

A CONTRIBUIÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS ATRAVÉS DE LEITOS DE MACRÓFITAS

EVAPOTRANSPIRATION CONTRIBUTION TO WASTEWATER TREATMENT WITH CONSTRUCTED WETLANDS

Ana Galvão

Professora Auxiliar /// Centro de Estudos de Hidrossistemas, Instituto Superior Técnico /// agalvao@civil.ist.utl.pt

José Matos

Professor Catedrático /// Centro de Estudos de Hidrossistemas, Instituto Superior Técnico /// jsm@civil.ist.utl.pt

RESUMO: O tratamento de águas residuais através de leitos de macrófitas constitui actualmente uma tecnologia reconhecida no domínio do saneamento, com especial ênfase para aplicação a pequenos aglomerados, dadas as reduzidas necessidades de operação e manutenção, reduzidos encargos com energia e reagentes, oferecendo ainda, frequentemente, uma fácil integração paisagística.

Os leitos de macrófitas encontram-se sujeitos às condições atmosféricas do local de implantação, nomeadamente radiação solar e precipitação, as quais podem influenciar de forma significativa o desempenho do leito através do balanço de água ao sistema.

O presente artigo destina-se a analisar o efeito da evapotranspiração numa ETAR de leito de macrófitas localizada na concelho de Odemira, Alentejo.

A análise efectuada compreende a comparação de duas situações possíveis de descarga da ETAR, designadamente admitindo que o caudal descarregado é igual ao caudal afluente ao leito de macrófitas, à semelhança do que aconteceria num sistema de tratamento convencional [situação sem a influência da evapotranspiração] e considerando o caudal efectivamente descarregado, medido à saída do leito de macrófitas [situação com a influência da evapotranspiração].

A apreciação global dos resultados apresentados permite concluir que durante os meses mais quentes a evapotranspiração em leitos de macrófitas pode ser significativa, influenciando deste modo a massa total de poluentes descarregada. Deste modo, os leitos de macrófitas podem contribuir para uma protecção activa dos meios hídricos, através da redução da carga mássica poluente, face a soluções convencionais onde a evapotranspiração não contribui de forma significativa para a redução do caudal.

Palavras-chave: leitos de macrófitas, evapotranspiração, massa poluente descarregada, protecção do meio hídrico.

ABSTRACT: The use of constructed wetlands for wastewater treatment is a technology widely recognized nowadays especially for the sanitation of small agglomerations. The main advantages of constructed wetlands include low operation and maintenance needs, low or null energy and reagents costs and also a good landscape integration.

Constructed wetlands are influenced by meteorological conditions, namely solar radiation and precipitation, which can influence the water balance of the bed. The present paper analyses the impact of evapotranspiration in the treatment capacity of a constructed wetland located in Odemira, in Alentejo region, Portugal. The analysis includes two possible discharge situations: the observed discharge which had an average flow lower than the inflow to the treatment plant due to evapotranspiration losses and a hypothetical discharge considering a null evapotranspiration rate.

The results revealed that during warmer months evapotranspiration rates can be relevant thus influencing the pollutant mass discharged. Constructed wetlands can contribute to an active protection of water bodies by reducing the pollutant mass load discharged when compared with conventional treatment solutions where evapotranspiration losses are not relevant.

Keywords: constructed wetlands, evapotranspiration, pollutant mass discharge, protection of water bodies.

1. INTRODUÇÃO

O recurso a leitos de macrófitas para o tratamento de efluentes apresenta-se, actualmente, como uma tecnologia adequada a pequenos aglomerados, alternativa aos tradicionais sistemas intensivos, de lamas activadas, leitos percoladores ou discos biológicos, entre outros.

A aplicação deste tipo de sistemas é relativamente recente no contexto da evolução global dos sistemas de tratamento de águas residuais, pelo que os estudos existentes e a optimização das potencialidade de tratamento em leitos de macrófitas ainda se encontra numa fase de desenvolvimento significativo.

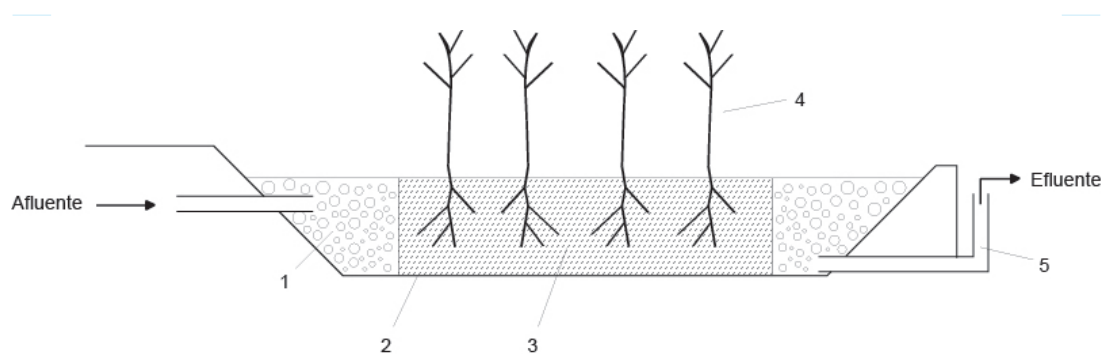
Um leito de macrófitas procura reconstruir as propriedades existentes nos sistemas naturais, sendo constituída por um leito, geralmente impermeabilizado por recurso a argila ou geomembrana para impedir a infiltração no solo, que é posteriormente preenchido com água ou um meio de enchimento poroso. Deste modo, o tratamento de efluentes através de leitos de macrófitas é geralmente classificado em dois grandes tipos, consoante a forma como se processa o escoamento, designadamente (Kadlec *et al.*, 2000):

- Escoamento superficial, em que o efluente escoia através de um leito preenchido com água e plantas aquáticas;
- Escoamento sub-superficial, em que o efluente escoia através de um leito preenchido com

um meio poroso (geralmente gravilha), que apresenta plantas à superfície (macrófitas). Esta classificação subdivide-se ainda em duas variantes: escoamento horizontal ou vertical.

Na Europa, a variante mais frequentemente aplicada diz respeito aos leitos com escoamento sub-superficial horizontal (Vymazal, 2005). Neste tipo de tratamento, o efluente é descarregado numa das extremidades do leito preenchido com um material poroso, percolando ao longo do sistema num movimento predominantemente horizontal. Na Figura 1 apresenta-se um esquema em corte transversal de um leito de macrófitas com escoamento sub-superficial horizontal.

Este tipo de sistema procura reproduzir os processos que ocorrem em sistemas húmidos naturais, com o objectivo de reduzir as concentrações de matéria orgânica (em termos de Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) e Carência Química de Oxigénio (CQO)) e de Sólidos Suspensos Totais (SST), no caso do tratamento secundário de efluentes domésticos. Estes sistemas permitem igualmente a remoção de outros tipos de poluentes, como o azoto e o fósforo (embora com eficiências mais reduzidas), metais diversos (cobre, cádmio, mercúrio) e microrganismos patogénicos. Os principais mecanismos de remoção de poluentes envolvidos incluem fenómenos de sedimentação, precipitação, adsorção, decomposição microbológica e assimilação microbológica (Wallace e Knight, 2006).



Legenda: 1 - zona de distribuição; 2 - membrana impermeável; 3 - meio de suporte; 4 - vegetação; 5 - dispositivo de saída (regulação do nível de água no leito).

Figura 1 – Corte esquemático de um leito de macrófitas com escoamento sub-superficial horizontal (adaptada de Vymazal, 2005).

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em novembro de 2012, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em novembro de 2012. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 33, Nº 2, 53-58, novembro de 2012.
© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh33n2-4

Procurando reproduzir condições naturais, os leitos de macrófitas encontram-se sujeitos às condições atmosféricas do local de implantação, as quais podem influenciar de forma significativa o desempenho do leito através do balanço de água ao sistema. De facto, em leitos de macrófitas, as perdas de água são superiores às de uma lagoa devido à presença de plantas, que contribuem para uma redução da massa de água em resultado da transpiração. Em regiões onde o verão se apresenta quente e seco, a evapotranspiração pode ser responsável por uma redução significativa de caudal neste período, contribuindo para reduzir a massa poluente descarregada.

As Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) com tratamento através de leitos de macrófitas podem assim contribuir, de uma forma sustentável, para uma proteção da qualidade das massas de água. Entre os principais factores que afectam a evapotranspiração incluem-se os climáticos (radiação, humidade relativa, temperatura do ar, entre outros), coberto vegetal e condições ambientais e de gestão da vegetação (Allen *et al.*, 1998).

O trabalho desenvolvido destinou-se a avaliar o potencial de um leito de macrófitas na redução da massa de poluentes descarregada resultante da redução de caudal alcançada. A análise teve por base um balanço de água efectuado a um leito de macrófitas em operação no Alentejo, em Portugal, conjuntamente com análises da qualidade do efluente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da ETAR monitorizada

Em Portugal existem cerca de três centenas de ETAR com tratamento por leito de macrófitas, apresentando a sua maioria um escoamento do tipo sub-superficial horizontal, que constitui a variante mais comum na Europa. No âmbito do presente estudo foi monitorizada uma ETAR de leito de macrófitas localizada no concelho de Odemira, Alentejo, destinada a servir a população de Fataca, com cerca de 80 habitantes residentes. Na Figura 2 apresenta-se uma vista geral da ETAR de Fataca.

A ETAR de Fataca apresenta um esquema de tratamento constituído por uma grade manual, para pré-tratamento (remoção de sólidos grosseiros), seguida de uma fossa séptica, para tratamento primário, terminando num leito de macrófitas de escoamento sub-superficial horizontal para tratamento secundário do efluente. O escoamento no interior da ETAR realiza-se de forma totalmente gravítica, não sendo necessário fornecer energia ao processo de tratamento, através de equipamento electromecânico.

No que respeita ao tipo de caudais afluentes, embora a rede de drenagem tenha sido concebida como



Figura 2 – Vista geral da ETAR de Fataca.

separativa, verifica-se a afluência de caudais pluviais ao sistema, de acordo com informações fornecidas pelo técnico responsável pela manutenção da ETAR. A existência, na prática, de uma rede separativa deficiente traduz-se no aumento de caudal afluente após a ocorrência de precipitação.

O leito de macrófitas instalado na ETAR de Fataca apresenta características típicas da generalidade dos leitos de macrófitas de escoamento horizontal sub-superficial. Os principais aspectos a assinalar incluem a impermeabilização através com uma geomembrana de polietileno de alta densidade, sendo a regulação da altura de água no interior do leito efectuada por meio de uma tubagem invertida com possibilidade de regulação do respectivo comprimento. A distribuição do efluente é efectuada por meio de uma tubagem perfurada existente no interior do leito, localizada a meia altura do enchimento de gravilha mais grosseira que compõe a secção inicial. A área superficial do leito é de 390 m², encontrando-se dimensionado para um caudal médio em ano horizonte de projecto (2018) de 24 m³/dia. O leito encontra-se colonizado por plantas da espécie *Phragmites australis*.

Para medição do caudal afluente e efluente do leito de macrófitas foram instalados medidores de nível ultrasónicos, associados a um descarregador de curva de vazão conhecida, designadamente:

- à saída da fossa séptica foi instalado um medidor ultrasónico, localizado sobre um pequeno canal em PVC que prolonga a tubagem de saída deste órgão, aproveitando a existência de uma queda na câmara que antecede o leito. Este canal termina num descarregador triangular com ângulo de 62°. Estes dispositivos encontram-se ilustrados na Figura 3a);
- na câmara de visita correspondente à saída do efluente do leito foi instalado um medidor ultrasónico de nível, localizado a montante da tubagem de descarga para o emissário final, sobre um descarregador triangular com ângulo de 93°. Estes dispositivos encontram-se ilustrados na Figura 3b).

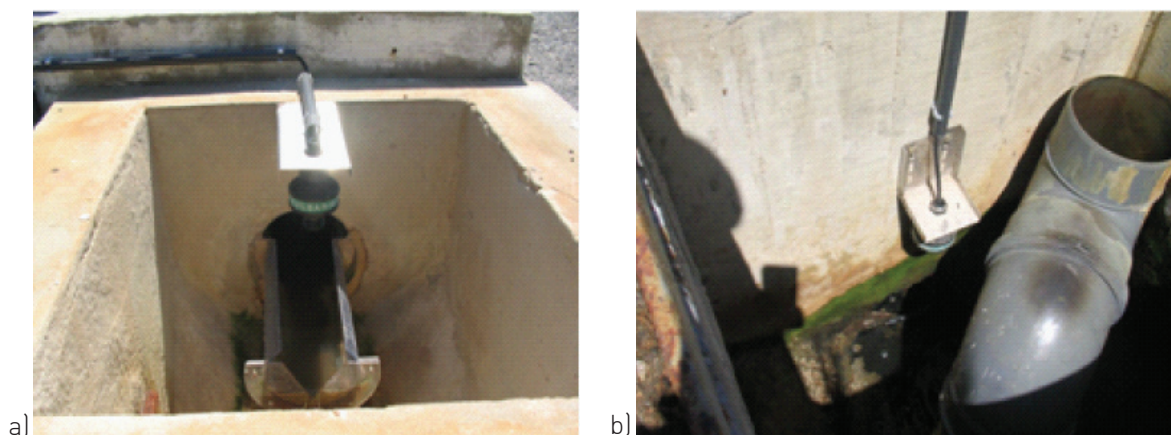


Figura 3 – Medidores de nível ultrassónico na ETAR de Fataca: a) descarga da fossa séptica; b) descarga do leito de macrófitas.

2.2. Campanhas de monitorização

O estudo foi realizado entre Junho e Dezembro de 2007. A monitorização incluiu a recolha semanal de amostras de água pontuais para análise da Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5) a montante e a jusante do leito de macrófitas. A medição de caudal à entrada e à saída do leito foi realizada em intervalos de 5 minutos.

Foram recolhidos registos de precipitação obtidos na Estação Meteorológica de Odemira, pertencente ao INAG, localizada a cerca de 4 km da ETAR.

2.3. Efeito da evapotranspiração

Para analisar o efeito da evapotranspiração para a redução da massa poluente descarregada, em termos da CBO_5 , procedeu-se à comparação de duas situações de descarga da ETAR, designadamente:

- Admitindo que o caudal descarregado, num certo período de tempo, era análogo ao caudal afluente ao leito de macrófitas, à semelhança do que aconteceria aproximadamente num sistema de tratamento convencional;
- Considerando o caudal efectivamente descarregado, resultante também dos efeitos da evapotranspiração, medido à saída do leito de macrófitas.

O cálculo da massa descarregada foi efectuado a partir da concentração da CBO_5 registada em cada campanha e do caudal médio avaliado na semana que a antecedeu, dada a própria capacidade de “encaixe” do sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 apresentam-se os caudais médios mensais registados na ETAR de Fataca, à entrada e à saída do leito de macrófitas.

Durante os meses de Junho a Agosto verificou-se uma redução significativa do caudal descarregado, que atingiu cerca de 58% do caudal médio afluente durante o mês de Julho. Os registos obtidos permitiram ainda identificar diversos períodos em que não teve lugar descarga, durante pelo menos parte do dia. Esta situação pode ser observada na Figura 4, onde se apresenta a variação de caudais afluentes e efluentes do leito de macrófitas correspondente ao mês de Julho, incluindo-se igualmente os registos de precipitação.

O aumento do caudal médio entre a entrada e a saída do leito registado no mês de Dezembro corresponde, na realidade à elevada contribuição pluvial ocorrida naquele mês, sob a forma de precipitação sobre o leito.

Na Figura 5 apresenta-se a evolução da concentração da CBO_5 na ETAR de Fataca.

A análise dos resultados obtidos permite verificar que apesar da variabilidade das concentrações afluentes, o desempenho do leito de macrófitas traduziu-se em concentrações no efluente inferiores a 10 mg/l na maioria das recolhas efectuadas. A eficiência média de remoção da CBO_5 durante o período em que decorreu o estudo foi de 88%, com uma concentração média descarregada de 14 mg/l.

A eficiência obtida encontra-se de acordo com os valores referidos na literatura da especialidade, onde são referidas eficiências de remoção da CBO_5 superiores a 75 % (Karathanasis *et al.*, 2003; Headley *et al.*, 2005; El Hamouri *et al.*, 2007; Vymazal and

Quadro 1 - Caudais médios mensais registados no leito de macrófitas da ETAR de Fataca durante o ano de 2007.

Mês	Q médio (l/s)	
	entrada	saída
Junho	0.057	0.033
Julho	0.08	0.034
Agosto	0.101	0.069
Setembro	0.09	0.09
Outubro	0.057	0.054
Novembro	0.072	0.071
Dezembro	0.068	0.071

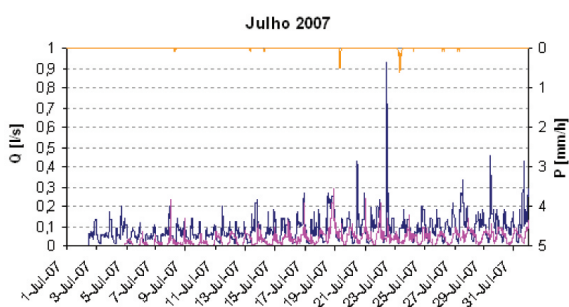


Figura 4 – Caudais afluente (Fe) e efluente (Fs) do leito de macrófitas da ETAR de Fataca e intensidades da precipitação (P).

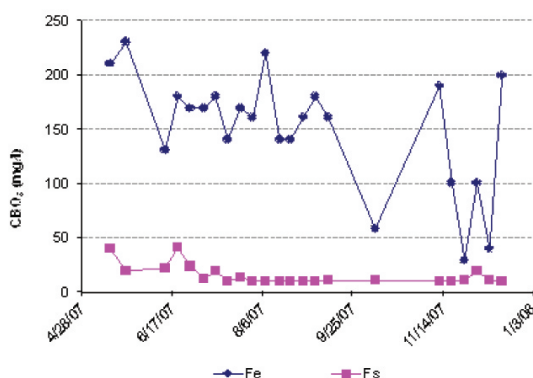


Figura 5 - Evolução das concentrações da CBO₅ no leito de macrófitas da ETAR de Fataca.

Kröpfelová, 2009).

Estes valores são igualmente comparáveis aos valores obtidos por tecnologias convencionais como sendo leitões percoladores ou lamas activadas.

No que respeita à apreciação dos resultados face à exigências legais, verifica-se que a concentração média da CBO₅ no período em estudo cumpre as condições de descarga definidas pelo Decreto-lei n.º 152/97, nomeadamente no que se refere à percentagem de remoção. No que respeita à concentração na descarga, apenas nas campanhas de 14 de Maio de 2007 e 20 de Junho de 2007 foram registadas concentrações da CBO₅ superiores a 25 mg/l (atingindo 40 mg/l).

A conjugação dos dados de caudal registados com as concentrações obtidas nas campanhas de monitorização permitiram proceder a uma estimativa da massa média da CBO₅ descarregada pelo leito de macrófitas, com o objectivo de avaliar o efeito da evapotranspiração. Os cálculos foram efectuados para a condição de ET real, correspondente aos caudais descarregados pelo leito de macrófitas, e para a condição de ET=0, correspondendo a uma situação hipotética de não ocorrência de evapotranspiração onde o caudal afluente ao tratamento é igual ao caudal descarregado pela ETAR. Esta condição pretende representar uma ETAR convencional com o mesmo grau de tratamento do leito de macrófitas.

Na Figura 6 apresentam-se os valores correspondentes a cada condição de descarga, com ou sem evapotranspiração.

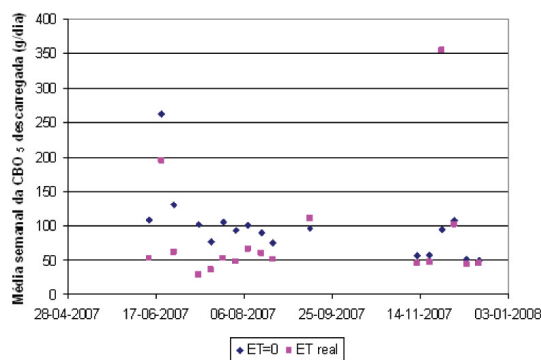


Figura 6 – Média semanal da CBO₅ descarregada no leito de macrófitas de Fataca, para condições distintas de descarga com ou sem evapotranspiração.

A análise dos resultados permite verificar que durante o período de verão o efeito da evapotranspiração pode contribuir para uma redução significativa da massa

poluente descarregada. De facto, a média diária da massa da CBO₅ descarregada entre Junho e Agosto, considerando a redução de caudal observada na ETAR, foi de 65 g/dia, o que representa cerca de 55% do valor que se obteria caso a evapotranspiração não fosse considerada (114 g/dia).

Durante o inverno a evapotranspiração é mais reduzida, conduzindo a que os caudais efluentes sejam próximos dos afluentes e sendo, deste modo, semelhantes, as duas condições de descarga apresentadas. A massa da CBO₅ descarregada durante este período, considerando a influência da evapotranspiração, varia entre 80 a 90% do total descarregado na condição de evapotranspiração nula.

É de salientar a inversão observada nas semanas de 12 de Setembro e 26 de Novembro, em que a massa descarregada para a condição de descarga sem evapotranspiração é inferior à massa descarregada considerando o efeito da evapotranspiração. Esta situação traduz, na realidade, a influência da precipitação ocorrida naquelas datas.

A precipitação pode incrementar as descargas de poluentes devido ao aumento de caudal com arrastamento de poluentes associados. Este facto não se encontra contabilizado nos valores correspondentes à descarga sem evapotranspiração, uma vez que os cálculos foram efectuados com base no caudal afluente ao leito, que não contabiliza a contribuição da precipitação directa sobre o leito de macrófitas. A precipitação pode exercer ainda um efeito de diluição de poluentes.

Na apreciação dos resultados obtidos importa também referir que o aumento da evapotranspiração potencia o efeito da concentração de poluentes, devido à redução da massa de água presente no leito. No entanto, este efeito será parcialmente compensado pelo aumento do tempo de residência hidráulico, que permite uma maior degradação da massa poluente (Wallace e Knight, 2006).

4. SÍNTESE CONCLUSIVA

O controlo da poluição afluente a meios hídricos constitui um objectivo fundamental na protecção da saúde humana, merecendo cada vez mais ênfase a necessidade de garantia de qualidade dos meios hídricos por forma a assegurar o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos.

Neste domínio, os leitos de macrófitas são actualmente reconhecidos como tecnologias adequadas para o tratamento de efluentes de pequenos aglomerados, onde as dificuldades associadas à dispersão geográfica e os reduzidos recursos financeiros e humanos que frequentemente caracterizam estes locais não favorece a instalação de soluções convencionais.

Para além de garantirem um grau de tratamento adequado, que por si só contribui para a protecção dos meios hídricos, a análise global dos resultados apresentados permite concluir que durante os meses mais quentes a evapotranspiração em leitos de macrófitas pode ser significativa, influenciando deste modo a massa de poluente descarregada. De facto, os registos de caudal observados revelaram inclusivamente a ocorrência de períodos de descarga nula, durante parte do dia.

Deste modo, os leitos de macrófitas podem contribuir para uma protecção activa dos meios hídricos, garantindo não só concentrações na descarga conformes com a legislação mas permitindo ainda uma redução da carga mássica poluente, face a soluções convencionais onde a evapotranspiração não contribui de forma significativa para a redução do caudal.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Roma.
- EL HAMOURI, B.; NAZIH, N. E LAHJOUJ, J., 2007. "Subsurface-horizontal flow constructed wetland for sewage treatment under Moroccan climate conditions". *Desalination*, 215, pp. 153-158.
- HEADLEY, T.; HERITY, E. E DAVISON, L., 2005. "Treatment at different depths and vertical mixing within a 1-m deep horizontal subsurface-flow wetland". *Ecological Engineering*, 25, 5, pp. 567-582.
- KADLEC, R.; KNIGHT, R.; VYZAMAL, J.; BRIX, H.; COOPER, P. E HARBEL, R., 2000. *Constructed Wetlands for Pollution Control - Processes, Performance, Design and Operation*. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, Scientific and Technical Report N° 8. IWA Publishing, London.
- KARATHANASIS, A.; POTTER, C.; COYNE, M., 2003. "Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater". *Ecological Engineering*, 20, pp. 157-169.
- VYMAZAL, J., 2005. "Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment". *Ecological Engineering*, 25, pp. 478-490.
- VYMAZAL, J. E KRÖPFELOVÁ, L., 2009. "Removal of organics in constructed wetland with horizontal subsurfaceflow: A review of the field experience". *Science of the Total Environment*, 407, pp. 3911-3922.
- WALLACE, S. E KNIGHT, R., 2006. *Small-Scale Constructed Wetland Treatment Systems: Feasibility, Design Criteria and O&M Requirements*. Water Environment Research Foundation e IWA Publishing, London, United Kingdom.