

## II-531 - IMPACTO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E NITROGÊNIO EM LEITOS DE MACRÓFITAS DE ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

**Antônio Albuquerque**<sup>(1)</sup>

Prof. Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Portugal.

**Rogério de Araújo Almeida**<sup>(2)</sup>

Prof. Associado, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

**Paulo Sérgio Scalize**<sup>(3)</sup>

Prof. Adjunto, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Brasil.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Faculdade de Engenharia - Edifício 2 das Engenharias – Calçada Fonte do Lameiro – 6200-001 Covilhã - Portugal - Tel: +351 (275) 319700 - e-mail: [ajca@ubi.pt](mailto:ajca@ubi.pt)

**Endereço**<sup>(2)</sup>: Escola de Agronomia / UFG – Caixa Postal 131 – CEP: 74.001-970 - Brasil - Tel: +55 (062) 35211553 – e-mail: [raa@ufg.br](mailto:raa@ufg.br)

**Endereço**<sup>(3)</sup>: Escola de Engenharia Civil / UFG - Av. Universitária, 1488 - Quadra 86 - Lote Área Setor Universitário 74605220 - Goiânia, GO – Brasil - Tel: +55 (062) 32096257 - e-mail: [pscalize.ufg@gmail.com](mailto:pscalize.ufg@gmail.com)

### RESUMO

A evapotranspiração (ET) pode reduzir consideravelmente o volume de água no interior de leitos de macrófitas (LM), o que, por um lado, pode evitar a descarga de águas residuais, e poluente, em cursos de água, em especial em períodos de elevada temperatura, e por outro lado pode afetar a remoção de poluentes naqueles processos de tratamento. A partir de dados de monitorização de um LM, efetuada durante 17 meses, e de dados de precipitação recolhidos numa estação meteorológica local, estimou-se a eficiência de remoção do tratamento não considerando a ET (situação comum utilizada pelas entidades gestoras) e considerando aquele parâmetro. A inclusão da ET no cálculo das eficiências de remoção leva a valores mais elevados do que os calculados tradicionalmente sem inclusão daquele parâmetro. Esta abordagem é mais adequada, uma vez que os valores utilizados atualmente pelas entidades gestoras, sem inclusão da ET, apresentam uma subvalorização da eficiência de LM.

**PALAVRAS-CHAVE:** Zona de raízes, Wetlands, Alagados Construídos, Tratamento de Esgotos

### INTRODUÇÃO

Os leitos com plantas (mais conhecidos como leitos de macrófitas (LM)) são uma tecnologia mundialmente reconhecida como muito vantajosa para o tratamento de águas residuais domésticas, industriais e de aterros sanitários, entre outras (Albuquerque *et al.*, 2013). Estes sistemas, pelo volume que ocupam, estão sujeitos a condições adversas de pluviosidade, radiação, temperatura e vento, que podem alterar o volume de água no seu interior, bem como a remoção de poluentes. Como a superfície dos leitos está quase totalmente coberta com plantas, a evapotranspiração (ET) é elevada e contribui significativamente para a redução do volume de água no seu interior. Esta situação pode ser benéfica para o controle da carga poluente a ser disposta nos corpo receptores, porque pode levar à descarga zero (Vymazal e Kropfelova, 2008), bem como para a regularização de vazões associadas à infiltração (Kadlec e Wallace, 2008).

A eficiência de tratamento de LM é normalmente avaliado em função da eficiência de remoção e da carga removida por unidade de área de, essencialmente, matéria orgânica, sólidos em suspensão e nutrientes, sendo normalmente utilizada a vazão média de entrada e as concentrações médias de entrada e saída. A vazão de saída raramente é medida, não se considerando a redução de volume de água no leito. A utilização de cargas mássicas aplicadas e removidas parece ser mais adequada porque se aproxima mais do que se passa na realidade, como já referido por Almeida e Ucker (2011) e Albuquerque *et al.* (2013). Contudo, a maior parte das entidades gestoras não faz a medição de vazão à saída, não sendo possível incluir o efeito da ET nos cálculos de remoção de carga ou de eficiência de tratamento.

O objetivo principal deste estudo centrou-se na avaliação do efeito da evapotranspiração (ET) no cálculo da eficiência de remoção de matéria orgânica e nitrogênio num leito de macrófitas (LM) de escoamento subsuperficial horizontal, a partir de medições de vazão, análises físico-químicas da fase líquida e valores de precipitação, durante 17 meses.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Localização e descrição do leito de macrófitas

Os LM utilizados neste estudo pertencem à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Capinha (Fundão, Portugal) que tem um nível de tratamento secundário (Figura 1). Cada LM tem 48,2 m de comprimento interno, 19,4 m de largura interna e 0,7 m de altura de enchimento, com o nível interno de líquidos mantido a 0,6 m. O material de enchimento é composto por brita de granito e areia grossa, cuja porosidade é de 0,41. Ou seja, cada leito apresenta uma área superficial de 935 m<sup>2</sup>, um volume de substrato de 561 m<sup>3</sup> e um volume de vazios de 230 m<sup>3</sup>.

Os dados de projeto indicam as seguintes condições de funcionamento entre os anos de 2005 (ano de partida) e de 2045 (horizonte de projeto): vazão (entre 22 e 45 m<sup>3</sup>/dia), carga hidráulica média (CH, entre 2,4 e 4,8 cm/dia), tempo de detenção hidráulica (TDH, entre 12,5 e 25,5 dias), demanda química de oxigênio (entre 518 e 712 mg O<sub>2</sub>/L), carga orgânica aplicada (entre 7,3 e 24,9 g DQO/m<sup>2</sup>.dia).



Figura 1: Leitos de macrófitas da ETE da Capinha

### Campanha de medição

O estudo envolveu a coleta bimensal de dados de vazão (entrada e saída de um dos LM) e de amostras para realização de análises físico-químicas (entrada e saída de um dos LM) e a coleta de dados de precipitação numa estação meteorológica local, no período compreendido entre 12 de janeiro de 2007 e 30 de julho de 2008. As amostras de esgoto foram utilizadas para determinação dos seguintes parâmetros de qualidade: temperatura, pH, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), nitrogênio nítrico (N-NO<sub>3</sub>), nitrogênio nitroso (N-NO<sub>2</sub>) e nitrogênio total (NT), de acordo com métodos definidos em APHA-AWWA-WEF (1999). Utilizaram-se os dados de precipitação da estação meteorológica da Capinha, disponíveis no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (em <http://snirh.pt/index.php?idRef=MTM4Ng==&findestacao=capinha>).

Para a medição de nível, instalou-se um medidor de nível ultrassônico HydroRanger Plus com um sistema de aquisição de dados DAS 8000 sobre um vertedor do tipo triangular, instalado na caixa de saída do LM. Foi utilizada a lei de vazão do vertedor do tipo triangular para estimar a vazão a partir das medições de nível, tal como apresentado em Quintela (2000). À entrada do LM, numa caixa de distribuição, existia já um medidor de nível ultrassônico sobre um descarregador do tipo Bazin, tendo os registos de vazão sido facultados pela empresa gestora da ETA (Águas do Zêzere e Côa). O pH e temperatura da amostra foram medidos localmente por meio de sonda Sentix 41 ligada a um medidor multiparâmetros Multiline P4 (todos da WTW).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 apresentam-se os registros de vazão afluyente e efluente observados no LM, os valores da precipitação média diária para os dias de amostragem, bem como os valores da vazão média prevista para o ano de partida do sistema (2005) e para o ano horizonte de projeto (2045). Verificaram-se 6 registros de vazão acima do máximo admissível para um bom funcionamento dos LM (*i.e.* acima da vazão média prevista para 2045), o que só podem estar associados com a entrada de águas pluviais na rede de drenagem, uma vez que a entrada de águas subterrâneas na rede ou ainda a ocorrência de ligações clandestinas foram descartadas pela entidade gestora da estação.

Observando o período sem precipitação (tempo seco entre junho e setembro de 2007 e entre junho e julho de 2008), verifica-se que a vazão esteve sempre abaixo do valor médio previsto para o ano de desativação (horizonte de projeto). As vazões médias registradas para os períodos secos e chuvosos mostram uma diferença significativa de valores (Tabela 1). A vazão média de tempo seco ( $31,8 \text{ m}^3/\text{d}$ ) é característica para o fluxo de esgoto apenas de origem doméstica. Por outro lado, a curva da precipitação apresenta valores mais elevados próximos dos maiores picos de vazão, indicando a entrada de águas pluviais na rede coletora.

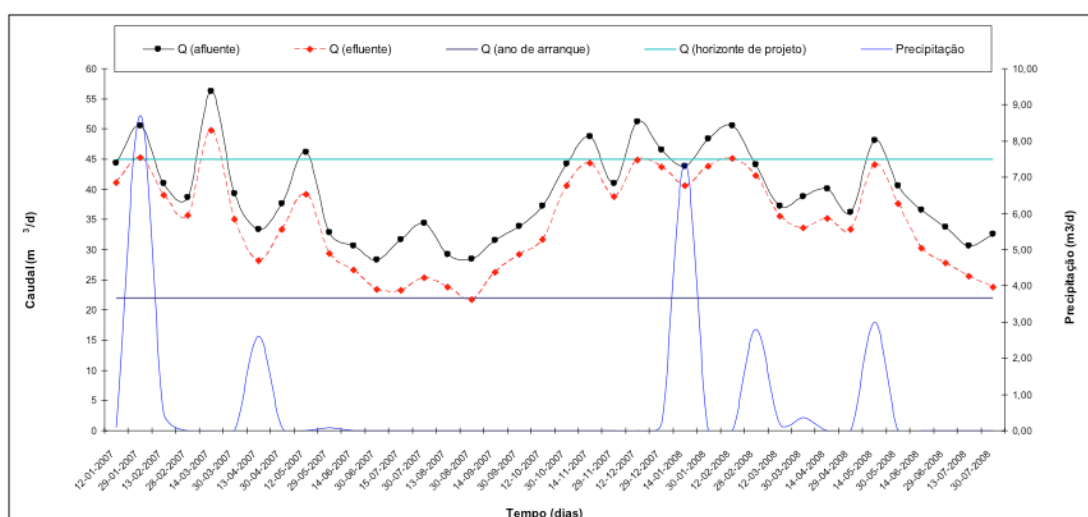


Figura 2: Variação da vazão e da precipitação ao longo do período de estudo.

Tabela 1: Vazão média para vários períodos (janeiro de 2007 a julho de 2008)

	Afluente	Efluente
Vazão média total ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	39,4	34,7
Vazão média em tempo seco ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	31,8	25,6
Vazão média em tempo chuvoso ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	43,0	38,9

Esta variação de vazão poderia ter alterado a CH e o TDH no interior do LM, causando alteração em sua eficiência. Verifica-se, no entanto, que a vazão medida à saída do LM somente ultrapassou o valor do ano horizonte de projeto em uma medição. Ou seja, a ET teve um papel importante na eliminação de excedentes. A partir do quociente entre a média da vazão afluyente e efluente e a área superficial do LM, calculou-se a CH afluyente ao LM. Calculou-se igualmente o TDH através do quociente entre o volume do LM e média da vazão afluyente e efluente (Figura 3).

Relativamente ao TDH verifica-se que, nos períodos de tempo chuvoso, este atinge valores abaixo do mínimo estipulado em projeto (12,5 d). No entanto, o valor mínimo registrado ao longo do período de medição (10,6 d) é ainda favorável à manutenção de mecanismos de remoção de matéria orgânica e nitrogênio (o tempo mínimo de contato é de 5 dias, de acordo com Vymazal e Kropfelova (2008). A partir das vazões (Q) de entrada e saída do LM e da precipitação (P) média diária, calculou-se a ET por aplicação da Eq. (1) (Kadlec e Wallace, 2008).

$$ET = Q(\text{afluente}) + P - Q(\text{efluente}) \quad (1)$$

Verifica-se, de forma geral, que à variação da ET correspondeu uma variação similar de redução de volume de água no LM. Ou seja, a cada aumento de ET correspondeu um aumento de redução de volume no LM. Assim, a ET teve influência no volume disponível para reação no LM.

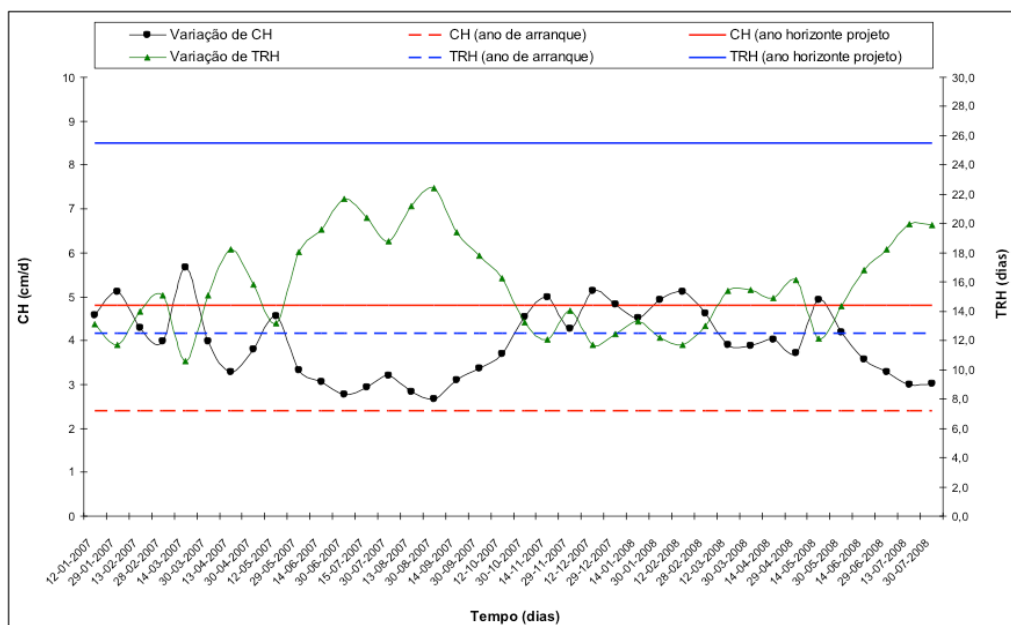


Figura 3: Variação da CH e do TDH (janeiro de 2007 a julho de 2008)

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados médios da campanha de medição no LM. O pH e a temperatura mantiveram-se dentro de valores que são considerados favoráveis à remoção de matéria orgânica (remoção biológica), amônia (assimilação e nitrificação) e nitrato (assimilação e desnitrificação). O valor médio de DQO (379,6 mg O<sub>2</sub>/L) está dentro dos valores previstos em projeto (312 a 518 mg O<sub>2</sub>/L). Houve uma remoção quase total de N-NO<sub>2</sub> e um padrão pouco uniforme na variação de NO<sub>3</sub>, registrando-se vários picos ao longo do período de medição. A variação de nitrato acaba por ser influenciada, quer pela oxidação de nitrogênio amoniacal e nitrito, quer pela variação de fluxo e ET. Os valores médios afluentes indicam que todos os parâmetros apresentam valores de acordo com os limites de descarga definidos pela legislação europeia.

Tabela 2: Condições de operação do LM (janeiro de 2007 a julho de 2008)

Parâmetro	Afluente	Efluente	ER (%)
Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	39,4±7,3 (28,4-56,2)	34,7 ± 7,9 (21,7 - 49,8)	-
Temperatura (°C)	17,3±3,5 (12,1-22,8)	18,9±3,0 (14,3-23,7)	-
pH	7±0,2 (6,2-7,3)	6,7±0,1 (6,5-7,0)	-
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	379,6±75,4 (281-602)	102,9±20,3 (77-161)	56,6±9,8
NT (mg/L)	29,2±4,5 (20,2-40,3)	9,3±2,2 (5-14,3)	23,2±3,9
N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	22,2±5,5 (12,4-36,7)	8,5±2,6 (3,7-14,6)	19,3±6,2
N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	0,5±0,3 (0-1,1)	0±0 (0-0)	-
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	2,2±1,4 (0,2-6,4)	0,2±0,4 (0-1,2)	-

Nota: valores médios ± intervalo de confiança, calculados para um nível de significância de 95% e 38 determinações. Valores mínimos e máximos entre parêntesis. ER: eficiência de remoção.

Para melhor avaliar o efeito da ET na ER dos vários parâmetros analisados, calculou-se o valor de ER pelo método tradicional (*i.e.* sem considerar o efeito da ET) e incluindo o efeito da ET (Eq. (2)), sendo os resultados apresentados na Tabela 3.



$$ER = \left( \frac{C(\text{afluente}) \times Q(\text{afluente}) - C(\text{efluente}) \times Q(\text{efluente})}{C(\text{afluente}) \times Q(\text{afluente})} \right) \times 100 \quad (2)$$

sendo C(afluente) a concentração afluente de cada parâmetro (mg/L), Q(afluente) a vazão afluente (m<sup>3</sup>/d), C(efluente) a concentração efluente de cada parâmetro (mg/L) e Q(efluente) a vazão efluente (m<sup>3</sup>/d).

**Tabela 3: Eficiência de remoção (ER) com e sem considerar a influência da ET**

Parâmetro	Eficiências de Remoção (%)	
	Sem ET	Com ET
DQO	72,5 ± 4,7 ( 59,6 - 80,9 )	75,9 ± 5,0 ( 64,2 - 85,9 )
NT	67,4 ± 9,6 ( 44,4 - 83,7 )	71,3 ± 9,4 ( 47,5 - 86,5 )
N-NH <sub>4</sub>	60,1 ± 13,0 ( 33,1 - 85,7 )	64,7 ± 12,5 ( 38,4 - 88,2 )
N-NO <sub>2</sub>	100,0 ± 0,0 ( 100,0 - 100,0 )	100,0 ± 0,0 ( 100,0 - 100,0 )
N-NO <sub>3</sub>	88,0 ± 20,4 ( 12,5 - 100,0 )	89,3 ± 17,7 ( 27,8 - 100,0 )

Verifica-se assim que a inclusão da ET no cálculo da ER resulta em valores mais elevados do que aqueles calculados pelas entidades gestoras. Almeida e Ucker (2011) e Albuquerque *et al.* (2013), também constataram que o cálculo de ER baseado apenas nas concentrações, e não nas cargas mássicas, é inadequado e pode levar uma subavaliação da eficiência de tratamento do LM. As remoções de NT, N-NH<sub>4</sub> e N-NO<sub>3</sub> estão de acordo com o referido pela experiência internacional (> 50%), e até são mais elevadas do que os valores encontrados em alguns estudos onde utilizaram o cálculo clássico.

Este aspecto pode ser importante, quer para o cumprimento de limites de descarga (*p.e.* o Decreto-Lei nº 152/97 exige percentagens mínimas de redução para a DQO), quer para os indicadores de desempenho das entidades gestoras. A abordagem utilizada atualmente pelas entidades gestoras, sem inclusão da evapotranspiração, apresenta uma subvalorização da eficiência de LM. Os sistemas que presentemente são considerados incumpridores porque apresentam valores de ER ligeiramente abaixo dos mínimos exigidos, ou concentrações de descarga ligeiramente acima dos máximos permitidos, podem na realidade estar em cumprimento.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitiram concluir que as eficiências de remoção e as taxas de remoção calculadas com base na ET apresentaram valores mais elevados do que os calculados com os métodos tradicionais. Assim, este método de cálculo seria mais adequado de implementar, uma vez que os valores calculados atualmente pelas entidades gestoras apresentam uma subvalorização da eficiência do LM, o que pode ser negativo, quer para o cumprimento da legislação em vigor, quer para a avaliação das empresas em termos de indicadores de desempenho.

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se à empresa Águas do Zêzere e Côa, em especial ao Eng.º. Miguel Borges, por ter permitido a monitorização do leito de macrófitas da ETE da Capinha, bem como a consulta de dados de vazão afluentes ao leito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE A., BIALOWIEC A. E RANDERSON P. The influence of evapotranspiration on wastewater constructed wetland treatment efficiency. In *Advances in Environmental Research*, J. Daniels (Ed.), Nova Science Publishers, Inc., Nova York, EUA, v. 30, 38 p., 2013.

2. ALMEIDA, R.A. E UCKER, F.E. Considerando a evapotranspiração no cálculo de eficiência de estações de tratamento de esgoto com plantas. Revista Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4, p. 39-45, 2011.
3. APHA-AWWA-WEF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20<sup>o</sup> Edição. American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Federation, Washington DC, EUA, 1999.
4. KADLEC R. E WALLACE S. Treatment Wetlands. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, EUA, 1016 p., 2008.
5. QUINTELA, A. C. Hidráulica. Fundação Calouste Gulbenkian, 7<sup>a</sup> edição, Lisboa, Portugal, 2000.
6. VYMAZAL J. E KROPFELLOVA L. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow. Series of Environmental Pollution 14, Springer, Alemanha, 566 p., 2008.