

II-430 - MODELAGEM DE NUTRIENTES EM ALAGADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL TRABALHANDO COM ALTA TAXA HIDRÁULICA DE ACORDO COM A SAZONALIDADE

Mauro Henrique Batalha de Souza⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Viçosa – UFV.

Maria Lúcia Calijuri

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo, área de concentração Geotecnia. Professora Titular, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa- UFV.

Eduardo de Aguiar do Couto

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Civil, área de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa. Doutorando em Engenharia Civil, Engenharia Sanitária e Ambiental - UFV.

Aníbal Santiago

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Doutor em Engenharia Civil, Engenharia Sanitária e Ambiental – UFV.

Gabriel Campos Vieira

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. Mestrando em Saneamento pela Universidade de Brasília (UnB).

Endereço⁽¹⁾: Av. PH Rolfs, s/n – Campus Universitário, DEC/CCE, sala 320 – Viçosa – Minas Gerais - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: +55 (31) 3899-3098. e-mail: maurohbatalha@gmail.com

RESUMO

Alagados construídos de fluxo vertical podem ser utilizados como pós-tratamento para esgoto sanitário, por se tratar de sistema de simples operação e manutenção. Todavia, ainda existem lacunas de informação sobre esses sistemas, sobretudo em países de clima tropical. Diante disso, o estudo objetivou avaliar alagados construídos de fluxo vertical, operados sob alta taxa de aplicação como pós-tratamento de reator UASB, com vistas ao reúso do efluente. O experimento foi realizado em Viçosa, Minas Gerais, de janeiro a setembro de 2011, com coletas semanais. Os alagados construídos operaram com tempo de detenção de 0,42 dias e taxa de aplicação superficial de $1,63 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$. A espécie vegetal utilizada foi Tifton (*Cynodon sp.*). Foram realizadas modelagens de nutrientes (fósforo e nitrogênio), uma vez que alagados verticais são de uso comum para processos terciários, que visam tal remoção. A divisão entre clima chuvoso e não chuvoso foi para avaliar a real influência da precipitação no processo. Após realização da modelagem foi permitido observar valores satisfatórios nas equações, afirmando a influência de outros parâmetros e da precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Alagados construídos verticais, nutrientes, modelagem.

INTRODUÇÃO

Alagados construídos de fluxo vertical (ACV) tem sido utilizados como polimento de efluentes, apresentando bons resultados (Kadlec e Hammer, 1988). Utilizados principalmente após sistemas anaeróbios, uma vez que estes sistemas apresentam boa remoção de sólidos e matéria orgânica, contudo baixas remoções de nutrientes.

Portanto, o estudo dos mecanismos de remoção de nutrientes são de grande importância, principalmente por tais meios ainda não estarem completamente elucidados, principalmente, pois são inúmeras variáveis que podem influenciar em tais remoções, como a espécie de macrófita utilizada, tempo de detenção hidráulica (TDH) e o clima onde o alagado está construído (Sarmiento (2010); Calijuri et al. (2009)).

Nesse contexto, a modelagem de nutrientes é de grande valia, uma vez que, segundo Lindim et al. (2011), a modelagem matemática como ferramenta complementar é um grande instrumento para gestão dos recursos

hídricos, tanto para correto diagnóstico de problemas quanto a posterior desenvolvimento de estratégias de resolução.

Neste sentido, o trabalho teve como objetivo a modelagem de nitrogênio amoniacal e fósforo total em alagados verticais operados sob alta taxa de aplicação como pós-tratamento de reator anaeróbio, com o intuito de identificar os principais responsáveis pela remoção de nutrientes em tais alagados.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Unidade Experimental de Tratamento de Esgotos e Utilização de Efluentes da Violeira, em Viçosa, Minas Gerais (latitude: 20°45'14''S, longitude: 42°52'53''W, altitude: 650m), de janeiro a setembro de 2011, com coletas semanais, totalizando 34 campanhas de amostragens.

Foi utilizado efluente de reator UASB em escala real com vazão média de 115m³d⁻¹, volume de 48 m³, altura de 5,70m e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 7h. Esse efluente seguia para dois ACVs que funcionavam como repetição.

Os ACV's consistiam em tanques cilíndricos de plástico, com diâmetro de 0,57m e altura de 0,76m. Foram utilizados dois tanques, que foram preenchidos com uma mescla de brita n° 0 (D=9,5 mm) e 1 (D=19,0 mm), até a altura de 0,57 m. Foram plantadas mudas de Tifton (Cynodon sp.). A taxa de aplicação superficial foi de 1,63 ± 0,57 m³.m-2.d-1. Diversos estudos utilizaram taxas de aplicação inferiores, não ultrapassando 0,90 m³.m-2.d-1 (Kantawanichkul et al. (2009); Dan et al., 2011; Chang et al. (2012)), justificando o uso do termo alagados construídos de alta taxa para o presente estudo.

As amostras foram coletadas no reservatório de alimentação do alagado vertical e próximas ao dispositivo de saída de efluente do mesmo, de forma composta, das 8 às 16 horas, com intervalo de duas horas para cada coleta. Paralelamente às coletas foram realizadas amostras de oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica. As análises foram feitas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Após coleta de dados foram feitas análises estatísticas de Correlação de Pearson, regressão múltipla linear no software Sigma Plot v.11 e Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) de acordo com Silva et al. (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados (média e desvio padrão) obtidos para nutrientes em suas diversas formas no afluente e no efluente dos alagados construídos, assim como a remoção alcançada.

Tabela 1. Nutrientes no afluente, efluente e remoção

Parâmetro	Afluente		Efluente		Remoção	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
N-NTK	55	9	48	8	20	9
N-NH ₄ ⁺	43	8	40	5	15	9
N-NO ₃	7.5	6	9.9	8	-49	65
Ptot	6.4	1	6.0	1	10	8

Remoção de nutrientes

De acordo com Borin e Salvato (2010), existem incertezas quanto aos mecanismos de remoção predominantes, pois dependem também de uma série de fatores como espécies utilizadas, configuração do sistema e condições climáticas prevalentes. Essa complexidade de fatores que interferem na eficiência de remoção de nutrientes pode justificar resultados distintos.

Zurita et al. (2009) conseguiram remoções de 72,2% de N-NH₄⁺ e 50% de P_{total}. Vale ressaltar que o afluente do experimento continha valores muito menores de nutrientes, o que faz com que haja um maior valor percentual de remoção.

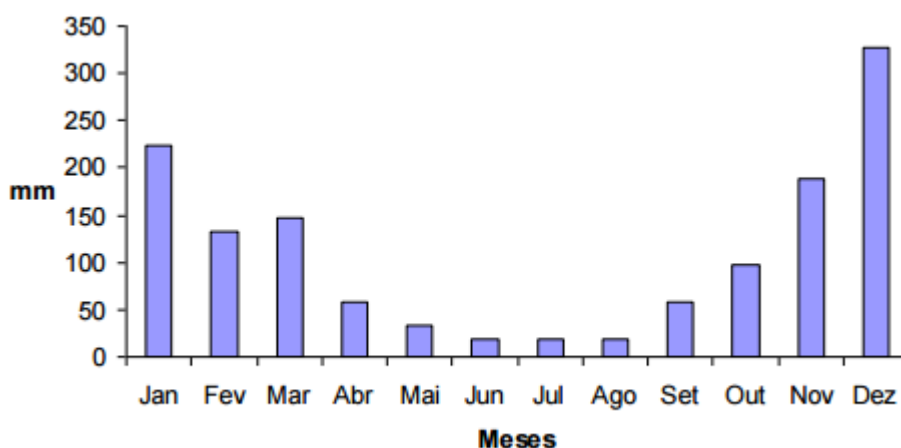
Houve grande nitrificação do efluente, com acréscimo médio de 49%. Białowiec et al.(2011) acreditam que a nitrificação ocorre principalmente ao se depositar camadas com diferentes preenchimentos, sendo maior à medida que se inclui tais camadas. Acreditam ainda que, a nitrificação contribui significativamente para a remoção do nitrogênio amoniacal. Já Sarmento (2010) cita que em alagados verticais ocorrem maiores trocas gasosas com o meio, aumentando a oxigenação do meio e possibilitando maior nitrificação. O último passo do processo de transformação do nitrogênio (desnitrificação) não ocorreu no experimento.

Clima

A Figura 1 representa o gráfico de pluviosidade para Viçosa no ano de 2011 durante os períodos analisados. Pode-se perceber que ela pode ser dividida em dois grupos, um com pluviosidade alta, nos meses de janeiro a abril, e um segundo grupo com a pluviosidade baixa, de maio a setembro.

Portanto, foram feitas duas modelagens, considerando o grupo 1 como período chuvoso e o segundo como período seco, uma vez que alagados construídos são sistemas abertos altamente influenciados pelas condições ambientais (Sarmento, 2010).

Figura 1 . Precipitação mensal média na cidade de Viçosa(MG) fonte: INMET



Modelagem

Foram modelados os seguintes parâmetros: nitrogênio amoniacal e fósforo total, com o intuito de saber o comportamento desses nutrientes nos alagados construídos. A escolha dessas variáveis se deu uma vez que são os dois principais macronutrientes relacionados a eutrofização em corpos hídricos. As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores de correlação de Pearson entre as variáveis modeladas com as demais avaliadas. Os valores destacados em *itálico* representam aquelas cujo p valor foi menor do que 0,05.

Tabela 2. Correlações de Pearson para o período chuvoso

	N-NH₄⁺		Ptot
N-NTK	0.934	N-NH₄⁺	0.973
N-NH₄⁺	0.928	N-NTK	0.957
Ptot	0.865	Ptot	0.898
Turb	0.852	Turb	0.814
Alc	0.731	Alc	0.765
DQO	0.527	DQO	0.486
SST	0.359	OD	-0.484
Nitrato	0.279	Nitrato	0.268
OD	-0.21	SST	0.201
Temp	0.0329	Temp	-0.145
pH	-0.0172	pH	-0.0461

Tabela 3. Correlações de Pearson para o período seco

	N-NH₄⁺		Ptot
NH3	0.721	Ptot	0.83
Ptot	0.707	OD	0.782
N-NTK	0.707	N-NH₄⁺	0.709
N-NO₃	-0.585	N-NTK	0.634
OD	0.564	Temp	0.485
Temp	0.37	N-NO₃	-0.397
DQO	-0.23	Alcalinidade	0.315
Alc	0.178	DQO	-0.233
pH	0.171	Turbidez	-0.196
SST	-0.16	pH	0.107
Turb	0.12	SST	-0.107

A partir das tabelas de correlação, pode-se perceber que nutrientes tem elevados valores, principalmente devido as macrófitas os utilizarem de uma forma contínua para crescimento, com uma mesma relação. Alcalinidade tende a ter um maior valor do que o pH devido a este último ser uma variável logarítmica, enquanto a primeira não, portanto, em uma pequena variação de pH há uma variação maior de alcalinidade. A temperatura obteve menores valores no período chuvoso do que no seco, pois este ocorre maior variação da mesma. Maiores valores de correlação de OD ocorreram no período seco, devido a menor influência de outros fatores, principalmente a precipitação.

A partir destes dados foram realizadas regressões múltiplas lineares, com o intuito de descrever o comportamento dos nutrientes com variáveis previamente selecionadas sendo as que obtiveram maiores correlações de Pearson. Vale ressaltar que todas regressões obtiveram p valor significativo a 1%. As tabelas 4 e 5 representam cada regressão.

Tabela 4. Regressões para o período chuvoso

$N-NH_4^+ = 10.134 + (3.631 * P_{tot}) + (4.286 * OD)$ R^2 ajust = 0.665				
Parâmetros	Coefficientes	Desvio	t valor	Probabilidade
Constant	10.134	4.505	2.249	0.032
P_{tot}	3.631	0.717	5.065	<0.001
OD	4.286	1.003	4.275	<0.001
$P_{tot} = 0.569 - (0.0243 * N-NTK) + (1.035 * P_{tot})$ R^2 ajust = 0.675				
Parâmetros	Coefficientes	Desvio	t valor	Probabilidade
Constant	0.569	1.215	0.468	0.643m
N-NTK	-0.0243	0.0334	-0.727	0.473
P_{tot}	1.035	0.190	5.451	<0.001

Tabela 5. Regressões para o período seco

$N-NH_4^+ = -4.472 + (0.879 * N-NH_4^+) + (0.470 * OD)$ R^2 ajust = 0.849				
Parâmetros	Coefficientes	Desvio	t valor	Probabilidade
Constant	-4.472	4.124	-1.084	0.287
$N-NH_4^+$	0.879	0.0753	11.677	<0.001
OD	0.470	0.838	0.561	0.579
$P_{tot} = -0.314 + (0.0969 * P_{tot}) + (0.117 * N-NH_4^+)$ R^2 ajust = 0.944				
Parâmetros	Coefficientes	Desvio	t valor	Probabilidade
Constant	-0.314	0.222	-1.416	0.167
P_{tot}	0.0969	0.104	0.937	0.356
$N-NH_4^+$	0.117	0.0129	9.125	<0.001

A partir das figuras e equações pode-se perceber que os parâmetros de maior correlação foram os mesmos para ambos os períodos para o nitrogênio e diferentes para o fósforo, provavelmente devido a interferência de fatores climáticos.

Percebe-se ainda, clara correlação positiva entre as diferentes formas de nitrogênio e fósforo, pois tanto microrganismos quanto as macrófitas necessitam de ambos para seu desenvolvimento, sempre numa relação da quantidade necessário de nitrogênio para de fósforo, tal relação variando conforme o crescimento da macrófita.

A Tabela 6 apresenta os valores encontrados de COE para ambos os períodos, onde foram encontrados valores bons para o período chuvoso e aceitáveis para o seco segundo Silva et al. (2008). Isso indica que possivelmente os parâmetros tidos como independentes nas regressões, de fato interferem na dinâmica dos nutrientes em alagados construídos de fluxo vertical trabalhando com alta taxa de aplicação.

Tabela 6. Valores de COE dos modelos ajustados

COE dos modelos		
	$N-NH_4^+$	Pt
Chuvoso	0,886	0,944
Seco	0,685	0,694

CONCLUSÃO

A partir da modelagem dos nutrientes e seus respectivos COEs, pode-se perceber que a dinâmica de nutrientes é fortemente relacionada pela quantidade de nutrientes no afluente e pela troca de gases realizada nos alagados.

Além do mais a significativa diferença entre os modelos mostra indiretamente a influência climatológica, podendo alterar os mecanismos sazonalmente. Com base em tais resultados, deve ser ressaltado o conhecimento prévio da concentração de nutrientes no afluente dos alagados e caracterização do microclima local, que irão influenciar diretamente no dimensionamento dos alagados construídos de fluxo vertical.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21.ed. Washington DC: APHA, 2005.
2. Białowiec, A.; Janczukowicz, W.; Randerson, P. F., 2011. Nitrogen removal from wastewater in vertical flow constructed wetlands containing LWA/gravel layers and reed vegetation. *Ecol. Eng.* 37 (6), 897–902
3. Calijuri, M. L.; Bastos, R. K. X.; Magalhães, T. B.; Capelete, B. C.; Dias, E. H. O. Domestic wastewater treatment in UASB-horizontal flow constructed wetlands systems: organic matter, solids, nutrients and coliforms removal. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.14, 3. pp. 421 – 430. 2009.
4. Chang, J; Wu, S.; Dai, Y.; Liang, W.; Wu, Z. Treatment performance of integrated vertical-flow constructed wetland plots for domestic wastewater. *Ecological Engineering*, 44, pp. 152-159. 2012.
5. Dan, T.H., Quang, L.N., Chiem, N.H., Brix, H. Treatment of high-strength wastewater in tropical constructed wetlands planted with *Sesbania sesban*: Horizontal subsurface low versus vertical downflow. *Ecological Engineering*, 37, pp. 711-720. 2011.
6. Kadlec, R. H. and Hammer, D. E., 1988. Modeling nutrient behavior in Wetlands. *Ecol. Modell.*, 40:37-66
7. Kantawanichkul, S., Kladprasert, S., Brix, H. Treatment of high-strength wastewater in tropical vertical flow constructed wetlands planted with *Typha angustifolia* and *Cyperus involucratus*. *Ecological Engineering*, 35, pp. 238-247. 2009.
8. Lindim, C.; Pinho, J. L.; Vieira, J. M. P. Analysis of spatial and temporal patterns in a large reservoir using water quality and hydrodynamic modeling. *Ecological Modelling*, v.222, n.14, p. 2485-2494, 2011
9. Salvato M. and Borin M., 2010. Effect of different macrophytes in abating nitrogen from a synthetic wastewater. *Ecol. Engin.*, 36, 1222-1231
10. Sarmiento, A. P., Remoção de poluentes em sistemas alagados construídos de escoamento vertical cultivados com diferentes espécies vegetais. 2010. 83p. 47 Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
11. Silva P.M.O.; Mello, C.R.; Silva, A.M. & Coelho, G. Modelagem da hidrografia de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 12:258-265, 2008
12. Zurita, F.; De Anda, J.; Belmont, M.A. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, v.35, n.5, p.861-869. 2009.