

REMOÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE ESGOTO TRATADO EM LEITOS CULTIVADOS COM DIFERENTES ESPÉCIES DE PLANTAS

Rodrigo Moura Pereira¹, Daniel Ferreira da Silva², Ana Cláudia Oliveira Sérvulo³, Delvio Sandri⁴

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar a remoção de atributos físicos e químicos de esgoto doméstico tratado em tanques sépticos, seguidos de sistemas de zona de raízes (SZR) e sistema não cultivado (SnC). O tratamento primário compreende um conjunto de três tanques sépticos em série de 5100 L de volume útil e o secundário de caixas preenchidas com brita #2, um cultivado com papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*) (SZRpb), outro com taboa (*Typha domingensis*) (SZRt) e um sistema não cultivado - controle (SnC). Foram realizadas 10 coletas de afluente e efluente ao SZR e SnC no período de 14/12/17 a 13/07/18, às 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00h. O oxigênio dissolvido (OD) foi maior no afluente do SnC, tanto entre os horários como entre as datas de coleta. O nitrato teve maior redução no efluente de SZRt. O SZRpb e SZRt foram eficientes na remoção de Na^{2+} , K^{+} , NO_3^{-} , Fe_{total} e Alc. total, em relação ao SnC. A remoção de sólidos totais e turbidez esteve mais relacionada com o meio poroso do que com as espécies de plantas cultivadas.

PALAVRAS-CHAVE: Leitos cultivados, meio de suporte, macrófitas, águas residuárias

REMOVAL OF CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF WASTEWATER TREATED IN WATERLANDS CULTIVATED WITH DIFFERENT PLANT SPECIES

ABSTRACT: The aim of this work was to evaluate the removal of physical and chemical attributes of wastewater treated by septic tanks followed by cultivated wetlands (SZR) and noncultivated wetland (SnC). The primary treatment comprises a set of three septic tanks in series with 5100 L of useful volume and the secondary treatment consists of boxes filled with gravel #2, one cultivated with Brazilian papyrus (*Cyperus giganteus*) (SZRpb), another with taboa (*Typha domingensis*) (SZRt) and a noncultivated control system (SnC). Ten tributary

¹Doutorando, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Brasília, DF.

²Graduando, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária UnB, Brasília, DF.

³Doutoranda, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária UnB, Fone (62) 98405-6760 e-mail: anaclaudiaoservulo@hotmail.com.

⁴Prof. Doutor, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Brasília, DF.

and effluent collections were carried out at SZR and SnC from December 14, 2017 to July 13, 2018, at 8:00 a.m., 10:00 a.m., 2:00 p.m. and 4:00 p.m. The dissolved oxygen (OD) was higher in the affluent of the SnC, both between the times and between the collection dates. The remotion of NO_3^- , was higher in SZRt. In comparison to SnC, SZRp and SZRt were more efficient on removal of Na^{2+} , K^+ , NO_3^- , Fe and Alcalinity. The removal of total solids and turbidity was more related to the porous medium than to the cultivated plant species.

KEYWORDS: Cultivated beds, support medium, macrophytes, wastewater

INTRODUÇÃO

Apesar de ser um direito assegurado pela Constituição Federal de 1988 e definido pela Lei nº 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, atualmente, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS, 2019), o índice médio de tratamento de esgotos do país chega a 46% para a estimativa de esgotos gerados e 73,7% para os esgotos que são coletados. Diante disso, o tratamento de esgoto descentralizado, especialmente em pequenos e médios municípios, núcleos rurais, indústrias, etc, utilizando tanques sépticos (TS) seguidos de Sistemas de Zona de Raízes (SZR), têm se mostrado uma alternativa promissora (WU et al., 2014; SAEED & KHAN, 2019). Para Santos et al. (2011) e Colares & Sandri (2013), o SZR têm como principais vantagens, o baixo custo de implantação, baixo consumo de energia, simplicidade operacional e de manutenção, elevada eficiência na remoção de atributos físicos e químicos presentes no esgoto, dispensa o uso de produtos químicos no tratamento e não utiliza equipamentos mecanizados.

No SZR a remoção de atributos físicos, químicos e microbiológicos decorre do sinergismo entre o material de suporte, plantas e micro-organismos (sedimentação, filtração, absorção, precipitação e adsorção química, interações microbianas, extração de sais pelas plantas, volatilização e complexação (WU et al., 2014). Em um SZR, a escolha da macrófita a ser cultivada deve considerar a tolerância ao ambiente saturado, o seu potencial de crescimento e a presença destas espécies naturalmente nas áreas onde o sistema será implantado, além disso, deve-se considerar o custo para o plantio e manutenção, como a poda regular (TOSCANO et al., 2015). Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo quantificar a capacidade de remoção de atributos físicos e químicos em esgoto tratado sob sistema de zona de raízes com leitos cultivados com papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*), taboa (*Typha spp*) e em leito não cultivado (Controle).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na estação de tratamento de esgoto (ETE) da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB), localizada entre as coordenadas 15°46'46" S e 47°55'46" W. Os esgotos produzidos na FAL/UnB e conduzidos à ETE são provenientes de descargas sanitárias e do refeitório da FAL/UnB. O sistema é composto por um tratamento primário, que compreende um conjunto de três TS em série com volume útil de 5100 L, para remoção de matéria orgânica por decantação, sendo que os mesmos se encontram em operação desde de abril de 2015. Nesse período o volume útil dos TS reduziu 6,3% no primeiro TS, já no segundo e terceiro a redução foi inferior a 5%. O Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) dos TS's foi obtido segundo metodologia de Metcalf; Eddy, (1991). Após os TS's foi instalada uma caixa de passagem com volume útil de 72 L, onde foi instalado três vertedouros triangulares com ângulo interno de 38° para ajustar a vazão e garantir mesmo TDH nos SZR's e no SnC.

As caixas para o SZR e SnC foram construídas em fibra de vidro com espessura da parede de 3 mm, possuindo 2,5 m (largura), 6,5 m (comprimento) e 0,5 m (altura), com manutenção do nível do esgoto a 0,02 m da borda superior. O volume total de cada SZR e SnC é de 8,13 m³, porém, a porosidade da brita #2, que os preenchem totalmente, é de 50%, o que resulta em volume útil individual de 4,06 m³. Em um SZR foi cultivado o papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*) (SZRpB), noutro a taboa (*Typha spp*) (SZRt), espécies de macrófitas facilmente encontradas na região e o terceiro não foi cultivado (SnC). No período do experimento as macrófitas estavam totalmente desenvolvidas, com sobreamento da superfície do SZR em cerca de 90% por Taboa e 95% com papiro-brasileiro.

Foram coletadas amostras de afluente de esgoto (entrada) e efluente (saída) dos SZR's e no SnC nas datas de 14/12/17; 27/03/18; 10/04/18; 11/05/18; 25/05/18; 08/06/18; 12/06/18; 15/06/18; 06/07/18 e 13/07/18. Coletou-se uma amostra afluente, representativa de todos os SZR e SnC e efluente na saída de cada SZR e SnC, às 8:00; 10:00; 12:00; 14:00 e 16:00 h, e, ao final da última coleta as amostras foram misturadas formando uma amostra composta. O pH, condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD) foram observados *in loco* em cada um dos 5 horários de coleta. Já os atributos sódio (Na), potássio (K), nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻), ferro total (Fe_{total}), sólidos totais (ST), turbidez (NTU) e alcalinidade total (CaCO₃), foram medidos somente na amostra composta.

As amostras de afluente e efluente foram armazenadas em frascos de plástico esterilizados, acondicionadas em caixa de isopor com gelo, transportadas para o laboratório e

conservadas em geladeira para análise posterior. Foi utilizado o Laboratório de Análise de Água da FAV/UnB, aplicando-se as metodologias da APHA; AWWA; WPCF (2005). O cálculo da eficiência de remoção (Ef) foi obtido pela Equação 1 proposta por (ALMEIDA & UCKER, 2011).

$$Ef (\%) = \frac{(Ca \times Qa) - (Ce \times Qe)}{(Ca \times Qa)} \times 100 \quad (1)$$

Em que, Ef = eficiência de remoção de cada atributo (%); Ca = concentração do atributo no afluente; Ce = concentração do atributo no efluente; Qa = vazão afluente e Qe = vazão efluente.

Para a obtenção da Ef, mediu-se as vazões de entrada e saída de cada sistema, onde se obteve a média de quatro datas de coleta (23/04, 08/05; 22/05 e 12/06/18), as quais foram 554,5 e 400,3 L dia⁻¹; 553,5 e 261,5 L dia⁻¹; 589,1 e 238,1 L dia⁻¹ na entrada e saída do SnC, SZRpb e SZRt, respectivamente. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan ($\alpha=0,05$) utilizando o Software Assistat 7.7 beta (2016). Para comparação entre os SZR e SnC considerou-se como repetição os dias de coleta (10 repetições), já os parâmetros pH, CE e OD, além da análise entre os SZR e SnC, comparou-se também os resultados entre os horários de coleta (8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 h).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH (Tabela 1), estiveram mais próximos a valores neutros às 14:00h, onde, tanto no afluente quanto no efluente dos SZR's e no SnC, foram próximos a 7,27. O pH entre o afluente e efluente dos SZR's e do SnC foi similar, com exceção ao horário das 16:00h, em que o valor no afluente foi ligeiramente superior (pH = 6,58) em relação ao SnC (pH = 6,23), SZRpb (pH = 6,22) e SZRt (pH = 6,22), isso ocorreu possivelmente devido à utilização de sanitizantes na higienização do refeitório que ocorre nesse horário. Nos SZR's as reduções de pH médio, são decorrentes da produção de ácidos orgânicos naturais por bactérias, como efeito da decomposição incompleta da matéria orgânica (CARVALHO et al., 2012). O menor valor de OD observado no efluente SZRt ocorreu às 10:00h (6,87 mg L⁻¹ O₂), enquanto que no SZRpb observou-se às 12:00h o valor de 12,08 mg L⁻¹ O₂.

Considerando os valores médios entre as coletas (Tabela 1), o efluente de SZRt apresentou os menores valores de OD. A CE apresentou diferenças entre os horários de medida ao longo do dia no afluente, onde, às 16:00h foi de $1,37 \text{ dS m}^{-1}$, inferior aos demais horários do dia. Considerando a média entre as datas de coleta (Tabela 1), observou-se que o menor valor de CE foi no afluente ($1,60 \text{ dS m}^{-1}$), em relação ao efluente SZRp e SZRt e do SnC que foram todos acima de $2,20 \text{ dS m}^{-1}$. O CV foi considerado elevado com valor acima de 30%, que se deve, em grande parte, a grande variação de vazão entre os dias de análise. Como esperado, o maior valor de sólidos totais foi observado no afluente, com valor médio entre as datas de coleta de $0,21 \text{ mg L}^{-1}$, já o SnC e SZR papiro apresentaram os menores valores ($0,15 \text{ mg L}^{-1}$) (Tabela 1).

Medições realizadas em setembro/2017 mostraram diferenças entre os tanques sépticos no acúmulo de sólidos totais no fundo dos tanques. O primeiro TS apresentou uma altura de 10 cm de lodo no fundo, o segundo e o terceiro apresentaram alturas de lodo inferiores a 10 cm em seu interior, o que corresponde a 6,3% do volume útil de cada TS. Ressalta-se que os TS se encontram em operação há 4 anos e 4 meses. O reduzido acúmulo de sólidos no interior dos TS se deve a baixa carga de sólidos gerados no refeitório da FAL, uma vez que estes são separados no processo de lavagem das louças bem como o baixo número de funcionários que utilizam os sanitários.

Tabela 1. Valores médios de pH, OD, condutividade elétrica e sólidos totais, do afluente e efluente ao SnC, SZRp e SZRt e CV dos pontos de amostragem.

Parâmetro	Afluente	SnC	SZRp	SZRt	CV (%)
pH	6,6 a	6,5 a	6,5 a	6,5 a	1,69
OD ($\text{mg L}^{-1} \text{ O}_2$)	17,1 a	16,1 a	14,2 b	8,4 c	9,79
CE (dS m^{-1})	1,60 b	2,72 a	2,34 ab	2,24 ab	37,07
ST (mg L^{-1})	0,21 a	0,15 c	0,15 c	0,19 b	13,06

Médias seguidas por letra iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de variação, efl.: efluente, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE) e sólidos totais (ST), SnC: Sistema não cultivado, SZRp: Sistema de zona de raízes com papiro-brasileiro, SZRt: Sistema de zona de raízes com taboa.

Em relação aos valores médios observados dos atributos, observa-se que o maior valor de Na foi obtido no afluente (Tabela 2), enquanto que nos SZR's os teores oscilaram entre $0,52$ e $0,57 \text{ mg L}^{-1}$. Simões *et al.* (2012) observaram concentrações de 140 mg L^{-1} de Na em efluente doméstico tratado em sistema convencional. O maior valor de K foi obtido no SZRt, já o menor ocorreu no efluente do SnC. Os valores observados de NO_2^- foram significativamente menores no afluente em relação ao efluente do SnC, SZRp e SZRt, que se

deve à nitrificação da amônia, sendo oxidadas em nitrito pelas bactérias nitrosas. Em relação à eficiência de remoção dos atributos (Tabela 3), parte do nitrato foi absorvido pelas plantas, fato que resultou em maiores valores de NO_2^- no SnC, com Ef de elevação (Ef = -254,85%).

A Ef de redução de turbidez foi de cerca de 98% nos SZR e 97% no SnC, favorecido pelo elevado TDH, demonstrando que as macrófitas papiro-brasileiro e taboa, pouco influenciaram na redução da turbidez, devendo-se basicamente a filtragem do meio de suporte (brita #2). Lu *et al.* (2016), avaliaram leitos cultivados tendo como substratos escória da produção de aço, calcário, cascalho e carvão vegetal e observaram reduções na turbidez do efluente em 88,7%, 70,7%, 89,7% e 67,6% respectivamente. A alcalinidade total foi igual entre o afluente e efluente do SnC, SZRpb e SZRt.

Tabela 2. Valores médios dos atributos e coeficientes de variação do afluente e do efluente do SnC, SZRpb e SZRt.

Atributos (mg L ⁻¹)	Afl.	SnC	SZRpb	SZRt	CV (%)			
					Afl.	SnC	SZRpb	SZRt
Na	0,62 a	0,55 b	0,57 b	0,52 b	4,62	5,72	3,36	3,15
K	49,68 ab	49,04 b	49,86 ab	50,0 a	5,14	6,30	4,00	4,38
NO_2^-	0,06 b	0,25 a	0,28 a	0,35 a	43,78	56,25	95,55	83,51
NO_3^-	1,9 a	1,64 a	1,72 a	1,32 b	27,97	17,93	31,89	22,87
Fe (1,74 a	0,91 b	0,93 b	1,16 b	24,23	38,36	37,27	52,20
Turb. (NTU)	102,87 a	4,04 b	3,41 b	5,14 b	8,94	15,23	83,25	127,54
Alc. CaCO_3	44,57 a	44,3 a	44,3 a	44,3 a	0,13	1,19	0,34	0,47

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de variação. Afl.: Afluente; Turb.: Turbidez, Alc.: alcalinidade total, SnC: Sistema não cultivado, SZRpb: Sistema de zona de raízes com papiro-brasileiro, SZRt: Sistema de zona de raízes com taboa.

A partir de inspeção visual do desenvolvimento das plantas nos leitos cultivados, o papiro gigante apresentou maior preenchimento da cobertura do leito, enquanto que a taboa teve um menor desenvolvimento no primeiro terço do leito, o que pode ter ocorrido devido a um provável efeito fitotóxico do sanitizante proveniente do afluente, entretanto, o maior desenvolvimento radicular da taboa compensou este menor desenvolvimento resultando em eficiência de remoção dos atributos semelhante ao leito cultivado com papiro gigante (Tabela 3).

Tabela 3. Eficiência do sistema de tratamento de atributos do afluente em relação ao efluente.

Tipo de sistema	Eficiência (%)						
	Na ²⁺	K ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Fe _{total}	Turbidez	Alc. total
SnC	34,9	28,7	-254,9	32,6	59,12	97,15	28,24
SZRpb	56,7	55,5	-99,4	57,2	76,17	98,43	53,00
SZRt	62,8	59,3	-113,3	70,26	76,10	97,98	59,79

SnC: Sistema não cultivado, SZRpb: Sistema de zona de raízes com papiro-brasileiro, SZRt: Sistema de zona de raízes com taboa. Valores negativos de eficiência no NO₂⁻, significa que o teor foi maior no afluente em relação ao efluente.

CONCLUSÕES

O SZRpb e SZRt foram eficientes na remoção de Na²⁺, K⁺, NO₃⁻, Fe_{total} e Alcalinidade total, em relação ao SnC. A remoção de sólidos totais e turbidez esteve mais relacionada com o meio poroso do que com as espécies de plantas cultivadas. As duas espécies são recomendadas para utilização em sistema de zona de raízes, entretanto, o tipo de sanitizante proveniente do afluente pode afetar o crescimento da taboa (*Typha spp*) no primeiro terço do leito cultivado.

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.

CARVALHO, S. T.; MARTINS, I.; GONÇALVES, P. S.; SIQUEIRA, R. Avaliação do Uso de Áreas Construídas de Superfície Alagada Livre (SAL) para Tratamento de Efluentes Superficiais de Pátios de Compostagem da Indústria de Celulose. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, p. 131-142, 2012.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013.

LU, S.; ZHANG, X.; WANG, J.; PEI, L. Impacts of different media on constructed wetlands for rural household sewage treatment. **Journal of Cleaner Production**, v. 127, p. 325-330, 2016.

SAEED, T.; KHAN, T. Constructed wetlands for industrial wastewater treatment: Alternative media, input biodegradation ratio and unstable loading. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 2, p. 1-11, 2019.

SIMÕES, K. S.; PEIXOTO, M. F. S. P.; ALMEIDA, A. T.; LEDO, C. A. S.; PEIXOTO, C.; PEREIRA, F. A. C. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 518-523, 2013.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS 2019). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2019, 226p.

TOSCANO, A.; MARZO, A.; MILANI, M.; CIRELLI, G. L.; BARBAGALLO, S. Comparison of removal efficiencies in Mediterranean pilot constructed wetlands vegetated with different plant species. **Ecological Engineering**, v. 75, p. 155-160, 2015.

WU, H.; ZHANG, J.; NGO, H. H.; GUO, W.; HU, Z.; LIANG, S.; FAN, J.; LIU, H. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. **Bioresource Technology**, v. 175, p. 594-601, 2014.