

947 - REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DO ESGOTO SANITÁRIO EM SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS CULTIVADOS COM *TULBAGHIA VIOLACEA*

Fátima Resende Luiz Fia⁽¹⁾

Engenheira Agrícola (UFLA), mestre e doutora em Recursos Hídricos e Ambientais no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (UFV). Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DAM/EENG/UFLA).

Lívia Dal Sasso de Souza⁽²⁾

Engenheira Ambiental (UFV), mestre em Engenharia Ambiental (UFLA).

Ronaldo Fia⁽³⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental (UFV), mestre e doutor em Recursos Hídricos e Ambientais no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (UFV). Professor do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM/EENG/UFLA).

Mateus Pimentel de Matos⁽⁴⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental (UFV), mestre em Recursos Hídricos e Ambientais no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (UFV) e doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Professor do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM/EENG/UFLA).

Michele Valquíria dos Reis⁽⁵⁾

Agrônoma (UFVJM), mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal (UFLA) e doutorado em Agronomia/Fisiologia Vegetal (UFLA) com período sanduíche na University of Illinois at Urbana-Champaign. Professora do Departamento de Agricultura da Escola de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Lavras (DAG/ESAL/UFLA).

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 • Lavras/MG – Brasil - Tel: +55 (35) 3829-5235 - e-mail: fatimarlf@ufla.br

RESUMO

Os sistemas alagados construídos são uma forma de tratamento descentralizada de baixo custo e fácil manutenção, eficiente no tratamento de efluentes, tanto domésticos quanto industriais. Sua principal vantagem está na possibilidade de implementação como sistema individual em residências e em comunidades rurais. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SAC-EHSS) cultivados com *Tulbaghia violacea*, no tratamento de efluente sanitário. Foram construídos dois SACs-EHSS em fibra de vidro (0,8 m de comprimento, 0,25 m de largura e 0,25 m de altura) preenchidos com brita #0, o SAC-EHSS 1 foi cultivado com *T.violacea* no total de 12 mudas e o SAC-EHSS 2 não foi cultivado, sendo usado como unidade controle (testemunha). Durante o período de monitoramento das unidades, que foi de 22 de fevereiro de 2022 a 4 de novembro de 2022, foram realizadas 32 amostragens para determinação de sólidos totais (ST), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (PT), fosfato (Pfosf) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK). Para taxas de aplicação de DQO de 116,1 Kg ha⁻¹ d⁻¹ para SAC1 e 118,8 Kg ha⁻¹ d⁻¹ para SAC2, as eficiências de remoção foram de 40% e 33%, respectivamente. Os SACs-EHSS apresentaram eficiências significativas de remoção de ST, NTK e PT. A presença de plantas teve impacto expressivo na eficiência de remoção de DQO, nitrogênio e fósforo mostrando que a espécie *T.violacea* pode ser recomendada como planta ornamental para cultivo em SACs-EHSS utilizados no tratamento de efluente sanitário.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento descentralizado, sustentabilidade, planta ornamental, wetlands construídos, remoção de poluentes.

INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto no Brasil é deficitário e não abrange toda a população e uma questão que dificulta o serviço de coleta de esgotos e consequentemente inviabiliza a aplicação de sistemas de tratamento centralizados de maior porte é o grande número de municípios brasileiros com população dispersa e localizada em zonas rurais, onde o atendimento é ainda mais precário.

Uma alternativa para essas localidades é a utilização de tecnologias de tratamento descentralizado de esgotos, em que o tratamento é realizado próximo da fonte geradora (METCALF; EDDY, 2014). Uma alternativa de sistema descentralizado de tratamento de esgotos, adequado para pequenas comunidades e com resultados eficientes no tratamento de diferentes poluentes, são os Sistemas Alagados Construídos (SACs) que possuem menor custo de construção e simplicidade de operação e manutenção, em comparação aos demais sistemas de tratamento mecanizados (ZHENG et al., 2023).

A presença de plantas nesses sistemas pode desempenhar papel na degradação de matéria orgânica, tanto por meio do aumento da área superficial para a formação do biofilme bacteriano, quanto pela disponibilidade de oxigênio para as zonas radiculares, que favorece processos aeróbios de degradação (MATOS et al., 2019). A influência das plantas no tratamento de efluentes está vinculada, também, à retenção de nutrientes, que são absorvidos durante o crescimento das plantas. O aumento da disponibilidade de nutrientes, até um limite definido para cada cultura, leva à máxima produtividade das plantas, mas o seu excesso pode causar toxicidade (MATOS et al., 2019).

Além do potencial de remoção de nutrientes e a melhoria paisagística, em SACs com alta produção de plantas, a utilização de plantas ornamentais pode fornecer benefícios sociais e econômicos agregando valor aos sistemas (SANDOVAL et al., 2019).

O alho-social (*Tulbaghia violacea*) é uma espécie da família Amaryllidaceae. É uma erva ornamental, terrestre, cuja floração ocorre entre julho e setembro (Figura 2). Não é endêmica do Brasil e pode ser popularmente conhecida também como tulbagia ou agapanto-rosa (PORTUGAL, 2023). Esta espécie é utilizada em paisagismo, na formação de paredes verdes e forração de telhados vivos, além do uso medicinal: folhas e bulbos da *T.violacea* têm sido empregados na fitoterapia para tratamento de diabetes Mellitus (LIMA, 2021), tuberculose, febre, tosse, asma, hipertensão, sinusite, dor de cabeça, câncer de esôfago, reumatismo e distúrbios gastrointestinais, além de possuir propriedades antifúngicas, antibacterianas, antioxidantes e anti-inflamatórias (MAKHUVELE, GBASHI e NJOBEH, 2022).

OBJETIVOS

Avaliar a eficiência de sistemas alagados construídos, cultivados com *Tulbaghia violacea*, no tratamento de esgoto sanitário.

METODOLOGIA UTILIZADA

Caracterização do experimento

O experimento, em escala piloto, foi conduzido nas dependências da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras, localizada no sul de Minas Gerais, latitude 21°14 S, longitude 44°59 W, altitude média de 919 m e clima Cwa, segundo a classificação de Köppen. A água residuária aplicada nos SACs-EHSS foi o efluente da ETE-UFLA, após passar pelo tratamento preliminar (gradeamento e calha Parshall) e tratamento secundário em reator anaeróbio de escoamento ascendente e manta de lodo (reator UASB).

Foram construídos dois SACs-EHSS (SAC-EHSS 1 e SAC-EHSS 2) em fibra de vidro (0,8 m de comprimento, 0,25 m de largura e 0,25 m de altura) preenchidos com brita #0 (diâmetro D60 = 7,0 mm; porosidade drenável = 0,494 m³ m⁻³) e nível d'água a 0,05 m abaixo da superfície do sistema, a fim de evitar odores e proliferação de insetos. O SAC-EHSS 1 foi cultivado com *T.violacea* no total de 12 mudas e o SAC-EHSS 2 não foi cultivado, sendo usado como unidade controle (testemunha). Para evitar colmatagem precoce do meio poroso, o material suporte das unidades foi previamente peneirado e lavado (MATOS et al., 2019).

Para adaptação da espécie vegetal, os sistemas foram inicialmente alimentados com água da rede de abastecimento por uma semana e, em seguida, alimentados com o efluente diluído em água (1:1) por quatro semanas. Após essa fase, iniciou-se o monitoramento dos sistemas, em que o efluente sanitário, após passar pelo tratamento secundário, foi encaminhado para uma caixa de 200 litros para homogeneização do afluente, que foi bombeado aos sistemas utilizando bombas dosadoras a solenoide da marca ProMinent®.

O controle da vazão foi realizado diariamente por meio de medição direta (aferição manual, com uso de cronômetro e proveta) e regulação das bombas. Com base nos registros diários de vazão foi calculada a vazão média de campo. Também foi realizado o registro da vazão de saída de cada SAC-EHSS para auxiliar na determinação das eficiências de remoção com base na carga aplicada e de saída.

Monitoramento e variáveis de qualidade da água analisadas

O período de adaptação da espécie vegetal foi de 19 de janeiro de 2022 a 21 de fevereiro de 2022. Após, iniciou-se o monitoramento das unidades, de 22 de fevereiro de 2022 a 4 de novembro de 2022.

A amostra afluente e efluente de cada SAC-EHSS foi coletada, de forma simples, uma vez por semana, totalizando 32 amostragens. As amostras foram coletadas em frascos de polietileno previamente limpos e encaminhadas para o Laboratório de Águas Residuárias e Reúso de Água. O efluente sanitário foi caracterizado, com análises em triplicata, pelas análises de sólidos totais (ST), por gravimetria (Método 2540 B); demanda química de oxigênio (DQO), em refluxo fechado e leitura titulométrica com sulfato ferroso amoniacal (Método 5220 C); fósforo total (PT) pelo método do ácido ascórbico, utilizando digestão ácida em bloco digestor Marconi (Macro-MA 850/16) e espectrofotômetro Labnova UV-Vis UV8000 e fosfato (Pfosf), após filtração da amostra e utilizando espectrofotômetro Labnova UV-Vis UV8000 (Método 4.500 - PE); nitrogênio total Kjeldahl (NTK), utilizando bloco digestor Marconi (Macro - MA 850/16) e destilador Marconi MA-036; (APHA, AWWA; WEF, 2022).

O potencial hidrogeniônico (pH) e a condutividade elétrica (CE) foram mensurados por método potenciométrico, utilizando medidor MS Tecnopon mPA210 e condutivímetro de bancada da marca AZ, modelo 8650, respectivamente. A temperatura média do ar foi obtida do banco de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), para a Estação 83687 de Lavras, MG.

A estimativa da eficiência de remoção de poluentes foi calculada considerando a concentração das variáveis afluente e efluente (Equação 1) e a carga afluente e efluente aos SACs-EHSS (Equação 2).

$$E = (Ca - Ce)/Ca \times 100 \quad (1)$$

$$C = (Ca \times Qa) - (Ce \times Qe)/(Ca \times Qa) \times 100 \quad (2)$$

em que: E: eficiência de remoção, em relação a concentração (%); C: eficiência de remoção, em relação a carga (%); Ca: concentração afluente (mg L⁻¹); Ce: concentração efluente (mg L⁻¹); Qa: vazão afluente (L d⁻¹); Qe: vazão efluente (L d⁻¹).

O tempo de detenção hidráulica teórico (TDH teórico), a vazão média de campo, com base nos registros diários de vazão de entrada (Qmédia entrada) e o tempo de detenção hidráulica com base nas vazões de campo (TDH com base na Qmédia) dos SACs-EHSS durante o período experimental, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Características operacionais dos SACs-EHSS.

Parâmetro	SAC-EHSS 1	SAC-EHSS 2
TDH teórico (d)	1,7	1,7
Qmédia (entrada) (m ³ d ⁻¹)	0,017	0,019
TDH (com base na Qmédia) (d)	1,6	1,4

A análise estatística para comparação do desempenho dos SACs-EHSS foi realizada por meio de teste não paramétrico, uma vez que o teste de Shapiro-Wilk, a 5% de significância, evidenciou que os resíduos não seguem distribuição normal, o que é esperado para dados ambientais, principalmente em se tratando de águas residuárias com grande variação de características. Para isso, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis e posterior de Dunn, com nível de significância de 5%, empregando o software Statistica 10.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias das características do efluente sanitário na entrada e na saída dos SACs-EHSS, além do desvio padrão, medianas e médias das eficiências de remoção são apresentadas na Tabela 2 e as taxas de carga orgânica e de nutrientes e as eficiências calculadas com base nas cargas aplicadas estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2:1 Características do efluente sanitário, na entrada e saídas dos SACs-EHSS, durante o período experimental.

Variáveis		Entrada	Saída	
			SAC-EHSS 1	SAC-EHSS 2
pH	Média	7,8 ± 0,2	8,0 ± 0,2	8,0 ± 0,2
	Mediana	7,8 a	8,0 a	8,0 a
CE	Média	1402,7 ± 280,8	1302,6 ± 257,2	1325,3 ± 240,3
	Mediana	1430,7 a	1331,0 a	1351,0 a
ST	Média	351,5 ± 84,0	337,1 ± 75,8	338,4 ± 82,4
	Mediana	350,8 a	321,3 a	328,3 a
	E (%)	-	4,1	3,7
DQO	Média	131,7 ± 41,5	82,4 ± 39,8	93,3 ± 40,5
	Mediana	132,6 a	70,9 bc	90,4 abc
	E (%)	-	37,5	29,1
NTK	Média	28,2 ± 13,6	23,2 ± 11,6	25,3 ± 12,7
	Mediana	27,1 a	21,9 a	24,3 a
	E (%)	-	17,5	10,2
PT	Média	11,1 ± 3,0	10,5 ± 3,3	10,8 ± 3,3
	Mediana	11,1 a	10,2 a	11,4 a
	E (%)	-	4,8	2,2
Pfosf	Média	9,3 ± 2,7	8,6 ± 2,9	9,1 ± 2,3
	Mediana	8,9 a	8,1 a	9,5 a
	E (%)	-	7,7	0,2
T _{ar}	Média	21,8	21,8	21,8

CE: condutividade elétrica, em $\mu\text{S cm}^{-1}$; ST: sólidos totais, em mg L^{-1} ; DQO: demanda química de oxigênio, em mg L^{-1} ; NTK: nitrogênio total Kjeldahl, em mg L^{-1} ; PT: fósforo total, em mg L^{-1} , Pfosf: fosfato, em mg L^{-1} ; Tar: temperatura média do ar, em $^{\circ}\text{C}$. Medianas seguidas pela mesma letra em cada linha não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis, em nível de 5% de significância.

Tabela 3: Taxa de carga de e eficiência com base na carga nos SACs-EHSS.

Variáveis		SAC-EHSS 1	SAC-EHSS 2
ST	TC	311,5 ± 93,0	319,1 ± 92,4
	C (%)	10,7	9,9
	M (%)	11,5 a	12,0 a
DQO	TC	116,1 ± 39,6	118,8 ± 37,9
	C (%)	39,8	33,9
	M (%)	39,8 ab	32,8 c
NTK	TC	24,1 ± 11,0	25,4 ± 12,9
	C (%)	21,3	13,9
	M (%)	21,8 ab	23,3 c
PT	TC	9,8 ± 2,8	10,1 ± 3,0
	C (%)	13,1	10,1
	M (%)	11,0 ab	8,6 c
P _{fosf}	TC	8,2 ± 2,5	8,4 ± 2,4
	C (%)	15,4	8,2
	M (%)	12,2 ab	9,1 c

TC: Taxa de carga das diferentes variáveis com base na área superficial dos SACs-EHSS, em kg ha⁻¹ d⁻¹; C: médias das eficiências de remoção, em %; M: medianas das eficiências de remoção, em %. Medianas seguidas pela mesma letra em cada linha não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis, em nível de 5% de significância.

As eficiências de remoção em relação a carga aplicada e removida de ST nos SACs-EHSS 1 e 2, respectivamente, foram 11% e 9,9%, superiores às observadas na Tabela 2. Com base na carga aplicada e de saída dos SACs-EHSS, não houve diferença estatística significativa nos valores das medianas das eficiências de remoção (teste de Kruskal-Wallis, $\alpha = 0,05$) entre o SACs-EHSS plantado e não plantado.

As eficiências médias de remoção de DQO diferiram estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) entre o sistema plantado e não plantado e variaram de 40% para o SACs-EHSS 1 e 34% para o SAC-EHSS 2. A presença de plantas pode ter impacto expressivo na eficiência de remoção de matéria orgânica, que está associada tanto a maior área superficial disponibilizada pelas raízes para a formação do biofilme bacteriano, responsável pela degradação microbiana da matéria orgânica, quanto pela disponibilidade de oxigênio, que favorece processos aeróbios de degradação (MATOS et al., 2019).

As eficiências de remoção em relação a carga aplicada e removida de NTK nos SACs-EHSS 1 e 2, respectivamente, foram 21% e 14%, superiores às observadas na Tabela 2. Pelo teste de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) houve diferença estatística significativa nos valores das medianas da eficiência de remoção de NTK entre o SAC-EHSS plantado com *T. violacea* e o não plantado. A maior eficiência de remoção no sistema plantado pode ser explicada pela liberação de exsudatos das raízes, que afetam positivamente a microbiota radicular (CHEN et al., 2016), absorção de nitrogênio pelas plantas, além da possibilidade de oxigenação do meio por estas, condição que favorece o desenvolvimento de uma comunidade microbiana mais ativa e heterogênea próxima à zona de raízes.

De forma geral, as eficiências de remoção de nitrogênio nos SACs-EHSS, neste trabalho, foram inferiores a faixa de 40-50% verificadas para diferentes tipos de SACs, com taxas médias de carga de nitrogênio total entre 12,76 kg ha⁻¹ d⁻¹ e 33,48 kg ha⁻¹ d⁻¹ (VYMAZAL, 2007). Em vista disso, é importante destacar que cada espécie vegetal e microbiana possui capacidade de absorção de nutrientes limitada e isso exerce influência na eficiência de remoção de nutrientes, principalmente nos sistemas plantados (MATOS et al., 2019). No entanto, não há relatos do emprego da espécie *T. violacea* em SACs em escala piloto ou real.

As eficiências de remoção em relação a concentração de PT nos SACs-EHSS 1 e 2, respectivamente, foram 4,8% e 2,2%. Pelo teste de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$), não houve nos valores das medianas de PT diferença estatística significativa antes e após o tratamento nos SACs-EHSS. Para o P_{fosf}, as eficiências de remoção em relação à concentração nos SACs-EHSS 1 e 2, respectivamente, foram 7,7% e 0,2%, diferença entre os SACs-EHSS não significativa, segundo o teste de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$).

As eficiências de remoção de PT obtidas neste trabalho foram consideradas baixas, mesmo considerando a remoção com relação a carga. Vymazal (2007) verificou para diferentes tipos de SACs, com taxas médias de

carga afluyente de PT entre 3,45 kg ha⁻¹ d⁻¹ e 5,48 kg ha⁻¹ d⁻¹, eficiências de remoção de 40 a 60%. Para o autor, a remoção de P em todos os tipos de SACs é baixa, mas pode ser maximizada com a utilização de substratos com elevada capacidade de adsorção.

O papel da *T.violacea*, ainda que sutil, fica evidente ao se comparar o sistema plantado com o sistema não plantado, havendo diferença estatística significativa nos valores das medianas da eficiência de remoção, pelo teste de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) para as variáveis DQO e NTK.

CONCLUSÕES

Como conclusões do trabalho, tem-se que:

As eficiências de remoção de matéria orgânica e nutrientes com base na carga aplicada foram superiores as calculadas com base na concentração;

As eficiências médias de remoção diferiram estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) entre o sistema plantado e não plantado para as variáveis DQO e NTK.

As eficiências de remoção de poluentes obtidas neste trabalho foram consideradas baixas, no entanto, não há relatos do emprego da espécie *T.violacea* em SACs em escala piloto ou real;

A presença de plantas teve impacto expressivo na eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes mostrando que a espécie *T.violacea* pode ser recomendada como planta ornamental para cultivo em SACs-EHSS utilizados no tratamento de efluente sanitário, pois além da adaptação ao meio, sua capacidade de acúmulo de macronutrientes (nitrogênio e fósforo) está dentro da faixa reportada para outras espécies com uso consolidado nesses sistemas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a FAPEMIG (PROCESSO: APQ-02800-21) e a CAPES pelo apoio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. American Public Health Association. AWWA. American Water Works Association). WEF. Water 118 Environment Federation. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 24th. ed. Washington. D. C.: APHA/AWWA/WEF, 2022.
- AVELAR, F. F.; MATOS, A. T. de; MATOS, M. P. Remoção de contaminantes do esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com *Mentha aquatica*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, p. 1259-1266, 2019.
- CHEN, Z-J; TIAN, Y-H; Zhang, Y.; SONG, B-R; LI, H-C; CHEN, Z-H. Effects of root organic exudates on rhizosphere microbes and nutrient removal in the constructed wetlands. *Ecological Engineering*, v. 92, p. 243-250, 2016.
- LIMA, L. J. F. de. *Plantas medicinais utilizadas no tratamento de diabetes mellitus: uma revisão da literatura*. 2021. 1 v. Monografia (Especialização) - Curso de Farmácia, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2021.
- MAKHUVELE, R.; GBASHI, S.; NJOBEH, P. B. GC-HRTOF-MS metabolite profiling and antioxidant activity of methanolic extracts of *Tulbaghia violacea* Harv. *Journal of King Saud University-Science*, v. 34, n. 7, p. 102278, 2022.
- MATOS, M. P.; VON SPERLING, M.; MATOS, A. T.; ARANHA, P. R. A.; SANTOS, M. A.; PESSOA, F. D. B.; VIOLA, P. D. D. Clogging in constructed wetlands: indirect estimation of medium porosity by analysis of ground-penetrating radar images. *Science of the Total Environment*, v. 676, p. 333-342, 2019.
- METCALF & EDDY (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5th Edition, McGraw-Hill, New York.
- PORTUGAL. JARDIM BOTÂNICO DE UTAD. (org.). Espécie *Tulbaghia violacea*. Disponível em: https://jb.utad.pt/especie/Tulbaghia_violacea. Acesso em: 02 maio 2023.
- SANDOVAL, L; ZAMORA-CASTRO, S. A.; Vidal-Álvarez, M.; MARÍN-MUÑIZ, J. L. Role of wetland plants and use of ornamental flowering plants in constructed wetlands for wastewater treatment: A review. *Applied Sciences*, v. 9, n. 4, p. 685, 2019.
- VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, v. 380, n. 1-3, p. 48-65, 2007.

ZHENG, H.; LIAO, Y.; CHAI, H.; ZHAO, L.; CAO, X.; FENG, L.; JI, F. Performance and mechanism of falling water enhanced tidal flow constructed wetlands (F-TFCW) for rural grey water treatment. *Journal of Cleaner Production*, v. 404, p. 136969, 2023.