

II-110 - DESEMPENHO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS NA REMOÇÃO DE FÓSFORO PRESENTE NA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA

Ronaldo Fia⁽¹⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa/UFV. Doutor em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela Universidade Federal de Viçosa/UFV. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia – DEG/UFLA

Fátima Resende Luiz Fia

Professora Adjunta - Departamento de Engenharia/UFLA

Antonio Teixeira de Matos

Professor Associado - Departamento de Engenharia Agrícola/UFV

Alisson Carraro Borges

Professor Adjunto - Departamento de Engenharia Agrícola/UFV

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia – Caixa Postal 3037 - Campus da UFLA - CEP: 37.200-000 - Lavras-MG, Brasil – Tel: +55 (35) 3829-1481 - E-mail: ronaldofia@deg.ufla.br

RESUMO

O presente trabalho objetiva avaliar o desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento subsuperficial horizontal (SACs), cultivados com taboa (*Typha latifolia*) e capim tifton-85 (*Cynodon* spp.), na remoção de fósforo presente na água residuária da suinocultura (ARS). O experimento foi constituído por oito SACs em fibra de vidro, nas dimensões de 0,6 m de altura x 0,5 m de largura x 2,0 m de comprimento. Nos SAC₃, SAC₅, SAC₇ e SAC₉ foi plantado o capim tifton-85 (*Cynodon* spp.) e nos SAC₂, SAC₄, SAC₆ e SAC₈ foi plantada a taboa (*Typha latifolia*). A aplicação da ARS foi feita de forma diferenciada entre os SACs por meio da variação da vazão afluente, o que resultou em taxas de aplicação de fósforo (TC_P) em torno de 6,2 (SAC₂ e SAC₃), 12,4 (SAC₄ e SAC₅), 17,5 (SAC₆ e SAC₇) e 21,5 kg ha⁻¹ d⁻¹ (SAC₈ e SAC₉), sendo os tempos de detenção hidráulica (TDHs) referentes a cada TC_P, respectivamente de 11,9, 5,9, 4,2 e 3,6 dias. Para avaliação das eficiências na remoção de fósforo, foram realizadas 12 amostragens dos afluentes e efluentes dos SACs, sendo o sistema de tratamento monitorado por um período de 120 dias. Com o tempo de operação dos SACs, verificou-se tendência de aumento nas eficiências de remoção de fósforo e que essas eficiências médias foram menores nos SACs que receberam as maiores cargas deste nutriente, havendo diferença estatística entre as médias (p<0,05). Assim obteve-se por regressão linear a equação $E (\%) = 76,37 - 0,6644 \cdot TC_P$ (R² = 93,93) para estimar a remoção de P com o aumento da TC_P aplicada. As eficiências de remoção de fósforo pelos SACs variaram entre 65 e 78%, valores que podem ser considerados satisfatórios. As maiores eficiências na remoção de fósforo observadas neste trabalho devem-se, provavelmente, ao fato de serem sistemas recém-implantados e terem capacidade de adsorver e precipitar compostos à base de fósforo, favorecidas principalmente pelos maiores valores de pH apresentado pela ARS.

PALAVRAS-CHAVE: Fósforo, wetlands, água residuária, suinocultura.

INTRODUÇÃO

Os sistemas alagados construídos (SACs) removem poluentes por meio de processos físicos como precipitação, sedimentação, filtração e processos biogeoquímicos que reciclam e transformam alguns elementos químicos, como o carbono, o fósforo, o nitrogênio entre outros. A maior parte do P em SACs está na forma orgânica, podendo estar presente em plantas e seus resíduos, micro-organismos ou em material orgânico dissolvido ou em suspensão na água. Segundo DeBUSK *et al.* (2004), devido à rápida extração biológica de nutrientes, a saída do P dos SACs ocorre mais na forma orgânica (presente nos tecidos de plantas e micro-organismos) do que na forma inorgânica. A única forma de remoção de P inorgânico dos SACs é aquela em que ocorre a liberação desse elemento como gás PH₃ (KADLEC & KNIGHT, 1996).

O P inorgânico pode, também, se tornar indisponível por adsorção à fase sólida, por precipitação e complexação pelo material orgânico retido nos SACs, embora se saiba que, por dessorção da fase sólida e, ou,

alteração química no meio e por mineralização do material orgânico nos SACs, este pode voltar a ser disponibilizado no líquido.

Os principais mecanismos que removem P em alagados construídos incluem apenas sorção sobre substratos, armazenamento na biomassa, e a formação e acréscimo de turfa (KADLEC & KNIGHT, 1996). Os dois primeiros processos são, no entanto, saturáveis, o que significa que eles têm capacidade finita e, portanto, não podem contribuir, em longo prazo, na remoção de fósforo do sistema (DUNNE & REDDY, 2005).

A capacidade de SACs removerem P é limitada, quando comparada com a capacidade de remoção de N, já que não há, nesses sistemas, nenhum "mecanismo de perda permanente" de P análogo ao da desnitrificação. Desta forma, o P tende a acumular nos SACs em maior taxa do que o N (DeBUSK *et al.*, 2004), por essa razão, a escolha de espécies vegetais com grande capacidade de absorver P, torna-se fundamental.

Com a realização deste estudo teve-se por objetivo estudar o desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento subsuperficial horizontal (SACs), cultivados com *Typha latifolia* e *Cynodon* spp., na remoção de fósforo da água residuária da suinocultura (ARS).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, sendo constituído por oito sistemas alagados de escoamento subsuperficial horizontal (SACs), implantados em casa de vegetação para o tratamento das águas residuárias da suinocultura (ARS).

Os SACs, em escala piloto, foram constituídos por caixas de fibra de vidro, nas dimensões de 0,6 m de altura x 0,5 m de largura x 2,0 m de comprimento, assentadas sobre o solo, em declividade de 0,01 m m⁻¹. A zona de entrada e saída dos SACs, com 0,10 m de comprimento foram preenchidas com brita nº 2 (diâmetro de 19 a 25 mm) enquanto todo o restante do leito do SAC foi preenchido com brita zero até a altura de 0,55 m, deixando-se uma borda livre de 0,05 m. O nível d'água foi mantido a 0,05 m abaixo da superfície do material suporte. Nos SAC₃, SAC₅, SAC₇ e SAC₉ foi plantado o capim tifton-85 (*Cynodon* spp.) e nos SAC₂, SAC₄, SAC₆ e SAC₈ foi plantada a taboa (*Typha latifolia*).

No que se refere à taboa, foram utilizados propágulos vegetativos (rizomas), obtidos em várzea existente nas proximidades do local do experimento. Em relação ao tifton-85, foram plantados segmentos de caule com quatro a seis nós, sendo retiradas quase todas as folhas das plantas. Os segmentos de caule foram introduzidos no substrato, ficando parcialmente cobertos com pequena camada de brita (0,10 m). A densidade de plantio foi de 14 propágulos por m² (14 propágulos por SAC) para taboa e de 20 propágulos por m² (20 propágulos por SAC) para o tifton-85.

A aplicação da ARS nos SACs foi feita de forma diferenciada entre os SACs por meio da variação da vazão afluente aplicada. Quatro diferentes vazões foram aplicadas e com a variação nas características apresentadas pela ARS obtiveram-se os valores das características operacionais e das cargas de fósforo apresentados na Tabela 1.

Os SACs foram monitorados durante 120 dias, entre os meses de abril e setembro de 2009. O monitoramento dos SACs foi feito por amostras do afluente e do efluente, quantificando-se o fósforo total (P), por espectrofotometria em 12 amostragens (APHA *et al.*, 2005). Tal variável foi avaliada estatisticamente no esquema fatorial 2 x 4 (2 espécies e 4 taxas de carga orgânica) no delineamento em blocos casualizados (DBC) com o número de repetições em função do número de amostragens (repetições no tempo). Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão. Para o fator qualitativo, as médias foram comparadas utilizando-se o teste F; e havendo interação significativa entre a espécie cultivada e o tratamento aplicado, fez-se o desdobramento da mesma. Para o fator quantitativo, os modelos foram avaliados com base na significância dos coeficientes de regressão, coeficiente de determinação e no fenômeno biológico. As análises de variância e regressão foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SAEG[®] (RIBEIRO Jr., 2001).

Tabela 1. Características operacionais e cargas de nutrientes aplicadas aos nove SACs durante a condução experimental

Variáveis operacionais	SAC ₂	SAC ₃	SAC ₄	SAC ₅	SAC ₆	SAC ₇	SAC ₈	SAC ₉
TDH (d)	11,8±1,1	12,0±1,2	5,9±0,6	5,9±0,6	4,2±0,4	4,2±0,3	4,0±1,1	3,2±0,3
TC _P (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)	6,2±3,0	6,1±3,0	12,4±6,0	12,4±6,0	17,5±8,4	17,5±8,4	19,5±9,4	23,0±11,1

TDH - tempo de detenção hidráulica (d); TC_P - Taxa de carga de fósforo tomada com base na área superficial dos SACs.

OBS: Para obtenção das variáveis operacionais dos SACs considerou-se o volume útil dos mesmos, ou seja, somente o volume do líquido, visto que ele representa melhor as condições as quais os sistemas foram submetidos e não as dimensões com as quais foram projetados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As eficiências médias e o desvio padrão na remoção de fósforo, bem como as concentrações médias afluentes e efluentes dos SACs, estão apresentados na Tabela 2, enquanto na Figura 1 estão apresentadas as eficiências de remoção de fósforo obtidas no decorrer do período experimental.

Tabela 2. Valores médios de concentração afluente e efluente de fósforo e eficiências médias (%) de remoção, obtidos durante a operação dos SACs

Variáveis	Fósforo	
	(mg L ⁻¹)	Rem. (%)
Afluente	161±119	-
SAC ₂	34±17	74±17a
SAC ₃	37±15	73±15a
SAC ₄	39±18	69±19b
SAC ₅	38±15	71±20b
SAC ₆	43±17	67±20c
SAC ₇	46±19	67±20c
SAC ₈	48±20	68±16d
SAC ₉	50±30	65±19d

Rem. – Porcentagem de remoção de fósforo, tendo-se como base o balanço de massa realizado.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com o tempo de operação dos SACs, verificou-se tendência de aumento nas eficiências de remoção de fósforo e que essas eficiências médias foram menores nos SACs que receberam as maiores cargas deste nutriente, havendo diferença estatística entre as médias. A equação para estimativa da remoção de P com o aumento das cargas aplicadas está apresentada na Figura 2.

As eficiências de remoção de P obtidas neste trabalho podem ser consideradas satisfatórias, pois, segundo VYMAZAL (2007), a remoção de fósforo em todos os tipos de SACs é considerada baixa, a menos que substratos especiais com elevada capacidade de adsorção sejam utilizados junto ou como meio suporte. Ainda segundo o autor, a remoção de fósforo total varia entre 40 e 60% entre todos os tipos de sistemas alagados e, semelhante ao que ocorre com o nitrogênio, é dependente das cargas aplicadas e da forma de escoamento da água residuária no sistema.

Em sistemas alagados utilizados no tratamento de água residuária da bovinocultura, Crolla & Kinsley (2002) *apud* GOTTSCHALL *et al.* (2007) obtiveram eficiências da ordem de 58% na remoção de fósforo, durante os quatro primeiros anos de operação do sistema. Após oito anos de operação, o sistema apresentou decréscimo na eficiência média de remoção, passando a eficiência a ser de 32%, sendo aplicadas cargas de fósforo da ordem de 3,4 kg ha⁻¹ d⁻¹.

Em trabalhos encontrados na literatura e citados por GOTTSCHALL *et al.* (2007) está relatado que no tratamento de águas residuárias agroindustriais, principalmente naquelas originadas de suinoculturas e bovinoculturas, os SACs conseguem remover entre 35 e 96% do fósforo adicionado ao sistema, dependendo do

aporte de fósforo e do tempo de operação do sistema, sendo que, geralmente, maiores remoções estão relacionadas às menores cargas aplicadas.

DeBUSK *et al.* (2004) obtiveram 46% de eficiência na remoção de fósforo em um sistema alagado com TDH de 0,8 dias, entretanto a carga de fósforo aplicada foi de $7,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (correspondendo a $0,02 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). FREITAS (2006) obteve remoções de 33 e 55% no tratamento de água residuária da suinocultura em SACs cultivados com taboa e capim tifton-85, sob taxa de aplicação média de $22 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de fósforo e TDH de 4,8 dias, aproximadamente. GONZÁLES *et al.* (2009) obtiveram remoção entre 0 e 28%, dependendo da estação do ano, e verificaram que o TDH (1 a 3 dias) não interferiu nas eficiências de remoção, tal como observado neste trabalho. Entretanto, ao contrário do que foi descrito por VYMAZAL (2004), verificou que, ao aplicar concentrações entre 44 e 88 mg L^{-1} de fósforo, a presença de macrófitas teve efeito significativo e positivo na eficiência de remoção de fósforo. LEE *et al.* (2004) também verificaram menores eficiências na remoção de P (47 a 59%) que as obtidas neste trabalho.

Assim, neste trabalho, acredita-se que as maiores eficiências na remoção de fósforo sejam, em parte, decorrentes de serem os sistemas recém-implantados e terem capacidade de adsorver e precipitar compostos à base de fósforo, favorecidas principalmente pelos maiores valores de pH apresentado pela ARS. TANAKA *et al.* (2007) observaram redução drástica na concentração de fosfato solúvel em meio contendo cálcio e magnésio, quando o valor do pH da solução excedeu 7,9, havendo solubilização do precipitado em caso de redução do pH para valores abaixo de 8,0 (REDDY & DELAUNE, 2008). Outro fator que pode ter contribuído foi a remoção acentuada de sólidos em suspensão nos SACs, removendo assim o fósforo presente no material em suspensão.

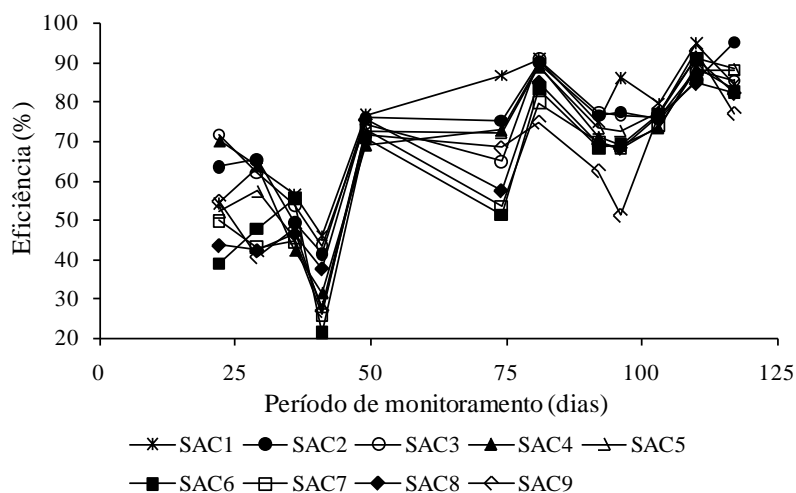
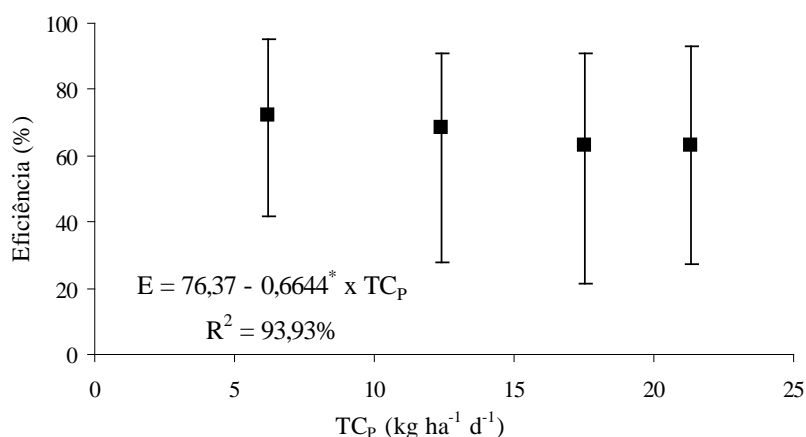


Figura 1. Eficiências na remoção de fósforo nos SACs durante o período de monitoramento dos sistemas.



* significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

Figura 2. Estimativa das eficiências de remoção de P com base nas diferentes taxas de carregamento deste nutriente aplicadas aos SACs.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que as maiores taxas de carga superficial de fósforo e, consequentemente, menores TDHs nos SACs influenciaram significativamente ($p < 0,05$) a eficiência de remoção de P, em todos os sistemas avaliados. Verificou-se diferença estatística ($p < 0,05$) entre as diferentes cargas de P aplicadas aos SACs, sendo que as eficiências médias de remoção variaram entre 65 e 78%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG o apoio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA [AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION]; AWWA [AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION]; WEF [WATER ENVIRONMENT FEDERATION]. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th. ed. Washington. D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2005, [s.n.].
2. DeBUSK, T.; GRACE, K.A.; DIERBERG, F.E.; JACKSON, S.D.; CHIMNEY, M.J.; GU, B. An investigation of the limits of phosphorus removal in wetlands: a mesocosm study of a shallow periphyton-dominated treatment system. *Ecological Engineering*, v.23, p.1-14, 2004.
3. DUNNE, E.J.; REDDY, K.R. Phosphorus biogeochemistry of wetlands in agricultural watersheds. In: DUNNE, E. J.; REDDY, R.; CARTON, O. T. (Eds). *Nutrient management in agricultural watersheds: a wetland solution*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005, p.105-119.
4. FREITAS, W. S. Desempenho de sistemas alagados construídos, cultivados com diferentes espécies vegetais, no tratamento de águas residuárias da suinocultura. Viçosa: UFV, 2006, 159f. Tese de doutorado.
5. GONZÁLEZ, F.T.; VALLEJOS, G.G.; SILVEIRA, J.H.; FRANCO, C.Q.; GARCÍA, J.; PUIGAGUT, J. Treatment of swine wastewater with subsurface-flow constructed wetlands in Yucatán, Mexico: Influence of plant species and contact time. *Water SA*, v.35, p.335-342, 2009.
6. GOTTSCHALL, N.; CROLLA, B.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.
7. KADLEC, R.H.; KNIGHT, R.L. *Treatment wetlands*. Florida: CRC Press, 1996, 893p.
8. LEE, C.Y.; LEE, C.C.; LEE, F.Y.; TSENG, S.K.; LIAO, C.J. Performance of subsurface flow constructed wetland taking pretreated swine effluent under heavy loads. *Bioresource Technology*, v.92, p.173-179, 2004.
9. REDDY, K.R.; DELAUNE, R.D. *Biogeochemistry of wetlands: Science and applications*. Florida: CRC Press, 2008, 774p.
10. RIBEIRO Jr., J.I. *Análises estatísticas no SAEG*. Viçosa: UFV, 2001. 301p.

11. TANAKA, Y.; YATAGAI, A.; MASUJIMA, H.; WAKI, M.; YOKOYAMA, H. Autotrophic denitrification and chemical phosphate removal of agro-industrial wastewater by filtration with granular medium. *Bioresource Technology*, v.98, p.787-791, 2007.
12. VYMAZAL, J. Removal of phosphorus in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow in the Czech Republic. *Water Air Soil Pollut. Focus* 4, p. 657-670, 2004.
13. VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, v.380, p.48-65, 2007.