA – American Public Health Association. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19 ed. Washington: APHA-AWWA-WEF.
- Cooper, P.F., et al. (1996). *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Swindon: WRc plc. 184 p
- Cronk, J. K. (1996). *Constructed wetlands to treat wastewater from dairy and swine operations: a review*. Agriculture Ecosystems & Environment, vol. 58, p. 97-114.
- Dunne, E.J., et al. (2005). An integrated constructed wetland to treat contaminants and nutrients from dairy farmyard dirty water. Ecological Engineering vol. 24 p. 221–234.
- IWA – International Water Association (2000). *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. Scientific and Technical Report No. 8. London, England: IWA Publishing. 156 p.
- Kayser, K.; Kunst, S. (2005). *Processes in vertical-flow reed beds: nitrification, oxygen transfer and soil clogging*. Wat.Sci.Tech., v.51, n.9, pp. 177-184.
- 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.
- Philippi, L.S.; Sezerino, P.H. (2004). *Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas*. Ed. do Autor. Florianópolis/SC. 144p.
- Sezerino, P.H., et al. (2005). *Filtro plantado com Typha spp de fluxo horizontal (constructed wetland) aplicado como polimento de efluente de lagoa facultativa*. In: *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. CD-ROM.
- Silva, E.M. da. (2007). *Avaliação de um sistema piloto para tratamento de efluentes de sala de ordenha de bovinocultura*. 151f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- Winter, K. J.; Goetz, D. (2003). *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.
- Zoccal, R. (2011) Ranking da produção de leite por estado, 2008/2010. Embrapa Gado de Leite. Disponível em: <http://www.cnplg.embrapa.br/nova/informacoes/estatisticas/producao/tabela_0240.php>. Acesso em 15 jun./2011.