

VAZÃO E TRATAMENTO SECUNDÁRIO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ESTAÇÃO DE PEQUENO PORTE COM SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES

Ana Cláudia Oliveira Sérvulo¹, Jeane da Silva Tavares², Delvio Sandri³

RESUMO: O sistema de zona de raízes (SZR) é uma alternativa para tratamento de esgotos, cuja eficiência depende do material de suporte, composição do esgoto, espécie de macrófita e tempo de detenção. Objetivou-se avaliar o hidrômetro na medição de baixas vazões de afluente de esgoto e a eficiência de espécies macrófitas em SZR no tratamento secundário de esgoto doméstico. O esgoto tem origem dos sanitários e do restaurante do campo experimental da UnB. Quatro leitos de tratamento foram utilizados: não cultivado (SnC), SZR com *C. giganteus*, SZR com *Typha spp* e SZR com *H. rostrata*. As avaliações ocorreram em quatro dias distintos, nos quais se mediu as vazões de afluente e efluente, e analisou-se a água quanto aos parâmetros físicos e químicos. A evapotranspiração potencial (ETP) dos leitos foi obtida pelo saldo entre os volumes de afluente e efluente. O hidrômetro não foi adequado na medida do volume de afluente, recomendando-se o método direto volumétrico. A maior ETP ocorreu no SZR com *Typha spp* (9,98 mm dia⁻¹), e o valor médio geral de 5,4 mm dia⁻¹. O maior valor de TDH foi de 9,5 dias. O oxigênio dissolvido, pH, turbidez e sólidos totais atendem aos limites para lançamento em corpos hídricos de classe 2.

PALAVRAS-CHAVE: macrófita, água residuária, leito cultivado

FLOW RATES AND SECONDARY TREATMENT OF WASTEWATER IN SMALL- SCALE TREATMENT PLANT WITH ROOT ZONE SYSTEM

ABSTRACT: The root treatment wetland (RTW) is a low cost option to wastewater treatment, which efficiency depends on support material, wastewater composition, macrophyte specie and detention time. This paper aimed to test the performance of the hydrometer on measurement of low wastewater flows, and the efficiency of RTW on secondary wastewater treatment. The wastewater was from the bathrooms and restaurant in

¹ Profa. Mestre, Faculdade Evangélica de Goianésia, CEP 75083-515, Goianésia, GO. Fone: (62) 98405-6760. Email: anaclaudiaoservulo@hotmail.com

² Graduanda em Agronomia, UnB, Brasília, DF

³ Prof. Doutor, Faculdade de Agronomia e Veterinária, UnB, Brasília, DF

the experimental farm of the University of Brasília. Four constructed wetlands were used: free water system (FWS), RTW with *Cyperus giganteus*, RTW with *Typha spp* and RTW with *Heliconia rostrata*. The evaluation occurred in four days isolated, where were measured the produced wastewater affluent and effluent flow, chemical and physical water parameters. The systems' potential evapotranspiration (PET) was determinate by affluent-effluent volumes balance. The hydrometer didn't measure affluent flow properly, underestimating it. The highest PET was on RTW-*Typha spp* (9.98 mm day⁻¹), and the systems average PET was 5.4 mm day⁻¹. The detention time maximum was 9,49 days. The DO, pH, turbidity and total solids content are fit the Brazilian legal requirements for release into class 2 receiving bodies.

KEYWORDS: macrophytes, sewage, wetland

INTRODUÇÃO

No tratamento de efluentes, as macrófitas são uma estratégia inteligente para programas de tratamento, e o uso de leitos cultivados é um atrativo para pequenas comunidades e áreas isoladas (Vergeles *et al.*, 2015; Chandanshive *et al.*, 2017). Ainda que não apresentem estruturas anatômicas para tolerância à salinidade, as halófitas também são opção devido sua capacidade de se adaptar a condições extremas, como na fitorremediação de efluentes com alto pH e salinidade (Mufarrege *et al.*, 2011). A introdução de plantas em sistemas alagados construídos influencia positivamente na eficiência de remoção, especialmente dos macronutrientes (Sarmiento *et al.*, 2013).

O tratamento de esgoto doméstico por Sistema de Zona de Raízes (SZR) é uma opção simples (construtivo e operacional), adapta-se a vários tipos de água residuária, requer pouca manutenção, de elevada eficiência na remoção de impurezas físicas, químicas e microbiológicas, e permite ser utilizado como elemento paisagístico. Este tipo de sistema é muito dinâmico, com variações nas características hidráulicas, material de suporte ou filtragem, natureza do efluente, espécies macrófitas, tempo de detenção hidráulica, entre outros (Almeida & Ucker, 2011; Lima & Tavares, 2012; França *et al.*, 2014; Vergeles, 2015; Chandanshive *et al.*, 2017).

Além dos fatores operacionais, condições ambientais, como temperatura do ar e luminosidade também influenciam no tratamento (Rehman *et al.*, 2017). Assim, sua aplicação requer ajustes para cada combinação de sistema e efluente pretendida, o que dificulta uma análise comparativa e uma tendência de padronização (Sezerino *et al.*, 2015).

A eficiência do SZR relaciona-se à espécie macrófita utilizada e à sua evapotranspiração potencial (ETP) (Almeida & Ucker, 2011). A taxa de evapotranspiração entre as espécies é bastante variável e pode ser um importante critério na seleção de espécies para o uso em sistemas alagados (Valipour et al., 2015). A ETP interfere diretamente na medição de vazão de montante e jusante do SZR, e no teor de impurezas no efluente, demandando aprimoramento das metodologias de medição de vazão.

Considerando a demanda pela conservação da qualidade das águas, observa-se a importância do aprimoramento de tecnologias que sejam mais acessíveis e de maior simplicidade de operação. Diante do exposto, objetivou-se avaliar métodos de medição de vazão de esgoto doméstico em pequena escala, bem como a eficiência de sistemas de leitos cultivados na remoção de cargas poluidoras no tratamento secundário de esgoto doméstico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL) (15°46'46"S 47°55'46"W, altitude 1100 m, clima Aw). Conforme a Figura 1, a estação de tratamento de esgoto é composta por um conjunto de três tanques sépticos de PVC em série, com volume útil de 5.000L cada. Após os tanques sépticos existe uma caixa de passagem de 72 L, de onde parte um tubo de PVC para cada um dos três sistemas de zona de raízes (ZR) e um para o Sistema de Leito não Cultivado (NC), operando com fluxo subsuperficial.

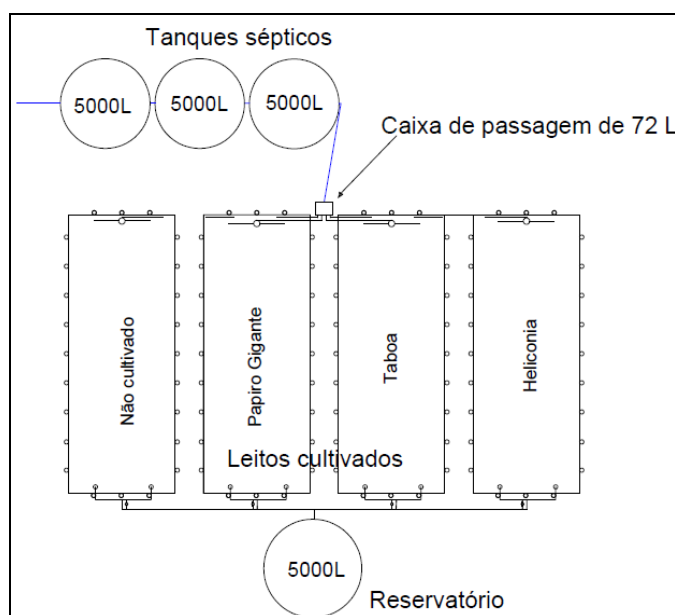


Figura 1. Croqui da estação de tratamento de esgoto (Fazenda Água Limpa – UnB).

A vazão de afluente foi padronizada com vertedouro triangular não afogado, com ângulo interno de 38° (Figuras 2a e 2b). Os leitos foram construídos em fibra de vidro (largura: 2,5 m; comprimento: 6,5 m; profundidade: 0,5 m; volume total: 8,1 m³; volume útil: 4,1 m³), impermeabilizados com geomembrana de PVC (0,8 mm) e preenchidos com brita nº2. Em cada um dos SZR cultivou-se: papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*), taboa (*Typha spp*) e helicônia (*Heliconia rostrata*).

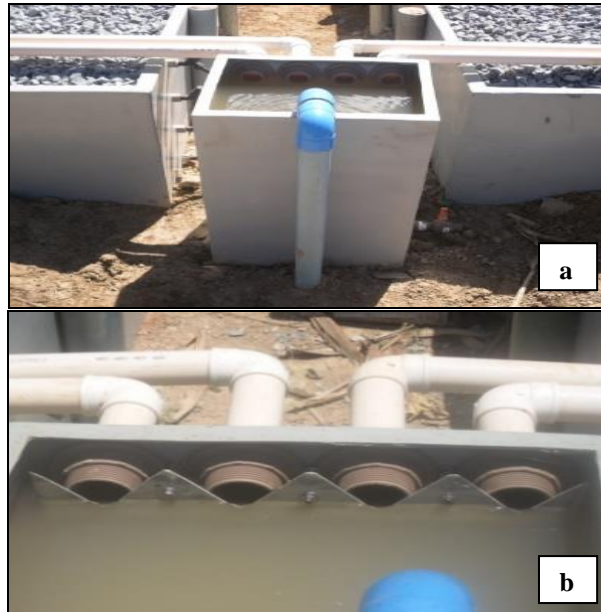


Figura 2. Detalhe: (a) caixa de passagem e (b) vertedouros (Fazenda Água Limpa – UnB).

A evapotranspiração potencial (ETP) de cada espécie de macrófita no sistema de zona de raízes e do sistema não cultivado foi definida como o quociente da diferença das vazões de montante e jusante (em L), e a área superficial do tanque (m²).

As vazões de montante e jusante foram medidas pelo método direto volumétrico (MDV). Na entrada dos quatro sistemas instalou-se um hidrômetro para quantificar o volume de afluente tratado em cada dia de avaliação. A variação da vazão do efluente foi determinada entre as 08:30h e as 17:30h, em escala horária, conforme o fluxo de geração de esgoto na unidade.

O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi obtido pela equação 1:

$$TDH = C * L * p * h / Q \quad (1)$$

Em que,

TDH - tempo de detenção hidráulica (dias); C - comprimento do leito (m); L - largura do leito (m); Q - vazão do efluente (m³ d⁻¹); p - porosidade do meio suporte (decimal) e h - profundidade do leito (m).

As amostras do afluente e efluente foram realizadas em 4 dias, no intervalo entre 23/04 e 12/06/2018, considerando os dias em que houve fluxo de afluente suficiente. As coletas aconteceram às 8, 10, 12, 14, 16 e 17 h (funcionamento da FAL e de geração de afluente). As amostras horárias foram misturadas formando uma amostra composta de 1L. A análise de água abrangeu os parâmetros: pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (*in loco* para cada um dos horários de coleta); e teor de sólidos (totais, em suspensão e dissolvidos), turbidez, sódio e potássio (APHA, 2005).

Obteve-se a eficiência na remoção da carga poluidora (Ef) pela eq.2 (Almeida & Ucker, 2011).

$$Ef = [(Ca * Qa) - (Ca * Qe)] / (Ca * Qa) \quad (2)$$

Em que,

Ef - eficiência de remoção da carga poluidora (%); Ca - concentração do parâmetro no afluente de esgoto; Ce - concentração do parâmetro no efluente de esgoto; Qa - vazão afluente do esgoto e Qe - vazão efluente do esgoto.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias (Duncan, significância de 5%), considerando os dias de análise como sendo as repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos quatro dias de monitoramento foram gerados 2.413 L de esgoto, com vazão afluente total variando entre 47,6 L dia⁻¹ e 96,4 L dia⁻¹ (Tabela 1). O volume medido pelos hidrômetros foi em média 23,3% menor que o MDV. Este comportamento é devido à baixa vazão de esgoto que interferiu na pressão de operação, e às impurezas da água, sobre a turbina do hidrômetro.

Tabela 1. Vazão total de afluente por método de medição, tempo de detenção hidráulica e evapotranspiração potencial dos sistemas de tratamento por leito não cultivado (NC) e por zona de raízes utilizando Papiro (ZRP), Taboa (ZRT) e Helicônia (ZRH).

Dia	Vazão afluente (L dia ⁻¹)*		TDH (dias)**	Evapotranspiração (mm dia ⁻¹)			
	Hidrômetro	MDV		NC	ZRP	ZRT	ZRH
23/4	36,1	47,6	3,6	0,92	2,03	3,37	2,77
8/5	-	74,7	2,3	3,34	2,67	4,18	2,52
22/5	36,9	49,5	3,4	2,52	3,91	4,07	4,75
12/6	75,4	96,4	1,8	2,7	9,37	9,98	4,29

MDV: método direto volumétrico; * Vazão total de afluente; ** 9 horas diárias de operação do sistema.

A Helicônia não se desenvolveu, com perda total das plantas observada a partir do 15º dia, que se deve ao uso de sanitizantes na higienização do refeitório, bem como o uso de detergente alcalino B-701 clor-clorado. Em consequência, houve fluxo preferencial efluente no ZRH em relação aos demais sistemas em todos os dias. A variação entre os volumes de afluente e efluente foi maior no ZRT, em média 58,2% do afluente.

O ZRT promoveu maior ETP, representando em média 127,9% acima do NC. A ETP média nos sistemas alcançou valores de 2,4 mm dia⁻¹ (NC), 3,6 mm dia⁻¹ (ZRH), 4,5 mm dia⁻¹ (ZRP) e 5,4 mm dia⁻¹ (ZRT). Comparando com *E. crassipes* (42,4 mm dia⁻¹), os sistemas apresentaram ETP muito menores, sendo que a variação nas taxas observadas é devida às características morfológicas de cada espécie, do seu estágio de desenvolvimento e densidade de plantio, que proporcionam diferentes áreas de superfície para evapotranspiração (Valipour et al., 2015).

A temperatura do afluente variou de 20,2 a 31,3°C nos dias e horários observados. O efluente apresentou temperatura mais baixa ao afluente para todos os sistemas, sendo no ZRH maior redução na temperatura (em média 4,6°C) (Tabela 2). Não houve padrão em relação às amplitudes térmicas, podendo estar associadas tanto pela presença ou ausência de vegetação ou material vegetal imerso, quanto pelas condições de descarga do efluente.

Tabela 2. Temperatura média, pH e condutividade elétrica do afluente e efluente dos sistemas de tratamento não cultivado (NC) e zona de raízes com Papiro (ZRP), Taboa (ZRT) e Helicônia (ZRH).

Dia	Temperatura (°C)					pH					CE (dS m ⁻¹)				
	Afl.	NC	ZRP	ZRT	ZRH	Afl.	NC	ZRP	ZRT	ZRH	Afl.	NC	ZRP	ZRT	ZRH
23/4	29,3	25,1	26,2	26,2	24,5	7,2	7,3	7,2	7,1	7,4	1,30	1,09	1,26	1,20	1,22
8/5	27,6	24,6	24,6	24,5	23,1	7,3	7,7	7,5	7,5	7,9	1,42	1,04	1,10	1,12	1,11
22/5	27,9	26,0	26,4	27,9	24,5	7,7	8,0	7,7	7,8	8,0	1,89	1,23	1,27	1,67	1,20
12/6	27,5	22,9	22,4	21,7	21,7	8,2	8,5	8,4	8,1	8,5	1,94	1,27	1,35	1,46	1,41
\bar{X}	28,1a	24,6a	24,9a	25,0a	23,4a	7,6a	7,9a	7,7a	7,6a	7,9a	1,64a	1,16b	1,25ab	1,36ab	1,24ab

O pH médio da água foi de 7,7 em todos os sistemas e no afluente. A proximidade da alcalinidade é comum no afluente e no efluente (Vergeles et al., 2015; Barco & Borin, 2017). Independente do tratamento, os efluentes apresentaram temperatura (<40°C) e pH (5-9) compatíveis para o lançamento em corpos receptores (Brasil, 2011).

Somente o NC foi capaz de reduzir a CE do afluente. A redução na CE mais evidente no NC associa-se à decantação de sais no lodo e sua retenção no substrato do leito, enquanto que as raízes promovem a suspensão dos sais pela perturbação (Barco & Borin, 2017).

A CE média entre os sistemas de tratamento ($1,25 \text{ dS m}^{-1}$) corrobora com o encontrado em sistema com *P.australis* e *I.pseudacorus* (Barco & Borin, 2017), e a leve redução geral no afluente se dá pela assimilação e metabolismo dos nutrientes pelos microrganismos presentes nos leitos (Lima & Barroso, 2012). A taxa de redução na CE (29,3%) foi maior que a obtida com *E.crassipes* e *P.stratiotes* para afluente com $\text{CE}=1,07 \text{ dS m}^{-1}$ (França *et al.*, 2014).

Os sistemas apresentaram eficiência similar na remoção da turbidez, com valores acima de 93% (Tabela 3). As raízes compõem uma barreira física e podem atrair eletrostaticamente as partículas em suspensão, e por isso tem alta capacidade de remoção (Barco & Borin, 2017).

Tabela 3. Eficiência na remoção de turbidez, sódio e potássio (%) em sistemas de tratamento de esgoto não cultivado (NC) e zona de raízes com Papiro (ZRP), Taboa (ZRT) e Helicônia (ZRH).

Dia	Turbidez				Sódio				Potássio			
	NC	ZRP	ZRT	ZRH	NC	ZRP	ZRT	ZRH	NC	ZRP	ZRT	ZRH
23/4	97,0	95,0	95,3	94,4	10,8	-	50,1	31,9	-	12,6	49,1	26,0
8/5	91,7	93,3	89,8	89,8	39,7	37,1	47,2	35,2	40,7	35,9	50,2	33,3
22/5	95,7	98,3	97,4	96,6	66,5	68,9	72,7	69,7	51,7	66,6	68,4	62,8
12/6	95,5	97,9	98,1	93,2	33,1	84,3	77,1	27,8	29,3	83,8	78,7	25,8
\bar{X}	95,0a	96,1a	95,2a	93,5a	37,5a	63,4a	61,8a	41,1a	40,5a	49,7a	61,6a	37,0a

O NC apresentou menor remoção de Na e K (37% e 26% respectivamente). ZRP e ZRH tiveram eficiências, em média, de 42% (Na) e 43% (K). A Taboa é considerada uma planta hiper acumuladora de nutrientes (Mojiri *et al.*, 2016), fato este observado nos altos valores de eficiência média de remoção de Na (61,8%) e K (61,6%). Apesar da diferenciação notada, tanto para Na e K, quanto para os demais parâmetros discutidos a seguir, a variabilidade na qualidade do afluente ao longo dos dias não permitiu identificar diferença estatística entre os sistemas.

As eficiências de remoção, de modo geral, não apresentaram relação com o TDH, no entanto, o TDH teve relação linear negativa com a concentração de Na e a turbidez em todos os sistemas. Tanto no tratamento secundário do esgoto doméstico, como no de efluentes com maior carga poluidora, a eficiência na remoção costuma ser diretamente relacionada ao TDH (Lima & Barroso, 2012; Sarmiento *et al.*, 2013).

Na primeira avaliação, o afluente teve $11,4 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ e os ZRT e ZRP tiveram menor OD em relação ao afluente, provavelmente devido ao consumo de O_2 no estabelecimento das plantas (Tabela 4). Nas demais avaliações, o afluente apresentou em média $1,77 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ e os sistemas promoveram o acréscimo de O_2 no efluente em média 69,7%. Este acréscimo esteve linearmente relacionado ao TDH. Devido à fotossíntese, as macrófitas incorporam O_2 nas

adjacências das células vegetais (Oon *et al.*, 2017), todavia os sistemas cultivados não foram superiores em relação ao NC, talvez devido às limitações na solubilização de O₂ na água em temperaturas elevadas (Barco & Borin, 2017).

Tabela 4. Oxigênio dissolvido e eficiência na remoção de sólidos totais e sólidos em suspensão (%) em sistemas de tratamento de esgoto não cultivado (NC) e zona de raízes com Papiro (ZRP), Taboa (ZRT) e Helicônia (ZRH).

Dia	Oxigênio dissolvido (mgO ₂ L ⁻¹)					Sólidos totais				Sólidos em suspensão			
	Afl.	NC	ZRP	ZRT	ZRH	NC	ZRP	ZRT	ZRH	NC	ZRP	ZRT	ZRH
23/4	11,4	11,8	10,2	10,7	11,7	22,1	20,5	37,5	35,6	90,3	89,5	94,3	98,6
8/5	1,6	2,5	2,7	2,3	2,1	46,2	37,7	40,9	23,0	99,4	99,0	97,4	98,2
22/5	1,4	3,3	3,5	3,6	3,4	59,7	73,0	78,7	57,4	99,4	86,2	89,6	93,1
12/6	2,4	3,9	2,6	2,7	3,7	40,0	84,3	79,6	25,1	83,5	88,5	99,9	99,5
\bar{X}	-	-	-	-	-	42,0a	53,9a	59,2a	35,3a	93,2a	90,8a	95,3a	97,4a

A remoção de ST e SS foram, respectivamente, de 47,6% e 94,2%. Maiores vazões de efluente promoveram maior teor de sólidos em suspensão. Valipour et al. (2015) obtiveram eficiência em média 26% menor na remoção de SS, e associaram o resultado ao curto tempo de detenção (máximo de 1,8 dias).

Pela correlação linear observou-se que a ETP favoreceu as eficiências de remoção de Na (0,60), K(0,66) e ST (0,63). A ETP apresentou alta correlação com os teores de Na (0,94), ST (0,97) e Turbidez (0,89), evidenciando que as perdas de água por evapotranspiração durante o tratamento ocorrem em taxas maiores do que absorção ou retenção destas impurezas pelas plantas. Isto reforça a necessidade de se utilizar modelos que considerem o saldo entre os volumes de entrada e saída na determinação da eficiência de remoção.

De modo geral, o gênero *Cyperus* acumula maior quantidade de fitomassa em sistemas de tratamento de efluentes em relação a diversas espécies, com imobilização de nutrientes (N, P, K) também em quantidade superior (Sarmiento et al., 2013). O gênero *Typha* se adapta em ambientes salinos e com pH elevado, permitindo adquirir capacidade de acumulação nos tecidos sem grandes compromissos das funções metabólicas (Mufarrege et al., 2011). Dentre os gêneros avaliados, o *Heliconia* é apontado como o de menor desempenho para fins de fitorremediação, todavia, o seu uso ainda é considerado viável pelos outros benefícios associados, como o uso ornamental e a comercialização das flores (Sarmiento et al., 2013).

CONCLUSÕES

O hidrômetro subestimou o volume de afluente em relação ao método direto volumétrico.

A evapotranspiração potencial nos sistemas de zona de raízes foi maior em relação ao sistema não cultivado.

O sistema de leito não cultivado teve menor potencial para remoção de sódio e sólidos totais. Apesar disso, todos os sistemas testados promoveram nível satisfatório de tratamento do esgoto, conforme as exigências da legislação ambiental.

A Helicônia (*Heliconia rostrata*) não se adaptou à composição de esgoto gerado na Fazenda Água Limpa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. A.; 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.

APHA; AWWA; WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21^a ed., Washington D.C., USA, American Public Health Association, 2005.

BARCO, A.; BORIN, M. Treatment performance and macrophytes growth in a restored hybrid constructed wetland for municipal wastewater treatment. *Ecological Engineering*, v.107, p.160-171, 2017.

BRASIL. CONAMA. *Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente*. Resolução n.430 de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, 2011. 8p.

FRANÇA, J. B. A.; MORAES, T. V.; VAZ, D. C.; FERREIRA, A. A.; SOARES, F. A. L. Tratamento de efluente doméstico com macrófitas aquáticas para reúso na fertirrigação. *In: II INOVAGRI Internacional Meeting*, 2014, Fortaleza.

LIMA, F. L.;L;TAVARES, L.H.S. Efficiency of a constructed wetland for wastewaters treatment.Eficiência de um “wetland” construído no tratamento de efluentes. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v.24, n.3, p.255-265, 2012.

MOJIRI, A.; ZIYANG, L.; TAJUDDIN, R.M.; FARRAJI, H.; ALIFAR, N. Co-treatment of landfill leachate and municipal wastewater using the ZELIAC/zeolite constructed wetland system. *Journal of Environment Management*, v. 166, p. 124-130, 2016.

MUFARREGE, M.M.; DI LUCA, G.A.; HADAD, H.R.; MAINE, M.A. Adaptability of *Typha domingensis* to high pH and salinity. *Ecotoxicology*, v. 20, p. 457-465, 2011.

OON, Y.L.; ONG, S.A.; HO, L.N.; WONG, Y.S.; DAHALAN, F.A.; OON, Y.S.; LEHL, H.K.; THUNG, W.E.; NORDIN, N. Role of macrophyte and effect of supplementary aeration in up-flow constructed wetland-microbial fuel cell for simultaneous wastewater treatment and energy recovery. *Bioresource Technology*, v. 224, p. 265-275, 2017.

SARMENTO, A.P.; BORGES, A.C.; MATOS, A.T. Effecto of cultivated species and retention time on the performance of constructed wetlands. *Environmental Technology*, v. 34, n. 8, p. 961-965, 2013.

VALIPOUR, A.; RAMAN, V.K.; AHN, Y.H. Effectiveness of domestic wastewater treatment using a bio-hedge water hyacinth wetland system. *Water*, v. 7, p.329-347, 2015.

VERGELES, Y.; VYSTAVNA, Y.; ISHCENKO, A.; RYBALKA, I.; MARCHAND, L.; STOLBERG, F. Assessment of treatment efficiency of constructed wetlands in East Ukraine. *Ecological Engineering*. v.83, p.159-168, 2015.