



II-594 - AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITA AQUÁTICA UTILIZADA EM SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA

Antonio Marcelo Magalhães Gomes⁽¹⁾

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Sobral. Mestrando em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE *campus* Fortaleza.

Sara Maria Paula da Rocha Rodrigues⁽²⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Sobral. Mestranda em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE *campus* Fortaleza.

Joice Maciel dos Santos⁽³⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Limoeiro do Norte. Mestranda em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE *campus* Fortaleza.

Marcus Vinícius Freire Andrade⁽⁴⁾

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Sobral.

Kelly de Araújo Rodrigues Pessoa⁽⁵⁾

Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Fortaleza.

Endereço⁽¹⁾: Rua Francisco Carvalho e Silva, 90, Parquelândia - Fortaleza - Ceará - CEP: 60450-270 - Brasil - Tel: +55 (88) 99484-6935 - e-mail: antonio.marcelo.magalhaes07@aluno.ifce.edu.br.

RESUMO

A crescente demanda por água e a adequada disposição de águas residuárias geradas nas mais diversas atividades requer uma correta gestão dos recursos hídricos, com o emprego de sistemas eficientes e sustentáveis no atendimento à legislação e na redução dos impactos ambientais negativos. Devido à simplicidade, sustentabilidade e manutenção descomplicada, o uso de *wetlands* construídos (WC) para o tratamento de águas residuárias ganhou ampla popularidade dentre as soluções baseadas na natureza. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar o crescimento das macrófitas e sua influência na eficiência de 11 sistemas de *wetlands* construídos para o tratamento de água cinza. Os WCs foram operados com alimentação intermitente com diferentes tempos reacionais (TR). Todos os WC receberam água cinza, à exceção do WC de controle que foi alimentado apenas com água da torneira. Os WCs foram vegetados com *Echinodorus subalatus*, macrófita emergente nativa do semiárido (3 indivíduos/WC). Foi monitorada a altura das plantas, no início e ao final de cada ciclo, bem como determinadas as variáveis amônia, fósforo total e DQO no afluente e efluente dos sistemas que demonstraram eficiência de remoção máxima de NH_4^+ de 88,8% no WC 6 (TR de 7 dias) e de PT de 54,9% no WC8 (TR de 11 dias). Para DQO, com exceção dos WC2, WC6 e WC7 as eficiências de remoção foram superiores a 95%, com eficiência máxima de 98,5 % no WC10. Não houve variação considerável da altura das macrófitas durante os TR nos sistemas e a matriz de correlação gerada, indicou que a variação de altura não exerceu influência significativa nas variáveis de tratamento analisadas, podendo ter relação com o curto tempo de operação nos sistemas (TR máximo de 11 dias).

PALAVRAS-CHAVE: Wetlands construídos, Macrófitas, Água cinza.

INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a rápida urbanização e o crescimento econômico causaram uma série de graves problemas ambientais, especialmente nos países em desenvolvimento. Uma das principais consequências consiste no aumento da procura por água doce em quantidade necessária para satisfazer as crescentes



necessidades domésticas e industriais. Isto, por sua vez, leva ao aumento da geração de águas residuais (SHINGARE *et al.*, 2019).

Além disso, considerando as rigorosas diretrizes e padrões de descarga para estações de tratamento de efluentes convencionais, estas ainda enfrentam desafios na remoção eficaz do excesso de poluentes das águas residuais de forma econômica, resultando em consequências ambientais negativas (WU *et al.*, 2016).

Devido à simplicidade, sustentabilidade e manutenção descomplicada, a tecnologia de wetlands construídos (WC) para águas residuais ganhou ampla popularidade nas soluções baseadas na natureza para instalações de pequena e média escala em todo o mundo (QADIRI *et al.*, 2021).

Os WC são sistemas artificiais de tratamento de águas residuais que podem ser projetados e controlados. É uma abordagem útil para a remoção de contaminantes abundantes devido aos efeitos sinérgicos do solo, macrófitas e microrganismos nos processos físicos, químicos e biológicos no sistema de zonas úmidas (YANG; CROWLEY, 2000; WANG *et al.*, 2018).

Por quase três décadas, as áreas úmidas construídas têm sido extensivamente aplicadas em todo o mundo como uma tecnologia ecológica eficaz de baixo custo para águas secundárias, terciárias e, em alguns casos, o único tratamento de águas residuais (VERGELES *et al.*, 2014).

O papel das macrófitas nos WC foi pouco considerado durante muito tempo. As plantas têm uma influência vital no crescimento microbiano nestes sistemas, devido aos seus sistemas radiculares. As raízes atuam como superfícies adequadas para a formação de biofilmes que ajudam a prolongar o tempo de retenção dos poluentes e os fornecem como alimento para os microrganismos. Essas raízes também fornecem oxigênio às bactérias rizosféricas, o que aumenta a degradação de poluentes orgânicos e a remoção de nutrientes das águas residuais (MOAZZEM *et al.*, 2023).

É essa capacidade das macrófitas, aliada à sua rápida taxa de crescimento e aos benefícios econômicos dos WC em geral, que tem despertado o interesse de pesquisadores de todo o mundo (EL-DIN; ABDEL-AZIZ, 2018; JUSTIN *et al.*, 2022).

Partindo deste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar a influência do crescimento das macrófitas sob a eficiência de sistemas de wetlands construídos para o tratamento de água cinza.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram construídos 11 sistemas wetlands em escala piloto para o tratamento de água cinza sintética. Cada sistema possuía uma bombona plástica de 10 litros interligada à uma tubulação para alimentação com água cinza. Tubos de PVC de 25 mm foram perfurados e acoplados na posição horizontal para distribuição uniforme, por gotejamento, da água cinza. Os wetlands foram montados em recipientes de polipropileno com volume útil de 16 L. Os leitos foram montados com tijolos cerâmicos, conchas marinhas e areia, em uma proporção de 3:1:1, respectivamente. Essas proporções foram as mesmas estudadas por Feitosa (2023) e Bermúdez (2022). Nessa proporção, os substratos ocuparam 53% do volume útil do reator. O volume de esgoto afluente era de 8 L por sistema.

Os sistemas passaram por período de aclimação de 30 dias, em que eram alimentados semanalmente com diluições crescentes da água cinza de 25%, 50%, 75% e atingindo 100% na última semana de aclimação. Em seguida os WC foram operados em um ciclo com diferentes condições de Tempo Reacional (TR), com durações de 3 (WC7), 4 (WC1 e WC3), 7 (WC5, WC6, WC9 e WC10), 10 (WC2 e WC4) e 11 dias (WC8 e WC11), conforme planejamento fatorial, durante o mês de dezembro de 2023. Todos os WC foram alimentados com água cinza, à exceção do WC11, o qual foi alimentado apenas com água da torneira, para controle.

A planta escolhida foi a *Echinodorus subalatus*, macrófita emergente nativa da América do sul, devido à sua adaptação e resistência às condições do semiárido brasileiro. Foram plantadas 3 mudas por sistema, sendo

avaliadas a altura das plantas (H) no início e ao término do ciclo em cada WC. A altura foi medida partindo-se do colo da planta até sua folha totalmente expandida que possuía maior comprimento. A Figura 1 ilustra a composição dos sistemas WC com a macrófita.

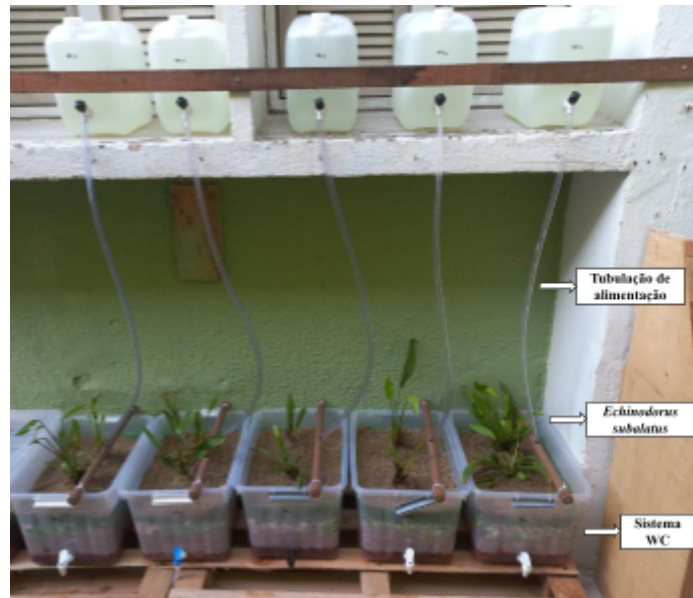


Figura 1: Componentes dos sistemas WC e macrófita utilizada

O monitoramento da água cinza foi realizado a partir da determinação das variáveis nitrogênio amoniacal (NH_4^+), fósforo total (PT) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Com auxílio do software estatístico R versão 4.3.2, gerou-se uma matriz de correlação entre a variação de altura da planta e a eficiência de remoção das variáveis monitoradas.

RESULTADOS OBTIDOS

As concentrações médias de entrada (mg/L) quanto às variáveis NH_4^+ , PT e DQO na água cinza, foram de $57,52 \pm 0,89$; $37,97 \pm 0,76$ e $1028,67 \pm 7,07$, respectivamente. Quanto ao WC controle, este possuía concentração média de DQO de 16,33 mg/L e não foram detectadas a presença de NH_4^+ e PT.

As eficiências de remoção das variáveis analisadas são apresentadas na Figura 3.

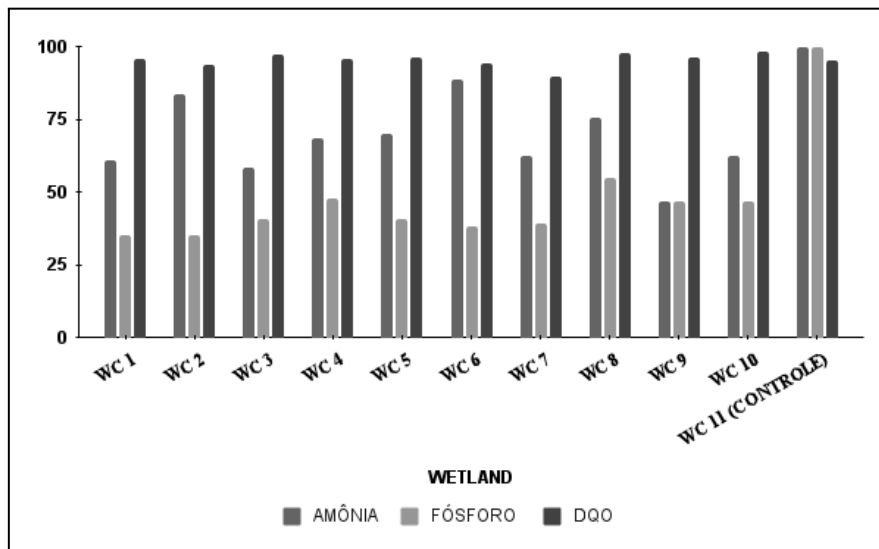


Figura 2: Eficiências de remoção para as variáveis analisadas em cada sistema WC.

Os sistemas WC demonstraram eficiência de remoção de NH_4^+ , com remoção máxima de 88,8% no WC6 (TR de 7 dias). Quanto ao PT, obteve-se eficiência de remoção de 54,9% no WC 8 (TR de 11 dias). Assim como no efluente de entrada, após o TR, não foram detectadas concentrações de NH_4^+ e PT no WC11 (controle). Para DQO, com exceção dos WC 2, 6 e 7, obteve-se eficiências de remoção superiores a 95%, com eficiência máxima de 98,5 % no WC 10. A conformidade com a legislação estadual do Ceará, resolução Coema nº 02/2017 destaca a eficiência dos sistemas, em especial quanto à matéria orgânica carbonácea, uma vez que todos os WC apresentaram concentrações inferiores ao valor máximo permitido de 200 mg/L, após o tratamento, independente do TR. Dessa forma, verifica-se que um TR 3 dias foi suficiente para o enquadramento do efluente na legislação estadual, sob as condições estudadas.

Na Tabela 1 apresenta-se a variação de altura das macrófitas em relação ao monitoramento de entrada e saída dos sistemas WC.

Tabela 1: Variação da altura das macrófitas para cada WC avaliado

Wetland	H média inicial (cm)	H média final (cm)	Varição (H)
WC 1	33,7	34,30	0,60
WC 2	34	38,7	4,7
WC 3	32,3	31,7	-0,6
WC 4	33,3	34,3	1
WC 5	33,3	33	-0,3
WC 6	31,3	30,3	-1
WC 7	26,3	26,7	0,4
WC 8	32,3	34,2	1,9
WC 9	15,7	16	0,3
WC 10	25,3	26,3	1
WC 11	37,7	38	0,3

Em relação ao crescimento das macrófitas, observou-se que não houve variação considerável da altura durante os TR, o que se justifica pelo curto tempo de operação dos sistemas (TR máximo de 11 dias). As maiores variações de altura foram verificadas nos WC 2 e 8, com 4,7 e 1,9 cm, respectivamente. O WC 2 possuiu TR de 10 dias e o WC 8, o TR máximo de 11 dias, evidenciando que um maior tempo reacional influenciou positivamente no crescimento da macrófita.

A influência da variação de altura das macrófitas nas eficiências de remoção alcançadas para as variáveis em estudo foi avaliada a partir de matriz de correlação gerada, conforme Figura 3 a seguir.

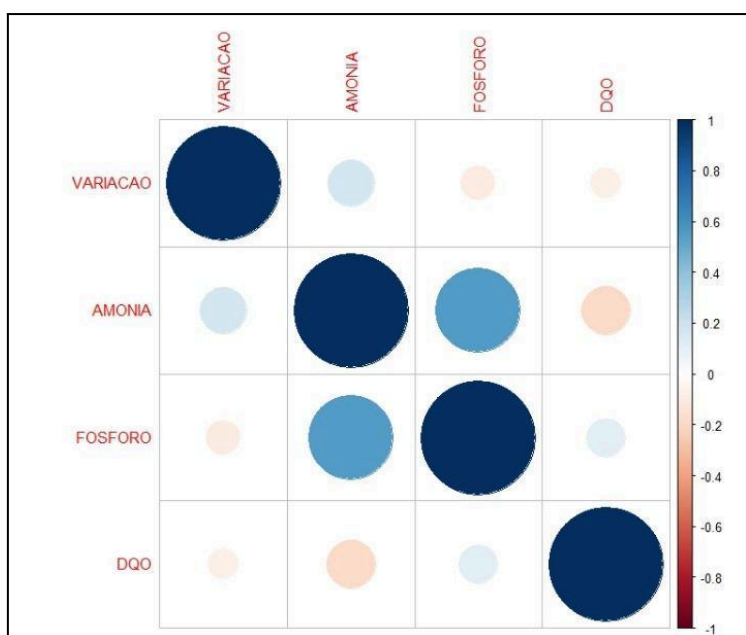


Figura 3: Matriz de correlação entre a variação de altura das macrófitas e as variáveis analisadas.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos evidenciaram uma maior eficiência na remoção de DQO e NH_4^+ em detrimento do PT. Baldovi *et al.* (2021), obtiveram eficiência média de remoção de PT de até 95% em wetlands construídos com macrófita *E. crassipes*. Os autores destacam, contudo, a influência do tempo de operação e da adaptação da macrófita, uma vez que o sistema foi monitorado por um período total de dez meses. A variação da altura das macrófitas durante as estações do ano também foi fator preponderante para as eficiências alcançadas. Durante a estação chuvosa em que houve menor crescimento das plantas em decorrência da baixa incidência de radiação solar, obteve-se a menor eficiência de remoção, de 81,9%.

De acordo com Shi *et al.* (2020) um maior desenvolvimento das macrófitas interfere diretamente nas interações com comunidades bacterianas em águas ricas em nutrientes. Metabólicamente as plantas ajudam na oxigenação da água através de liberação O_2 das raízes para a rizosfera, criando nicho aeróbico na zona radicular aumenta a degradação aeróbica e melhora a nitrificação. O biofilme pode atuar como um bom sumidouro para retenção de fosfatos, desempenhar um papel importante através do processo de nitrificação e desnitrificação.

O crescimento das macrófitas também relaciona-se à remoção de DQO, em vista que são responsáveis pela incorporação de OD por transporte e difusão através de seus sistemas radiculares na rizosfera (Doherty *et al.*, 2015).

É reportada na literatura a possibilidade de se alcançar boa eficiência de remoção de DQO mesmo em curtos TR, como observado na presente pesquisa. Um estudo realizado por Rani *et al.* (2011) utilizando *Typha*



augustifolia e *Canna indica* em wetlands construídos, constatou que a remoção de DQO pode ser alcançada em até 87% em efluente com concentrações iniciais que variaram de 700 - 1200 mg/L, durante o verão aos 6,5 dias de TR.

Todavia, conforme observa-se na matriz de correlação gerada, a variação de altura das macrófitas não exerceu influência significativa nas variáveis analisadas. A tendência observada pode ser decorrente do curto tempo de aclimatação e principalmente quanto aos TR avaliados que não propiciaram variações de altura consideráveis, uma vez que foram utilizados indivíduos jovens. De acordo com Matias (2007), a espécie *Echinodorus subalatus* pode atingir até 73 cm de altura.

CONCLUSÕES

O tratamento da água cinza por WC proporcionaram bom desempenho de remoção especialmente quanto às variáveis DQO e NH₄⁺.

Embora seja de caráter incontestável a importância das macrófitas para a remoção de poluentes em WC, conforme evidenciado em inúmeros trabalhos na literatura, não foi possível observar influência direta do crescimento da planta nas variáveis investigadas, sob às condições avaliadas no estudo.

Para futuras investigações torna-se essencial o monitoramento de sistemas WC com a espécie *Echinodorus subalatus* com TR mais longos e em diferentes estações do ano, visando melhor compreender sua contribuição para a eficiência do sistema, em comparação com sistemas operados sem a presença de macrófitas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução COEMA nº 2, de 2 de fevereiro de 2017, *Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002*. Diário Oficial do Estado, Fortaleza. Disponível em: < <https://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/46/2019/09/COEMA-02-2017.pdf> > . Acesso em: 29 de fev. de 2024.
2. BERMÚDEZ, V. M. S. Sistema de wetland construído com macrófita nativa *echinodorus subalatus* para tratamento de águas cinzas. Tese de doutorado. Universidade Federal do Ceará, centro de ciências. Fortaleza, 2022. 113 p.
3. FEITOSA, A. P. Utilização da tecnologia de wetlands construídos em escala de bancada para tratamento de águas cinzas. Dissertação de mestrado. Instituto Federal do Ceará. Fortaleza. 2023. 77p.
4. JUSTIN, L. D.; OLUKANNI, D.O.; BABAREMU, K. O. *Performance assessment of local aquatic macrophytes for domestic wastewater treatment in Nigerian communities: a review*. *Heliyon*, [S.L.], v. 8, n. 8, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10093>.
5. MOAZZEM, S.; BHUIYAN, M.; MUTHUKUMARAN, S.; FAGAN, J.; JEGATHEESAN, V. *Microbiome Wetlands in Nutrient and Contaminant Removal*. *Current Pollution Reports*, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 694-709, 18 set. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40726-023-00280-9>.
6. QADIRI, R.; ZAHOOR, Z.; GANI, K. M.; ZAID, A.; AALAM, T.; KAZMI, A. r A.; KHALIL, N. *Comparative evaluation of the macrophytes in the constructed wetlands for the treatment of combined wastewater (greywater and septic tank effluent) in a sub-tropical region*. *Environmental Challenges*, [S.L.], v. 5, p. 100265, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envc.2021.100265>.
7. RANI, N. R. C.; KUMAR, M. V.; VIJAY, V. K. *Purification of pulp and paper mill effluent through *Typha* and *Canna* using constructed wetlands technology*. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 1 December 2011; 1 (4): 237–242. doi: <https://doi.org/10.2166/wrd.2011.045>.
8. KATAKI, S.; CHATTERJEE, S.; VAIRALE, M.G.; DWIVEDI, S. K.; GUPTA, D. K. *Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: A review on types of wastewater treated and*



- components of the technology (macrophyte, biofilm and substrate). Journal of Environmental Management*, Volume 283, 2021, 111986. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111986>.
9. MATIAS, L. Q. O gênero *Echinodorus* (*Alismataceae*) do domínio da Caatinga brasileira. *Rodriguésia*, [S.L.], v. 58, n. 4, p. 743-774, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860200758403>.
 10. SHINGARE, R. P.; THAWALE, P. R.; RAGHUNATHAN, K.; MISHRA, A.; KUMAR, S. *Constructed wetland for wastewater reuse: Role and efficiency in removing enteric pathogens. Journal of Environmental Management*, v. 246, p. 444-46, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.157>.
 11. VERGELES, Y.; BUTENKO, N.; ISHCENKO, A.; STOLBERG, F.; HOGLAND, M.; HOGLAND, W. *Formation and properties of sediments in constructed wetlands for treatment of domestic wastewater. Urban Water Journal*, 13(3), 293–301, 2014. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.993178>.
 12. WANG, Q.; HU, Y.; XIE, H.; YANG, Z. *Constructed Wetlands: a review on the role of radial oxygen loss in the rhizosphere by macrophytes. Water*, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 678, 24 maio 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10060678>.
 13. WU, H.; QIAN, Y.; LU, R.; TAN, W. *A theoretical study on the electronic property of a new two-dimensional material molybdenum dinitride. Physics Letters A*, v. 380, Issues 5–6, , p. 768-772, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2015.12.017>.
 14. YANG, C.H.; CROWLEY, D. E. *Rhizosphere Microbial Community Structure in Relation to Root Location and Plant Iron Nutritional Status. Applied And Environmental Microbiology*, [S.L.], v. 66, n. 1, p. 345-351, jan. 2000. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.66.1.345-351.2000>.