

MEIOS SUPORTES PARA REMOÇÃO DE FÓSFORO EM WETLANDS CONSTRUÍDOS

Amanda Silva Nunes (*), Ricardo Nagamine Costanzi

* Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina, amanda__nunes1@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de remoção de fósforo em um sistema *wetlands* construídos (WCs), composto por quatro leitos de escoamento vertical, ao longo de oito semanas de operação, no tratamento de esgoto sanitário bruto. O design adotado consiste em um leito (1 m³) de primeiro estágio, em série com três leitos (0,05 m³) do segundo estágio operando em paralelo. Durante o período avaliado, o sistema foi operado com uma vazão média de 0,48 m³.d⁻¹, distribuída por meio de seis pulsos diários de 0,06 m³ e taxa de aplicação hidráulica de 272 mm.d⁻¹. O regime hidráulico foi baseado em quatro dias consecutivos de alimentação e três dias de repouso, completando um ciclo operacional total de 7 dias. Para os leitos do segundo estágio foram adotados materiais com alta afinidade química com o fósforo (escória de fundição de ferro e aço e granulado cerâmico), a fim de potencializar e assegurar retenção deste nutriente em longo prazo. A unidade experimental em escala piloto reduziu consistentemente as concentrações de Ptotal para menos de 0,5 mg.l⁻¹, foi possível perceber desempenho superior do leito de tratamento preenchido com escória siderúrgica granulada, alcançando eficiência de remoção de 65,9 ± 9,7 %. Ocasionalmente foi a desorção do fósforo retido no leito contendo cascalho (L_i). Os resultados obtidos confirmam que as particularidades do meio suporte, como a presença de íons minerais (Fe, Al e Ca), refletiram satisfatoriamente na adsorção e consecutiva remoção de Ptotal em WCs.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção de fósforo, Escória siderúrgica, Meio filtrante, Tratamento de esgoto, Tratamento biológico.

INTRODUÇÃO

Os *wetlands* construídos (WCs) são ecotecnologias descentralizadas de tratamento de águas residuárias consolidadas globalmente (YANG et al., 2018). Estes sistemas de tratamento são tradicionalmente empregados em virtude do bom desempenho de eliminação de matéria orgânica carbonácea, sólidos e até mesmo nitrogênio, no entanto nem sempre são eficazes na remoção do fósforo (BALLANTINE; TANNER, 2010). O fósforo é um elemento essencial e insubstituível para o crescimento de diversos organismos, especialmente as plantas. Nos corpos hídricos, a presença deste nutriente em grandes concentrações é responsável principal processo de deterioração da qualidade da água, a eutrofização, por este motivo o monitoramento deste parâmetro tornou-se cada vez mais rigoroso.

Os WCs se operados sob condições adequadas podem tornar-se uma opção acessível e apropriada para a redução das elevadas cargas deste nutriente. De maneira oposta ao nitrogênio, eliminado dos *wetlands* mediante sucessivos mecanismos (amonificação, nitrificação e desnitrificação) que resultam na sua eliminação para atmosfera, o fósforo mediante os processos adsorção, precipitação e assimilação, acumula-se no meio suporte e na biota e é somente removido efetivamente da unidade de tratamento após a colheita da vegetação e remoção/substituição do meio suporte (PANT; REDDY; LEMON, 2001; SEO et al., 2005; GAO et al., 2019).

O desempenho geral das unidades de WCs relativas ao fósforo é considerado significativamente instável e limitado, e dependente de fatores específicos (WU et al., 2013). Xu et al. (2019) concluiu que a efetividade das principais vias de eliminação de fósforo são controladas por propriedades físicas e químicas do meio filtrante, como área superficial específica e presença de íons minerais (Fe, Al e Ca). A seleção de meios com elevada capacidade de interação com este nutriente é a principal maneira de prolongar a vida útil da unidade de tratamento, minimizar os problemas de saturação em curto prazo e o aprimorar o desempenho (SEO et al. 2005; YANG et al., 2018).

Em nível prático, é fundamental que além da elevada capacidade de adsorção, os meios selecionados sejam de baixo custo (naturais ou subprodutos industriais), gerados localmente (poupando custos com transporte), disponíveis em grandes quantidades e não tóxicos (BALLANTINE; TANNER, 2010). Assim, no presente estudo, objetivou-se monitorar um sistema WCs de dois estágios, por oito semanas, com a finalidade de se observar a influência de diferentes meios suportes na adsorção do fósforo presente no esgoto sanitário.

OBJETIVOS

Os objetivos principais deste trabalho foram: 1) examinar o comportamento de um sistema *wetlands* construídos (WCs) de fluxo vertical em escala piloto na remoção de fósforo de esgoto sanitário bruto ao longo de oito primeiras semanas de operação devido à 2) influência de meios suportes com composições distintas para remoção por processos de adsorção.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo foi realizado nas instalações de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) sanitário do município de Londrina, Paraná, que recebe esgoto prioritariamente doméstico. A ETE fica situada geograficamente pelas coordenadas 23°17'34"S e 51°10'24"O. Londrina apresenta clima subtropical úmido do tipo Cfa (verões com temperaturas superiores a 22°C e invernos com temperaturas inferiores a 18°C) de acordo com a classificação de Köppen.

Quatro filtros foram projetados em reservatórios cilíndricos em polietileno (PEAD) em dois tamanhos distintos: (i) um leito com capacidade total de 1 m³ e (ii) três leitos de capacidade de 0,5 m³. O design do sistema consiste em um leito de primeiro estágio (L₁), em série com três leitos do segundo estágio operados em paralelo (L₂, L₃ e L₄).

O sistema WCs em escala piloto foi operado automaticamente, com uma bomba centrífuga com uma vazão nominal de 1,5 m³.h⁻¹ interligada a um sistema elétrico automático responsável por enviar o esgoto bruto da caixa distribuidora de fluxo da entrada da ETE ao sistema de tratamento de primeiro estágio.

O ciclo de operação foi dividido entre períodos de alimentação de esgotos correspondente a quatro dias consecutivos e períodos de descanso de três dias. Nos dias de alimentação, o sistema recebeu uma vazão aplicada de 0,48 m³.d⁻¹ distribuída por 8 pulsos diários, com duração de três minutos, resultando em uma carga hidráulica de 272 mm.d⁻¹.

As unidades experimentais do segundo estágio foram projetadas a fim de investigar a influência do meio suporte no desempenho da remoção de fósforo. Deste modo, L₂, L₃ e L₄ diferenciam-se da seguinte forma: L₂ contém areia como substrato, L₃ contém granulado cerâmico e por fim L₄ escória granulada de fundição. O detalhamento do meio suporte de cada unidade experimental estudada são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características do meio suporte

	Preenchimento do meio suporte		
	Superior (0,30 m)	Transição (0,10 m)	Drenagem (0,20 m)
L ₁	Brita 0 (4,8 - 9,5 mm)	Brita 2 (19 - 25 mm)	Brita 3 (25 - 50 mm)
L ₂	Areia (0,3 mm)		
L ₃	Cerâmico (3,0 mm)	Brita 0 (4,8 - 9,5 mm)	Brita 2 (19 - 25 mm)
L ₄	Escória (3,0 mm)		

Os materiais selecionados para compor os maciços filtrantes foram estrategicamente definidos a partir de estudos iniciais com azul de metileno visando promover processos de adsorção. Assim, foram selecionados a escória de fundição de ferro e aço e granulado cerâmico, que são apontados como materiais com alta afinidade para ligação com fósforo (BARCA et al., 2014; LIMA et al., 2018). Estes materiais possuem grande afinidade química com o fósforo e asseguram retenção deste nutriente em WCs.

Sobre a superfície dos leitos foram distribuídas mudas a espécie vegetativa *Spathiphyllum wallisi*. O afluente e os efluentes foram analisados e monitorados semanalmente, a amostragem ocorreu na entrada de L₁ (após tratamento preliminar) e na saída de cada um dos leitos (L₁, L₂, L₃ e L₄). Seguindo as recomendações de Apha (2005), todas as amostras foram analisadas quanto ao parâmetro fósforo total (P_{total}).

Os resultados experimentais foram analisados estatisticamente utilizando os *softwares* Microsoft Office Excel 2010[®] e BioEstat[®] versão 5.0. Todo o conjunto de dados foi descrito e sintetizado a partir de uma estatística descritiva, a qual se obteve valores de mínimo, máximo, média aritmética e erro médio. A diferença entre os meios suportes adotados e a análise de significância entre as concentrações registradas foram avaliados por testes de análise de variância (ANOVA) e Tukey. A análise estatística foi realizada com um nível de confiança de 95%.

RESULTADOS

Na Tabela 2 estão descritos alguns resultados relativos à estatística descritiva do parâmetro fósforo total para o afluente e efluentes do sistema WCs.

Tabela 2. Concentração de fósforo total no afluente ao sistema WCs e nos efluentes gerados (n = 8)

		Concentração (mg.l ⁻¹)			Eficiência de remoção (%)
		Máx	Méd	Mín	
	Afluente	5,9	4,3 ± 0,5	2,4	-
Estágio 1	L ₁	5,3	5,3 ± 0,4	1,0	38,1 ± 8,1
	L ₂	3,5	2,2 ± 0,2	1,2	30,0 ± 7,1
Estágio 2	L ₃	3,3	2,3 ± 0,2	1,2	31,9 ± 4,9
	L ₄	2,1	1,0 ± 0,2	0,3	65,9 ± 9,7

A Figura 1 é a representação gráfica na forma de série temporal das concentrações dos efluentes gerados pelo sistema WCs para Ptotal.

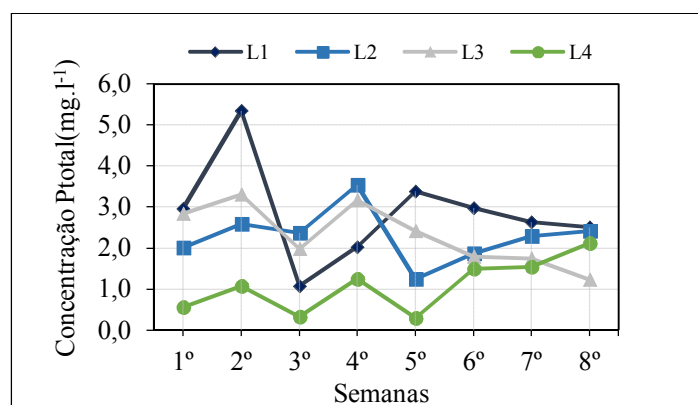


Figura 1: Série temporal das concentrações de Ptotal nos efluentes gerados pelo sistema WCs

É possível observar pela série temporal (Figura 1) que ao longo das oito primeiras semanas de operação e monitoramento, as concentrações de fósforo no afluente variaram de 2,4 mg.l⁻¹ a 5,9 mg.l⁻¹. A unidade experimental em escala piloto reduziu consistentemente as concentrações de Ptotal para menos de 0,5 mg.l⁻¹. O teste estatístico empregado revelou uma diferença estatisticamente significativa entre as concentrações identificadas para L₁, L₂ e L₃, em comparação a L₄.

Sabe-se que as potenciais formas de remoção sustentável de fósforo nos WCs são os mecanismos de adsorção e precipitação junto ao meio suporte e que a efetividade destes é, especialmente, controlada pelas propriedades físicas e químicas do meio, tais como área superficial específica adsorptiva e presença de íons minerais (cálcio, ferro e alumínio) (YU et al., 2015; XU et al., 2019).

Na avaliação feita nas semanas três e quatro foram observadas maiores concentrações no efluente produzido por L₁, quando comparado ao afluente, o que provavelmente ocorreu devido à dessorção do fósforo (P) retido no leito contendo cascalho. Isto pode ter ocorrido devido às aplicações intermitentes de esgoto e na quebra da ligação de P com meio adotado (VYMAZAL, 2007). Entretanto, com avançar do tempo, este cenário não voltou a se repetir.

É bem conhecido que a utilização de meio suporte a base de cascalho e areia em sistemas WCs estão diretamente correlacionadas a situações adversas, tais como baixo desempenho da unidade de tratamento quanto à remoção de P, especificamente devido aos baixos teores de compostos com capacidade de troca catiônica em sua estrutura (SEZERINO et al., 2007; WANG et al., 2013), o que poderia justificar as baixas taxas de eliminação tanto para o cascalho como para a areia (38,1 ± 8,1 L₁ e 30,0 ± 7,1 L₂).

O potencial de remoção de P em WCs também foi avaliado por Nandakumar et al. (2019), a eliminação variou em intervalo de 55,2% a 85,6%, para um leito cultivado com *Brachiaria* e meio suporte a base de cascalho e areia. Tendo como base o bom comportamento da unidade avaliada pelos autores, é pertinente enfatizar que a vegetação enraizada

também tem papel considerável na assimilação e no armazenamento de P, fato que ainda inexistente no sistema e não é objeto deste trabalho. Nos WCs operados notou-se um desenvolvimento de reduzido porte das macrófitas escolhidas.

Quanto aos leitos estudados, às condições proporcionadas pelo meio à base de granulado cerâmico não foram muito favoráveis à adsorção até o momento considerado, em apenas um ponto de amostragem, L₃ proporcionou maior percentual de remoção de P_{total} maior que os demais leitos analisados. Apesar de não ter apresentado resultado estatisticamente diferente neste estudo, autores como Lima et al. (2018), ao investigar a viabilidade do uso substratos de baixo custo em WCs de escoamento vertical, ressaltaram que o uso de tijolos de cerâmica vermelha, material de composição semelhante ao granulado empregado, é capaz de potencializar a remoção de P_{total}.

O desempenho de remoção obtido por Lima et al. (2018) variou entre 79 a 87%, para uma unidade não vegetada e 82 a 97%, para unidade vegetada. Desempenho que se manteve estável ao longo ao período experimental de 296 dias. Esses autores atribuíram à adsorção de fósforo como meio de remoção de fósforo do efluente mais relevante, no entanto enfatizaram que a *E. crassipes* contribuiu com aproximadamente 4 a 26% da remoção total.

É visível o desempenho superior de L₄, que foi preenchido com escória granulada de fundição. O seu efluente apresenta concentração média de $1,0 \pm 0,2 \text{ mg.l}^{-1}$ e eficiência de remoção de $65,9 \pm 9,7 \%$. Pela comparação entre os dados pareados, pode se inferir que as particularidades do meio suporte refletiram satisfatoriamente na adsorção e consecutiva remoção de P_{total} nesse leito de tratamento.

A escória granulada de fundição de ferro e aço é subproduto poroso da indústria siderúrgica. Estudos atestam que este produto residual pode servir como meio suporte em WCs em substituição a outros materiais. Sua composição química, a maior parte constituída por óxidos, como Al₂O₃, MgO, CaO, FeO, Fe₂O₃ e SiO₂; propiciam forte afinidade com P e por consequência, possui grande potencial para ser utilizado em WCs (XU et al., 2019).

Possivelmente, por essa razão, autores como Saeed et al. (2019), também observaram desempenho superior para WC preenchido com escória, quando comparada a outros meios alternativos. Considerando carga hidráulica aplicada em um intervalo de 507,9 e 457,8 mm.d⁻¹, a porcentagem média de remoção de P_{total} foi de 95,4 e 96,7 %, pela presença dos constituintes Ca, Fe e Al.

Para este estudo, considera-se que a unidade experimental apresentou desempenho satisfatório e em concordância com o estudado por Paing et al. (2015), que ao sintetizar o desempenho de 169 sistemas de 2 estágios em escala real ao longo de 10 anos, evidenciam que a remoção média de P_{total} para essas unidades durante os dois primeiros anos de operação apresentaram um intervalo de eficiência de remoção entre 23 e 47%.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo fornecem informações importantes sobre a ação do meio suporte na remoção de fósforo em *wetlands* construídos. Essas descobertas confirmam que leitos a base de escória granulada de fundição de ferro e aço contribuem efetivamente com os processos de adsorção e precipitação de fósforo, muito provavelmente por efeito de seus constituintes apresentarem forte afinidade de ligação com este nutriente disponível no afluente.

Os resultados também mostram que o efeito de remoção pode ser influenciado por outros fenômenos menos significantes, como assimilação e armazenamento pela cobertura vegetal e estabilização microbiana. Ressalta-se que há a necessidade de prolongar o período de operação e monitoramento para julgar a atuação dos demais meios de eliminação, bem como para investigar possível saturação do meio suporte e decorrente decréscimo gradual do percentual de remoção.

Além disso, a abordagem descentralizada desenvolvida neste estudo demonstrou ser uma solução de engenharia sustentável para o processo de tratamento de esgoto sem tratamento prévio, especialmente para aglomerados individuais ou de baixa densidade populacional desassociados dos serviços locais de saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BALLANTINE, D. J.; TANNER, C. C. Substrate and filter materials to enhance phosphorus removal in constructed wetlands treating diffuse farm runoff: a review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 53, n. 1, p. 71-95, 2010.
2. GAO, Y. et al. Photovoltaic electrolysis improves nitrogen and phosphorus removals of biochar-amended constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 138, p. 71-78, 2019.

3. LI, H. et al. Performance study of vertical flow constructed wetlands for phosphorus removal with water quenched slag as a substrate. **Ecological Engineering**, v. 53, p. 39-45, 2013.
4. LIMA, M. X. Performance of different substrates in constructed wetlands planted with *E. crassipes* treating low-strength sewage under subtropical conditions. **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 1365-1373, 2018.
5. NANDAKUMAR, S. et al. Removal of phosphorous and nitrogen from wastewater in *Brachiaria* based constructed wetland. **Chemosphere**, v. 233, p. 216-222, 2019.
6. PANT, H. K; REDDY, K. R; LEMON, E. Phosphorus retention capacity of root bed media of sub-surface flow constructed wetlands, **Ecological Engineering**, v. 17, p. 345-355, 2001.
7. SAEED, T. et al. Pollutant removal employing tidal flow constructed wetlands: media and feeding strategies. **Chemical Engineering Journal**, v. 352, n. 15, 2020.
8. SEO, D. C. et al. Phosphorus retention capacity of filter media for estimating the longevity of constructed wetland. **Water Research**, v. 39, p. 2445-2457, 2005.
9. SEZERINO, P. H. Tratamento terciário de efluentes da indústria processadora de aves e suínos – Estudo em colunas de areia. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 1, p. 73-79, 2007.
10. VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Science of the Total Environment**, v. 380, p. 48-65, 2007.
11. WANG, Z. et al. Screening of phosphate-removing substrates for use in constructed wetlands treating swine wastewater. **Ecological Engineering**, v. 54, p. 57-65, 2013.
12. WU, H. et al. Mass balance study on phosphorus removal in constructed wetland microcosms treating polluted river water. **Clean: Soil, Air, Water**, v. 41, n. 9, p. 844-850, 2013.
13. XU, R. et al. Effects of different substrates on nitrogen and phosphorus removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 16229-16238, 2019.
14. YANG, Y. et al. Global development of various emerged substrates utilized in constructed wetlands. **Bioresource Technology**, v. 261, p. 441-452, 2018.
15. YU, G. et al. Spatial variation of phosphorous retention capacity in subsurface flow constructed wetlands: Effect of wetland type and inflow loading. **Plos ONE**, p. 1-15, 2015.