

COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DE UM WETLAND CONSTRUÍDO COM UM PRÉ-TRATAMENTO ALTERNATIVO POR EVAPOTRANSPIRAÇÃO

*Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho¹; Priscila de Moraes Lima² *; Paula Loureiro Paulo³*

Resumo - Os *wetlands* construídos são sistemas naturais para o tratamento domiciliar de água cinza, e necessitam de um pré-tratamento, geralmente tanques sépticos ou de sedimentação para diminuir a colmatagem. O estudo propõe o uso de uma nova configuração, adotando como pré-tratamento a combinação do processo anaeróbico (Câmara de Digestão Anaeróbia - CDig) e a evapotranspiração (CEvap) em uma única unidade, seguido por um *wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial (CW-FHS). A combinação CEvap + CW-FHS, denominado EvapAC visa diminuir aspectos de operação e manutenção desses sistemas, com o intuito de eliminar o tanque séptico ou tanque de sedimentação, evitando ou diminuindo entupimentos e odores e melhorando a harmonia paisagística dos domicílios. Neste trabalho foi avaliado o comportamento hidrodinâmico do sistema em escala real por meio do método de estímulo-resposta utilizando o NaCl como traçador. O EvapAC apresentou excelente valor de eficiência hidráulica, entretanto, o valor da eficiência volumétrica indicou atraso na saída do traçador, devido a curto-circuito e recirculação interna, semelhante à reatores UASB. A presença de plantas pode melhorar o índice de curto-circuito, promovendo uma melhor condição de mistura.

Abstract – The constructed wetlands are natural systems for the household greywater treatment and requires a pretreatment, usually septic tanks or sedimentation tanks to reduce clogging. The study proposes the use of a new configuration, adopting as a pretreatment the combination of the anaerobic process (anaerobic chamber – AnC) and the evapotranspiration chamber (CEvap) into a single unit, followed by a subsurface horizontal flow constructed wetland (SHF-CW). The combination CEvap + SHF-CW, called EvapAC aims to reduce the operation and maintenance aspects of these systems, in order to eliminate the septic tank or the sedimentation tank, avoiding or reducing blockages and odors and improving the landscape harmony of households. In this work was measured the hydrodynamic behavior of the system in full scale through stimulus-response using NaCl as tracer. The EvapAC presented great hydraulic efficiency value, however, the volumetric efficiency value indicated delay in the output of the tracer due to short-circuit and internal recirculation, similar to uasb reactor. The presence of plants can improve the short-circuit index, promoting a better condition of mixing.

Palavras-chave: Teste com traçadores, hidráulica, ecosan.

¹ Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS); Professor/Pesquisador pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) CEP: 79.070-900, Campo Grande - MS. E-mail: fernandojcmf@hotmail.com

² Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB); Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), CEP: 79.117-900, Campo Grande – MS. E-mail: pri.lima.91@gmail.com.

³ Engenheira Química. Doutora em Ciências Ambientais pela Universidade de Wageningen, Holanda. Professora Adjunta da UFMS, CEP: 79.070-900, Campo Grande - MS. E-mail: ppaulo.ufms@gmail.com.

INTRODUÇÃO

O fato de *wetlands* construídos (CWs) combinarem uma boa capacidade de tratamento, com flexibilidade ao receberem altas cargas, comum em domicílios, vazões baixas e altas inconstantes, sem grandes necessidades operacionais ou consumo de energia e simplicidade técnica (Platzer, 2007), torna os CWs uma alternativa ecológica para o tratamento descentralizado de água cinza (Paulo *et al.*, 2009).

Paulo *et al* (2013) utilizaram um sistema híbrido de *wetlands* construídos (fluxo horizontal seguido por fluxo vertical), para tratar água cinza, e observaram que o pré-tratamento adotado (caixa de gordura para fração da pia da cozinha, seguido por um tanque de sedimentação) não era suficiente para reter a gordura e o excesso de sólidos provindos da pia da cozinha, implicando em manutenção constante. Porém quando retirada essa fração, tratando apenas água cinza clara, diminuiu consideravelmente a manutenção do sistema, sendo necessário apenas o tanque de sedimentação.

Devido aos inconvenientes que a colmatção pode causar nos CWs há necessidade de estudos que visam avaliar, compreender e prevenir o desenvolvimento do processo de entupimentos nesses filtros (Tanner *et al.*, 1998; Rousseau *et al.*, 2005; Knowles *et al.*, 2010). A colmatção diminui o tempo de vida desses sistemas e pode causar efeitos negativos na eficiência do tratamento (Caselles-Osório *et al.*, 2007) pela obstrução do meio filtrante, criando fluxos preferenciais, curto-circuito e odores (Blazejewski e Murat-Blazejewska, 1997; Platzer e Mauch, 1997).

Um método conveniente e amplamente utilizado é o uso de sal como traçador para estudos de hidrodinâmica em CWs (Chazarenc *et al.*, 2003; Kadlec e Wallace, 2008). Os resultados dos testes com traçadores fornecem dados como: a distribuição do tempo de residência real (DTR), que representa o tempo em que fluido atravessa o filtro, e permite avaliar a presença de zonas mortas, curtos-circuitos e recirculação interna do fluido (Levenspiel, 2000; Metcalf e Eddy, 2003; Kadlec e Wallace 2008). Os testes com traçadores podem ser analisados também com a condutividade hidráulica *in loco* para mensurar, modelar e investigar o efeito da colmatção pelo acúmulo de sólidos, crescimento do biofilme e a contribuição da vegetação nesse processo (Knowles *et al.*, 2010; Knowles *et al.*, 2011; Nivala *et al.*, 2012).

O sistema EvapAC é baseado na combinação da Câmara de Evapotranspiração (CEvap), utilizada como pré-tratamento, com o *wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial (CW-FHS), formando um sistema único e compacto para tratamento e reúso de água cinza em residências. Esse sistema visa eliminar o pré-tratamento de CW-FHS que de acordo com Álvarez *et al.*, (2008) geralmente é utilizado a fossa séptica (tanque séptico) ou o tanque de sedimentação que causam problemas de odor e a necessidade de manutenção excessiva (Paulo *et al.*, 2013).

A (CEvap), possui uma Câmara de Digestão Anaeróbia (CDig) no fundo, por onde entra o efluente doméstico, que irá digerir a matéria orgânica, e posteriormente o efluente extravasa para um meio filtrante com o fluxo ascendente até chegar ao CW-FHS. Essa nova configuração tende a melhorar a harmonia paisagística dos domicílios, o que pode levar a uma maior aceitação por parte da população dessa tecnologia (Magalhães Filho *et al.*, 2013).

O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento hidrodinâmico do sistema proposto, por meio do ensaio com traçador (NaCl) para encontrar a curva DTR, e por meio de indicadores como a eficiência volumétrica e hidráulica, considerar o efeito da CDig e o meio filtrante no comportamento do sistema.

METODOLOGIA

Descrição do sistema EvapAC em escala real

Em escala real (Figura 1), as dimensões da CEvap e do CW-FHS eram: 2,00 m de comprimento e 1,00 m de largura, altura útil da CEvap de 80 cm, com 60 cm de diâmetro a CDig (565 L), com Brita nº4 (diâmetro de 32 mm à 150 mm) ao redor e 10 cm acima da CDig, Brita nº2 (10 cm) na camada intermediária e solo na camada do topo do sistema (30 cm).

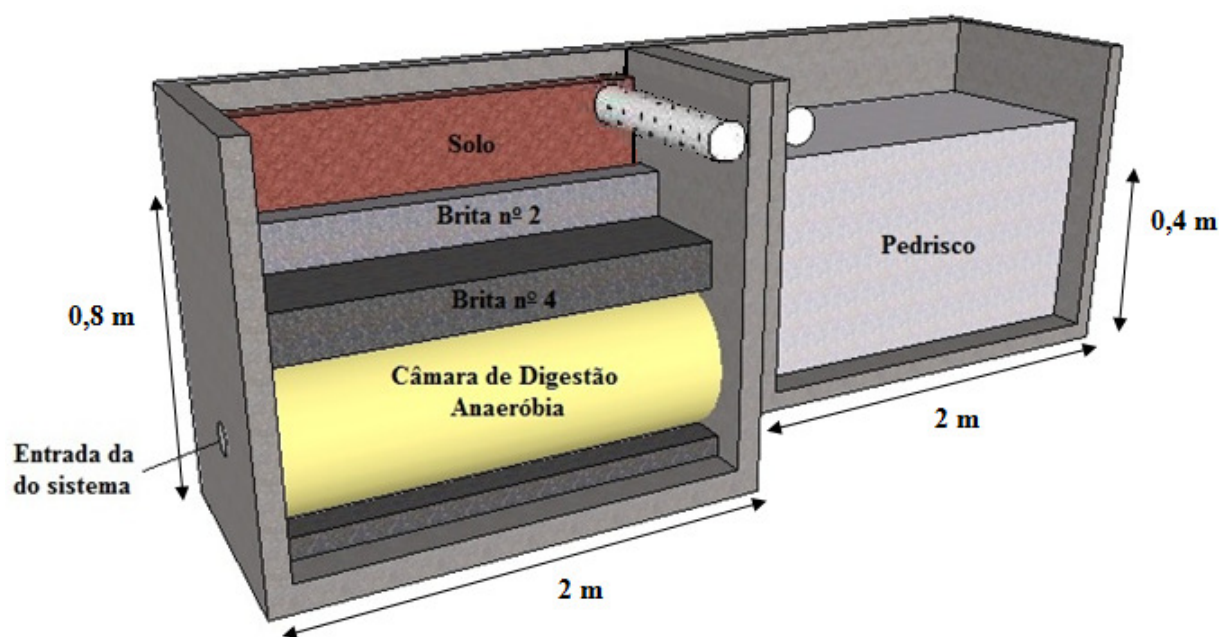


Figura 1 - Perfil do sistema EvapAC em escala real.

O CW-FHS tinha altura útil de 40 cm, com uma camada única de pedrisco (50 cm). As características granulométricas da Brita nº 2 na CEvap são: $k=0.46$; $d_{10}=20$ mm; $d_{30}=17$ mm; $d_{60}=12$ mm, e do pedrisco no CW-FHS: $k=0.48$; $d_{10}=13$ mm; $d_{30}=11$ mm; $d_{60}=10$ mm. Entretanto para o ensaio hidrodinâmico o sistema não possuía plantas.

Ensaio hidrodinâmico: teste com traçador

O estudo hidrodinâmico foi realizado pela técnica estímulo-resposta, utilizando o traçador Cloreto de Sódio (NaCl), visto a sua facilidade de obtenção e monitoramento com um condutivímetro (Hanna, HI 2300, Portugal), relacionando condutividade elétrica com a concentração de NaCl. A concentração da solução do traçador foi de 100 g NaCl.L⁻¹.

Nos ensaios hidrodinâmicos com traçador, tanto no teste inicial como no final, foi utilizado água potável após a injeção do traçador em pulso, com a vazão de 8.5 L.min⁻¹. Com recuperação de 90% da massa de traçador para todos os testes em função do cálculo do Índice de Dispersão de Morril.

Pelo método estímulo-resposta com traçador é possível obter a curva de distribuição do tempo de residência (DTR) e a partir da mesma podem ser utilizadas variáveis para o cálculo de alguns índices e analisar o desempenho hidráulico. Metcalf e Eddy (2003) destacam alguns desses índices:

- **TDH**: tempo de detenção hidráulico nominal (volume/vazão); **Ti**: tempo no qual o traçador começa a aparecer; **Tp**: tempo no qual a concentração de pico do traçador é observada; **Tm**: tempo médio de residência; **T10**: tempo no qual 10 % do traçador já passaram pela unidade (tempo que representa 10% da área sob a curva de percentuais acumulados); **T90**: tempo no qual 90% do traçador já passaram pela unidade (tempo que representa 90% da área sob a curva de percentuais acumulados).
- **IDM**: índice de dispersão de Morril (deve ser 1 para sistema pistonado ideal e por volta de 22 para sistema de mistura completa, calculado como: T90/T10); **ICC**: índice de curto-circuito (para sistema com comportamento pistonado ideal, a razão é 1 e aproximadamente 0 para sistema com comportamento de mistura completa, calculado como: Ti/TDH); **ITMR**: índice de tempo modal de retenção (a relação se aproximará de 1 para comportamento pistonado e de 0 para comportamento de mistura completa, o valor da razão maior ou menor que 1 indica que a distribuição não está uniforme, calculado como: Tp/TDH) ; **ITRM**: índice do tempo de retenção médio (o valor 1 indica que foi feito uso integral do volume do sistema, o valor da razão maior ou menor que 1 indica a existência de curtos-circuitos e zonas mortas, calculado como: Tm/TDH); e eficiência hidráulica (λ) (pode ser determinado pela equação $\lambda = t_p / TDH$, onde t_p é o tempo de pico do traçador, em horas).

Por meio dos dados da curva de distribuição do tempo de residência (DTR) de acordo com (Levenspiel, 2000), foi analisado o IDM: índice de dispersão de Morril; ICC: índice de curto-circuito; ITRM ou e_v : índice do tempo de retenção médio ou eficiência volumétrica (Thackston *et al.*, 1987; Metcalf & Eddy, 2003); e eficiência hidráulica (λ) (Persson *et al.*, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Valores de eficiência hidráulica (λ) próximos à 1 indicam uma distribuição uniforme do fluxo no sistema e tendência ao fluxo pistonado (Metcalf e Eddy, 2003; Cota *et al.*, 2011). O valor da

eficiência hidráulica para o EvapAC em escala real, foi de 0.95 (Tabela 1), segundo Persson *et al.*, (1999), valores de λ acima de 0.70 indicam uma boa eficiência hidráulica.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados para avaliação hidráulica do sistema em escala real sem a presença de plantas em uma residência.

Unidades	λ	e_v	IDM	ICC
EvapAC escala real (teste inicial)	0.95	2.42	14.10	0.75

^a λ : t_p/TDH ; ^b e_v : t_m/TDH ; ^cIDM: t_{90}/t_{10} ; ^dICC: t_i/TDH .

Valores de IDM próximo à 1 indicam fluxo pistão, valores próximos à 22 indicam o regime de mistura completa (Metcalf e Eddy, 2003). O IDM em escala real (Tabela 1) tende a mistura completa, com o valor de 14, e bastante próximo do sistema em escala de bancada, desenvolvido e estudado por Magalhães Filho *et al.*, (2013), onde o valor do IDM era 10.

A eficiência volumétrica (e_v) ou ITRM (índice do tempo de retenção médio) indica se o reator foi totalmente utilizado (valor próximo de 1) ou se somente parte dele (Thackston *et al.*, 1987). O valor da e_v do sistema em escala real de 2.42 (Tabela 1) não se assemelha ao sistema em escala de bancada de Magalhães Filho *et al.*, (2013) que foi de 1.48.

A curva DTR (Figura 2) do sistema em escala de bancada quando comparado com escala real é muito semelhante. E ainda assim, os valores são semelhantes aos resultados obtidos por Carvalho *et al.* (2008) em um reator UASB, com atraso na resposta do traçador. Esses resultados indicam a existência de zonas mortas ou adsorção do traçador na biomassa e no meio filtrante, se difundido nestas zonas, sendo liberado aos poucos, o que provoca atraso em sua resposta de saída e gera o fenômeno de cauda longa, além de curtos circuitos hidráulicos, como foi observado na curva DTR (Levenspiel, 2000; Cota *et al.*, 2011).

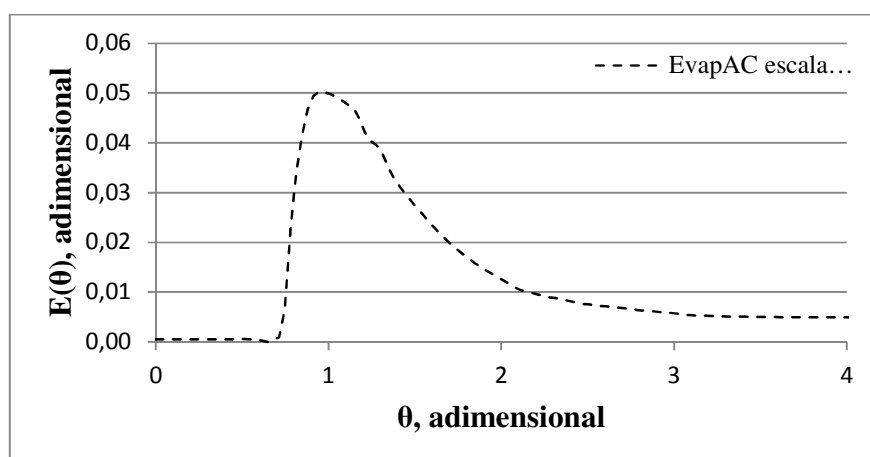


Figura 2 - Curva DTR do sistema EvapAC em escala real.

Com o valor de ICC próximo de 1, o que indica o regime de fluxo pistão, não garante condições de boa mistura do reator. Isso confirma o que foi evidenciado por Magalhães Filho *et al.*, (2013), que quando comparado o sistema com plantas, e sem plantas em escala de bancada, o efeito da vegetação pode garantir valores próximos de 0 para ICC melhorando essas condições em escala real.

CONCLUSÕES

1. O sistema EvapAC apresentou o excelente valor de 1 para λ , indicando boa eficiência hidráulica;
2. Para eficiência volumétrica (e_v) o valor de 2.42 indica atraso na saída do traçador, sendo um indicativo de zonas mortas e/ou curto circuitos hidráulicos devido à recirculação interna;
3. A CDig provavelmente melhora a eficiência hidráulica porém provoca recirculação interna, se comportando como um reator UASB;
4. A presença de plantas pode ser uma solução para melhorar o índice de curto-circuito, e promover melhores condições de mistura no reator.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, J.A.; RUÍZ, I.; SOTO, M. (2008). Anaerobic digesters as a pretreatment for constructed wetlands. *Ecological Engineering* 33, 54–67.
- BLAZEJEWSKI, R.; MURAT-BLAZEJEWSKA, S. (1997). Soil clogging phenomena in constructed wetlands with subsurface flow. *Water Science and Technology* 35 (5), 183–188.
- CARVALHO, K. Q.; SALGADO, M. T. ; PASSIG, F. H. ; PIRES, E. C. (2008). Avaliação Hidrodinâmica de reator UASB submetido à variação cíclica de vazão. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, p. 222-231.
- CASELLES-OSORIO, A.; PUIGAGUT, J.; SEGÚ , E.; VAELLO, N.; GRANES, F.; GARCÍA, D.; GARCÍA, J. (2007). Solids accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. *Water Research* 41, 1388-1398.
- CHAZARENC, F.; MERLIN, G.; GONTHIER, Y. (2003). Hydrodynamics of horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* 21, 165–173.
- COTA, R. S.; VON SPERLING, M.; PENIDO, R. C. S. (2011). Tracer studies and hydraulic behavior of planted and unplanted vertical-flow constructed wetlands. *Water Science and Technology* 64 (5), 1056-1063.
- KADLEC, R.H.; WALLACE, S.D. (2008). *Treatment Wetlands*, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.

KNOWLES, P.R.; GRIFFIN, P.; DAVIES, P.A. (2010). Complementary methods to investigate the development of clogging within a horizontal sub-surface flow tertiary treatment wetland. *Water Research* 44 (1), 320e330.

KNOWLES, P. R.; DOTRO, G.; NIVALA, J.; GARCÍA, J. (2011). Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Ocurrence and contributing factors. *Ecological Engineering* 37, 99-112.

LEVENSPIEL, O. (2000). *Chemical Reaction Engineering*. 3rd edition. John Wiley, 688 pp. ISBN: 047125424X.

MAGALHÃES FILHO, F. J. C. ; SILVA, J. B. ; PAULO, P. L. (2013). Hidrodinâmica de um wetland construído combinado com um sistema por evapotranspiração como pré-tratamento. In: *Anais do I Simpósio Brasileiro da Aplicação de Wetlands Construídos no Tratamento de Águas Residuárias*. Florianópolis: UFSC, v. 1. p. 149-157.

METCALF & EDDY. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th ed. Mc Graw Hill, 1848 p. 2003.

NIVALA, J.; KNOWLES, P.; DOTRO, G.; GARCÍA, J.; WALLACE, S. (2012). Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: measurement, modeling and management. *Water Research* 46, 1625-1640.

PAULO, P. L.; AZEVEDO, C.; BEGOSSO, L; GALBIATI, A. F.; BONCZ, M. A. Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping. *Ecological Engineering*. v. 50, p. 95-100, 2013.

PAULO, P.L.; BEGOSSO, L.; PANSONATO, N.; SHRESTHA, R.R.; BONCZ, M.A. Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. *Water Science & Technology*. 2009.

PERSSON, J., SOMES, N.L.G., WONG, T.H.F. (1999). Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds. *Water Science & Technology* 40 (3), 291–300.

PLATZER, C.; MAUCH, K.. Soil clogging in vertical flow reed beds-mechanisms, parameters, consequences and y solutions? (1997). *Water Science and Technology* 35 (5), 175–181.

PLATZER, C. HOFFMANN, H. CÁRDIA, W. (2007). The wetlands as an Ecosan component – experiences with its use and sizing in subtropical climates. In: *Proceedings of the International conference on sustainable sanitation: Food and water security for Latin America*. Fortaleza-CE, BR. CD-ROM.

ROUSSEAU, D.P.L.; HORTON, D.; VANROLLEGHEM, P.A.; DE PAUW, N. (2005). Impact of operational maintenance on the asset life of storm reed beds. *Water Science and Technology* 51 (9), 243e250.

TANNER, C.C.; SUKIAS, J.P.S.; UPSDELL, M.P. (1998). Organic matter accumulation and maturation of gravel bed constructed wetlands treating dairy farm wastewaters. *Water Research* 32 (10), 3046e3054.

THACKSTON, E. L.; SHIELDS, F. D.; SCHOROEDER, P. R. (1987). Residence time distributions of shallow basins. *Journal of Environmental Engineerin.* vol. 113, n. 2, 219-223.