

Uso de sistemas alagados construídos no tratamento de águas negras em áreas rurais
Use of constructed wetland systems in the treatment of black waters in rural areas
Uso de Sistemas humedales construidos en el tratamiento de aguas negras en zonas rurales

Recebido: 28/10/2020 | Revisado: 10/11/2020 | Aceito: 11/11/2020 | Publicado: 15/11/2020

Tamara Daiane de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6849-5877>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: tamara.souza@ufop.br

Múcio André dos Santos Alves Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8051-7805>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: mucioandre@gmail.com

Eduardo Morgan Uliana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2107-4634>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: morganuliana@gmail.com

Nuria Perez Gallardo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7941-7367>

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil

E-mail: nuria_perez@unifesspa.edu.br

Melissa Fabíola Dos Santos Alves Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8542-3069>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: melissamendes@zootecnista.com.br

Rúbia Lemos Ferreira Carneiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8651-2901>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: rubia.lemos8@hotmail.com

Resumo

A deficiência do planejamento na área de saneamento básico é um fator relevante para a criticidade da saúde pública, qualidade de vida, degradação ambiental e desenvolvimento do país. Esta situação se agrava em áreas rurais, devido ao alto custo de instalação e manutenção de sistemas convencionais. Neste contexto, o sistema Alagado Construído (SAC) surge como alternativa promissora, sendo sua implementação e manutenção relativamente simples, possibilidade de utilizar materiais acessíveis e elementos paisagísticos. Diante de tais perspectivas, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o tratamento de águas negras por meio do Sistema de Alagado Construído para uma residência em área rural na região do Rio Piracicaba/MG. A espécie vegetal utilizada foi a *Typha domingensis* (Taboa) e foram realizadas análises de DBO, nitrogênio total, fósforo, turbidez, pH e sólidos totais. Como resultado, observou-se que a taboa apresentou adequada adaptação ao sistema. O SAC proporcionou satisfatória eficiência na redução dos parâmetros avaliados, com destaque para a turbidez, que atingiu 95,5% de remoção, indicando alta taxa de remoção de sólidos suspensos. A remoção de DBO também foi significativa, com média de 78,2%. A redução de fósforo atingiu 84% enquanto o nitrogênio foi atenuado em 41%, em média. O sistema apresentou ainda uma eficiência de 88,6% na remoção de sólidos totais e o pH se manteve próximo a neutralidade. Diante dos resultados, verifica-se que o lançamento do efluente sanitário da residência analisada atende às condições exigidas pela legislação ambiental brasileira e corrobora a viabilidade de implementação do sistema alagado construído em áreas rurais.

Palavras-chave: Saneamento rural; Tratamento de águas residuárias; Esgoto doméstico.

Abstract

The lack of planning in the area of basic sanitation is a relevant factor for the criticality of public health, quality of life, environmental degradation and the country's development. This situation is aggravated in rural areas, due to the high cost of conventional systems installing and maintaining. In this context, the constructed wetland systems (CW) emerge as a promising alternative, with its implementation and maintenance relatively simple, the possibility of using accessible materials and landscape elements. In view of such perspectives, the present research aimed to evaluate the treatment of black waters through the constructed wetland systems for a residence in a rural area in the Piracicaba / MG region. The plant species used was *Typha domingensis* (Taboa) and analyzes of BOD, total nitrogen, phosphorus, turbidity, pH and total solids were performed. As a result, it was observed that the cattail showed adequate adaptation to the system. The CW provided satisfactory efficiency in reducing the evaluated parameters,

with emphasis on turbidity, which reached 95.5% removal, indicating a high rate of removal of suspended solids. The removal of BOD was also significant, with a mean of 78.2%. Phosphorus reduction reached 84%, while nitrogen was reduced by 41%, on average. The system also showed an efficiency of 88.6% in the removal of total solids and the pH remained close to neutrality. Given the results, it appears that the release of the sanitary effluent from the analyzed residence comply with the conditions required by Brazilian environmental legislation and corroborates the feasibility of implementing the constructed wetland systems in rural areas.

Keywords: Rural sanitation; Wastewater treatment; Domestic sewage.

Resumen

La falta de planificación en el área de saneamiento básico es un factor relevante para la criticidad de la salud pública, la calidad de vida, la degradación ambiental y el desarrollo del país. Esta situación se agrava en las zonas rurales, debido al alto costo de instalación y mantenimiento de los sistemas convencionales. En este contexto, el sistema humedale construido (HC) aparece como una alternativa prometedora, con su implementación y mantenimiento relativamente simple, la posibilidad de utilizar materiales y elementos de paisaje accesibles. Ante tales perspectivas, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el tratamiento de las aguas negras a través del sistema humedal construido para una residencia en una zona rural de la región de Piracicaba / MG. La especie vegetal utilizada fue *Typha domingensis* (Taboa) y se realizaron análisis de DBO, nitrógeno total, fósforo, turbidez, pH y sólidos totales. Como resultado, se observó que la espadaña mostró una adecuada adaptación al sistema. Como resultado, se observó que la espadaña mostró una adecuada adaptación al sistema. El HC brindó una eficiencia satisfactoria en la reducción de los parámetros evaluados, con énfasis en la turbidez, la cual alcanzó 95.5% de remoción, indicando una alta tasa de remoción de sólidos en suspensión. La eliminación de DBO también fue significativa, con una media de 78,2%. La reducción de fósforo alcanzó el 84%, mientras que el nitrógeno se redujo en un 41%, en promedio. El sistema también mostró una eficiencia del 88,6% en la remoción de sólidos totales y el pH se mantuvo cercano a la neutralidad. A la vista de los resultados, parece que la descarga del efluente sanitario de la residencia analizada cumple con las condiciones exigidas por la legislación ambiental brasileña y corrobora la factibilidad de implementar el sistema inundado construido en áreas rurales.

Palabras clave: Saneamiento rural; Tratamiento de aguas residuales; Alcantarillado doméstico.

1. Introdução

Ao longo da história, o tratamento de efluentes apresentou, e ainda apresenta, uma relação estreita com a qualidade de vida da população. A falta de saneamento básico bem como a ineficácia desse sistema leva a população à disposição inadequada de efluentes e resíduos, o que provoca a poluição e a contaminação dos recursos hídricos. Gu et al. (2019) apontam que, embora contraditório, a degradação e a redução da qualidade da água ocorrem por consequência da atividade humana, o que inviabiliza o seu consumo, por ser impróprio e perigoso.

O lançamento de efluentes orgânicos nos corpos hídricos provocam expressivos desequilíbrios neste ecossistema. Tal fato desencadeia diversos processos químicos, físicos e biológicos que promovem sua autodepuração, o que torna possível o retorno ao equilíbrio e à qualidade de origem. Entretanto, são inúmeros os fatores que impedem que esse processo ocorra, sobretudo, a intensidade e frequência com que o sistema é submetido ao desequilíbrio. Adicionalmente, a autodepuração natural dos corpos hídricos é lenta, o que pode inviabilizar e prejudicar diversas atividades a jusante dos pontos de lançamento. Fato que vai na contramão do preconizado pela política nacional dos recursos hídricos, Lei 9433/97, em que um dos fundamentos é a gestão dos recursos hídricos sempre proporcionar o uso múltiplo das águas (Brasil, 1997).

Por esse motivo a aplicação de um sistema adequado de saneamento é determinante para estabelecer condições de higiene e segurança necessárias para o bem estar da população e melhorias na saúde pública.

Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2012), somente 33,2% da população que habita as áreas rurais tem acesso às redes de abastecimento de água canalizada, enquanto os outros 66,8% realiza a captação de água direto dos corpos d'água, em chafarizes, poços ou outras fontes que, em geral, não são qualificadas para o consumo humano.

A situação do esgotamento sanitário no Brasil também é periclitante e, em relação às zonas rurais, a situação se agrava ainda mais. De acordo com o PNAD (2012), 5,2% da população tem acesso ao sistema de coleta de esgoto. Além disso, 28,3% utilizam fossas sépticas para tratar seus dejetos, enquanto 66,5% optam por depositar seu esgoto em “fossas rudimentares”, ou diretamente nos cursos d'água.

A deficiência do planejamento na área de saneamento básico é um fator relevante para a criticidade da saúde pública, qualidade de vida, degradação ambiental e até mesmo na economia e desenvolvimento do país. Doenças relacionadas à falta do saneamento como;

amebíase, cólera, ancilostomíase, ascaridíase, cisticercose, diarreia, disenterias, elefantíase, febre paratifoide, esquistossomose, giardíase, infecções, teníase e tricuriase, podem levar milhares de pessoas a mortes. Espera-se que o novo marco legal do saneamento básico, disposto na Lei 14026/2020, resulte em significativos avanços no saneamento básico brasileiro. Entretanto, são expectativas a longo prazo e com maior enfoque no cenário das áreas urbanas (Brasil, 2020).

De forma geral, os sistemas biológicos de tratamento de efluentes domésticos mais utilizados são as fossas sépticas, tratamento por lodos ativados, biodigestores anaeróbios, lagoas aeradas facultativas, filtros biológicos e mais recentemente, os sistemas alagados construídos (SACs), foco desse trabalho (Von Sperling, 2014).

Os SACs, ou *Wetlands* construídos, envolvem uma série de processos físicos, químicos e biológicos para o tratamento de águas residuárias. Em sua implantação, são utilizadas espécies de plantas macrófitas aquáticas ou adaptadas a ambientes saturados, podendo haver o cultivo de apenas uma espécie, ou ainda, uma combinação de até três espécies de plantas distintas (Souza et al., 2017).

São várias as características que conferem destaque aos SACs em comparação aos demais sistemas, dentre estas pode-se citar: seu baixo custo de construção e manutenção, remoção satisfatória de poluentes, adequada degradação da matéria orgânica, absorção e ciclagem de nutrientes, potencial absorção e imobilização de metais pesados, redução da contaminação dos ecossistemas e harmonia paisagística (Brasil et al. 2007).

Diante de tais perspectivas, tem-se como objetivo principal desse trabalho o estudo do processo de tratamento de águas negras proveniente de uma residência em área rural na região do Rio Piracicaba/ MG, por meio de SAC cultivado com *Typha domingensis* (Taboa).

2. Metodologia

A delimitação do tema bem como os procedimentos metodológicos a serem abordados foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica. De acordo com Lima e Miotto (2007) esta modalidade de pesquisa é entendida como um conjunto de procedimentos que tem por objetivo a busca de soluções a determinado estudo em questão e, portanto, não deve ser feita de forma aleatória.

Os objetivos do presente trabalho foram alcançados por meio de pesquisa experimental, a qual requereu análises laboratoriais para mensurar o conjunto de variáveis a ser estudado. Em função destas, pode-se avaliar que a pesquisa apresenta viés quali-quantitativo, visto que

mensura diferentes variáveis e aborda a justificativa de tais valores (Pereira, Shitsuka, Parreira & Shitsuka, 2018).

Pode-se ainda, classificar o presente trabalho como estudo de caso. Este corresponde a um mecanismo utilizado para a compreensão dos fenômenos, sejam eles individuais, grupais, políticos, sociais ou organizacionais. No estudo de caso é descrito o contexto onde é feita a investigação, envolve a formulação de teorias e hipóteses, explicam-se as situações e as causas onde não é possível o uso de experimentos e levantamentos, além de manter o caráter unitário do objeto em estudo. (Silva, 2012)

Os principais trabalhos utilizados para embasar a análise dos resultados obtidos neste trabalho são dos seguintes autores: Oliveira, Peralta, Cardoso & Costanzi (2015); Von Sperling (2014), Matos; Silva Freitas & Monaco (2010).

3. Materiais e Métodos

O Sistema Alagado Construído (SAC) foi instalado em uma residência localizada no bairro Paraíso, município de Rio Piracicaba, Minas Gerais. A residência corresponde ao sítio “Nossa Senhora Aparecida”, composto por uma família de oito pessoas e não contém criadouro de animais. O sistema de esgotamento sanitário pré-existente na residência prevê apenas o afastamento do esgoto e tem como receptor o corpo hídrico próximo a propriedade.

O clima da região, de acordo com a classificação Köppen-Geiger, é do tipo Aw – Clima tropical (Martins et al., 2018).

Para o desenvolvimento deste projeto foi escolhido o sistema SAC de escoamento subsuperficial e fluxo horizontal, com vistas a evitar a proliferação de vetores e a formação de odores na área de aplicação. O sistema em estudo constitui-se no tratamento das águas negras produzidas no sítio, sem implantação do tratamento preliminar do efluente, a fim de se reduzir custos e verificar o potencial de tratamento do sistema nestas condições.

O sistema alagado construído é composto por um reator, preenchido com um meio suporte poroso e as espécies vegetais na superfície. Seu dimensionamento baseia-se na obtenção das medidas de altura, largura e comprimento. Utilizou-se o critério do tempo de detenção hidráulica para dimensionamento do sistema, em que a equação de primeira ordem é empregada para sistemas de fluxo em pistão (Brasil, 2018; Von Sperling & Paoli, 2013). Os dados de entrada adotados e suas respectivas referências estão apresentados na Tabela 1. Ressalta-se que ampla pesquisa bibliográfica foi realizada para seleção dos parâmetros.

Tabela 1. Dados adotados para o dimensionamento do SAC.

Parâmetro	Representação / Unidade	Valor	Referência Bibliográfica
DBO (Entrada)	C_o (mg.L ⁻¹)	300	Silva (2003)
DBO (Saída)	C_e (mg.L ⁻¹)	120	COPAM/CERH -MG (2008) n° 01,05/2008
Contribuição per capita	m ³ .hab ⁻¹ .d ⁻¹	0,16	NBR 7229
Número de contribuintes	hab	8	-
Porosidade do meio	n (m ³ .m ⁻³)	0,60	U.S.EPA (1998)
Constante de degradação (K₂₀) a 20°C	K ₂₀ (d ⁻¹)	1,69	Olijnyk et al. (2007),
Declividade	S (m.m ⁻¹)	0,01	-
Condutividade hidráulica do meio	K _s (m ³ m ⁻² d ⁻¹)	500	U.S.EPA (1998)
Profundidade	h (m)	0,30	-
Temperatura média no mês mais frio	T (°C)	18	INMET (2020)

Fonte: Autores (2020).

Iniciou-se os cálculos de dimensionamento a partir da determinação da constante de degradação (K_T), a qual é corrigida para as condições ambientais do local. Sabe-se que as condições de inverno são limitantes na atividade dos microrganismos e, portanto, é coerente que o dimensionamento se faça para estas condições (Crites ,1998). Deste modo, o K_T foi corrigido para a temperatura média do mês mais frio, que atinge média de 18°C para o local segundo o Instituto Nacional de Meteorologia. Segundo Sezerino et al. (2014) a constante K_T, pode ser obtida a partir da equação modificada de van't Hoff-Arrhenius (Eq.2)

$$K_T = K_{20} (1,06)^{(T-20)} \quad \text{Eq.1}$$

Em que, K_T é a constante de degradação corrigida para as condições locais, K₂₀ é a constante de degradação a 20°C e T a condição de temperatura considerada no dimensionamento.

Em seguida foi determinada a área da seção transversal do leito (A_t), a partir da relação entre a vazão, da condutividade hidráulica (K_s) e da inclinação do leito (S), totalizando em 0,256 m².

$$A_t = \frac{Q}{K_s S} \quad \text{Eq.2}$$

A largura do leito (W) foi calculada por meio da equação 3. A divisão seção transversal do leito (A_t) pela profundidade útil (h), a qual foi considerada de 0,30 m, resultou em uma largura útil de 0,85 m.

$$W = \frac{A_t}{h} \quad \text{Eq.3}$$

A área superficial (A_s) necessária para o sistema, foi obtida por meio da equação 4, que se refere a equação de Monod modificada para cinética de primeira ordem (Brasil, 2018). A área calculada, referente ao mês mais frio, apresentou o valor de 4,33 m².

$$A_s = \frac{[Q (\ln C_0 - \ln C_e)]}{(K_{18} h \eta)} \quad \text{Eq.4}$$

Em que, A_s : área superficial do SAC (m²); Q: vazão afluente (m³ d⁻¹); C_0 : concentração DBO afluente (g m⁻³); C_e : concentração DBO efluente (g m⁻³); k_{18} : coeficiente de degradação (d⁻¹); h: profundidade útil do SAC (m); η = porosidade (m³ m⁻³).

Por fim, foram determinados o comprimento (L) do sistema e o tempo de detenção hidráulica (TDH) por meio das equações 5 e 6.

Os valores resultantes indicaram um comprimento de 5 m e um tempo de detenção de 0,61 dia.

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Eq.5}$$

$$TDH = \frac{Vu}{Q} = \frac{L.W.h.n}{Q} \quad \text{Eq.6}$$

Em que TDH: tempo de detenção hidráulica; Vu: volume útil; Q: vazão; L: comprimento; W: Largura; h: altura útil; n: porosidade.

O resumo dos valores calculados está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Dados calculados para o dimensionamento do SAC.

Parâmetro	Representação/ Unidade	Valor
Coefficiente de degradação Corrigido para 18°C	K_{18} (d ⁻¹)	1,50
Vazão	Q (m ³ d ⁻¹)	1,28
Área superficial	As (m ²)	4,33
Área transversal	A _t (m ²)	0,256
Largura	W (m)	0,85
Comprimento	L (m)	5,07
Altura	H (m)	0,3 m
Tempo de detenção	TDH (d)	0,61

Fonte: Autores (2020).

Para a execução das obras, priorizou-se o uso de materiais de baixo custo e fácil acesso. As macrófitas utilizadas encontram-se em abundância na região, a fim de se obter melhor adaptação ao ambiente (Figura 1).

Figura 1. Local de coleta das Mudras de Taboa nas proximidades da residência.



Fonte: Autores (2020).

Adicionalmente, os próprios moradores da residência possuíam experiência com trabalhos em alvenaria e colaboraram substancialmente na execução das obras. O solo foi impermeabilizado com concreto, cimento CP IV. As laterais receberam tijolos de concreto número 0,10 todos preenchidos com concreto, conforme apresentado pela figura 2.

Figura 2. Registro fotográfico da construção do Sistema Alagado Construído.



Fonte: Autores (2020).

Foi realizado teste de estanqueidade para verificação da eficiência da impermeabilização realizada durante a construção, a fim de evitar contaminação do solo local. Em seguida o meio suporte foi inserido no sistema, no qual as mudas de Taboa (*Typha* sp.) foram plantadas de forma triangular, para evitar a formação de caminhos preferenciais. Como meio suporte, foi utilizado brita nº 02 no primeiro metro de comprimento e brita nº 01 no restante do sistema, método já considerado nos cálculos do dimensionamento. Tal divisão fez-

se pertinente pela eliminação do tratamento preliminar, já que o meio suporte com diferentes granulometrias favorece a não colmatação do sistema pelos sólidos grosseiros. Após as mudas serem fixadas ao meio suporte, o SAC passou a receber o lançamento do efluente sanitário (águas negras). Foi necessário aguardar o alagamento do sistema pelas águas residuárias (Figura 3). Ao longo de três semanas ocorreu o período de adaptação das espécies vegetais ao sistema. Por fim, iniciou-se as coletas das amostras para análise laboratorial.

Figura 3. Plantio das mudas de taboa.



Fonte: Autores (2020).

O monitoramento do sistema ocorreu durante cinco semanas consecutivas, com coletas feitas pelo período da manhã. As amostras de águas residuárias foram coletadas em dois pontos sendo o primeiro (Ponto 01), o ponto inicial, no qual o efluente bruto chega ao sistema, sem tratamento preliminar ou qualquer alteração de qualidade e o segundo ponto (Ponto 02), o ponto final, onde o efluente, já tratado, é direcionado ao corpo receptor.

As análises dos efluentes foram realizadas para verificar a conformidade com as exigências da resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 do CONAMA bem como aplicabilidade da implantação do sistema e áreas rurais, sem tratamento preliminar. Para tanto, algumas variáveis foram analisadas, tais como eficiência na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), quantificação dos nutrientes (Nitrogênio e Fosforo), sólidos totais (ST), turbidez, pH além da avaliação do crescimento das espécies plantadas por meio da altura das plantas. A periodicidade e métodos utilizados estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos analisados.

Parâmetro	Unidade	Frequência	Procedimento Analítico
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	Semanal	Potenciométrico
Turbidez	NTU	Semanal	Nefelométrico
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	Semanal	SMEWW Ed. 22 ^a (APHA, 2012)
Sólidos Totais (ST)	mg/L	Semanal	Método Gravimétrico e por Evaporação
Nitrogênio Total (NT)	mg/L	15 dias	SMEWW Ed. 22 ^a (APHA, 2012)
Fósforo	mg/L	15 dias	ABNT 12772/1992

Fonte: Autores (2020).

4. Resultados e Discussão

Em todo o processo de funcionamento do sistema, o desenvolvimento da *Typha* sp. ocorreu de modo satisfatório e sem a presença de problemas como: remoção das plantas pelo vento, obstrução do sistema, odor, proliferação de insetos ou outros impedimentos.

A taboa demonstrou bom desenvolvimento durante o período de análise. Para manter o sistema em funcionamento adequado foram realizadas limpezas semanais, principalmente por meio da retirada de folhas advindas da vegetação externa próxima ao sistema. A seguir são dispostos os registros fotográficos do desenvolvimento do SAC na primeira e última semana de análise, Figuras 4 e 5 respectivamente.

Figura 4. Sistema Alagado Construído implementado na residência rural na primeira semana de análise.



Fonte: Autores (2020).

Figura 5. Sistema Alagado Construído implementado na residência rural na quinta semana de análise.



Fonte: Autores (2020).

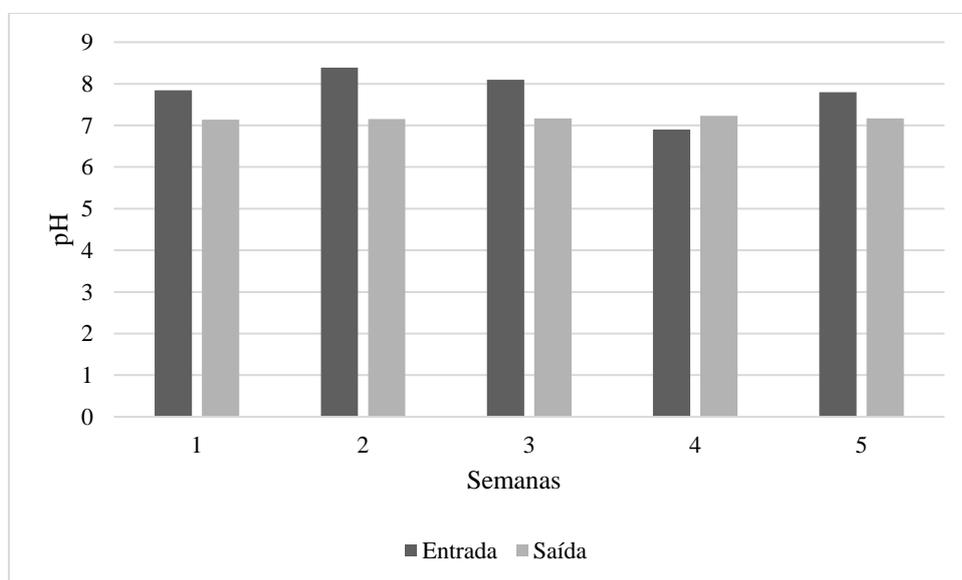
Durante as cinco semanas de análises, o pH foi o parâmetro que apresentou a menor taxa de variação ao longo do tempo. Fato este que corrobora com análise realizada por Oliveira

et al. (2015), na qual observou-se que durante o tratamento de água cinza por meio de SAC, o pH foi o parâmetro mais constante entre os analisados.

Conforme apresentado na Figura 6, os valores do pH do efluente bruto se apresentaram na faixa de 8,05 a 8,32, o que indica a basicidade da água residuária. Após percorrer o fluxo do sistema, o pH efluente se manteve entre 7,15 e 7,55, valores próximos à neutralidade. Esta redução no valor do pH pode ser justificada pela presença de processos oxidativos como a nitrificação, as quais consomem a alcalinidade o que pode ocasionar valores reduzidos de pH. O pH efluente se manteve dentro do intervalo considerado ótimo para atividade das bactérias e arqueias atuantes em reatores biológicos no tratamento de efluentes, o qual é entre 6,5 e 7,5 (Schoenhals et al., 2007). Pode-se inferir ainda que devido a estabilidade dos valores de pH o sistema apresentou adequada capacidade de tamponamento, já que em sistemas de tratamento anaeróbio é comum se verificar o pH em desequilíbrio devido a produção de ácidos no processo de degradação da matéria orgânica.

Os valores aferidos nas amostras de efluentes, atendem às recomendações da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG, nº 01/2008, artigo 29, que indica valores de pH entre 6,0 a 9,0 bem como a legislação federal, CONAMA 430/11 (Brasil, 2011).

Figura 6. Análise de pH das amostras afluentes e efluentes ao SAC.



Fonte: Autores (2020).

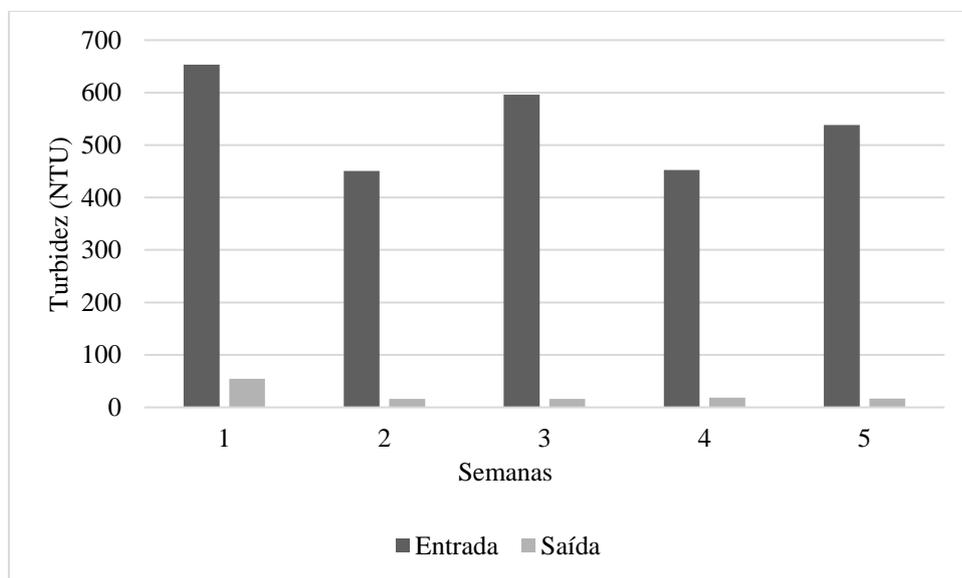
Pode-se observar na Figura 7, os valores de turbidez das amostras de entrada e saída do SAC. A turbidez do efluente do SAC apresentou valor médio igual a 24,39 UNT, valor que indica eficiência de remoção média igual a $95,6\% \pm 2,3$. A turbidez torna-se um parâmetro de

grande relevância, pela rapidez, facilidade e custo da análise. De acordo com (Von Sperling, 2014), a partir da turbidez é possível determinar, também, o comportamento dos sólidos suspensos numa relação de proporcionalidade direta, isto é, quanto maior a eficiência de remoção de turbidez, maior a redução da quantidade de sólidos suspensos pelo sistema.

Visto que no sistema também atuam processos físicos de filtração e sedimentação, proporcionado pela presença do meio suporte (brita) e da vegetação (*Typha* sp.), foi possível comprovar a eficiência do SAC em um curto prazo de implantação. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et. al (2015), que observaram redução 94 % da turbidez do efluente tratado ao utilizar a planta *Heliconia rostrata*.

Pode-se observar ainda que a menor eficiência de remoção foi analisada na primeira amostra coletada. Fato que pode ser explicado pela atuação das raízes das plantas na remoção de turbidez, estas retêm materiais sólidos do sistema os quais formam um ambiente propício a agregar e desenvolver fungos e bactérias que auxiliam no processo de mineralização da matéria orgânica (Matos et al.,2010). Os elevados valores de turbidez na entrada do sistema se dão em razão da ausência do tratamento preliminar. Assim, pode-se inferir que nas condições aqui testadas, a eliminação do tratamento preliminar não causou expressivos prejuízos ao sistema.

Figura 7. Turbidez das amostras afluentes e efluentes ao SAC



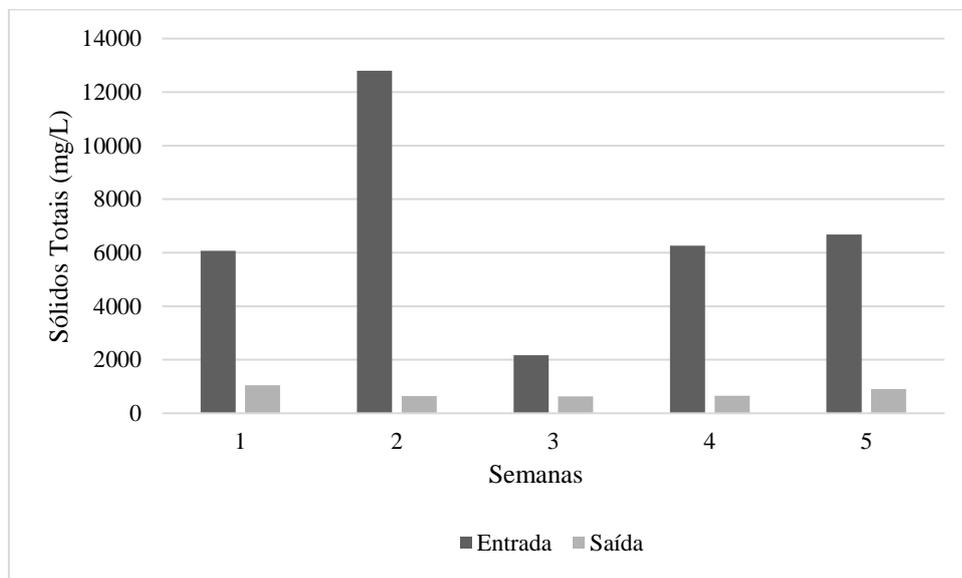
Fonte: Autores (2020).

Na Figura 8 estão apresentadas as concentrações de sólidos totais na entrada e saída do SAC. Nota-se que o sistema apresentou adequada eficiência na remoção de sólidos totais, com remoção média de $88,6\% \pm 9,1$. Visto que o esgoto não recebeu nenhum tratamento preliminar,

os resultados foram superiores às médias observadas em reatores biológicos (Von Sperling, 2014), garantindo desta forma, a viabilidade de implantação desse sistema nas regiões rurais, desprovidas de qualquer tipo de tratamento de esgoto.

Valores próximos de eficiência foram encontrados em estudo realizado por Almeida et al. (2020), ao utilizar SAC cultivado com taboa em consórcio com lírio-do-brejo para tratamento de esgoto doméstico, os autores obtiveram eficiência global de 85%. Já em estudo realizado por Matos et al. (2010), a eficiência média alcançada em SAC cultivado com taboa foi de 51% \pm 18.

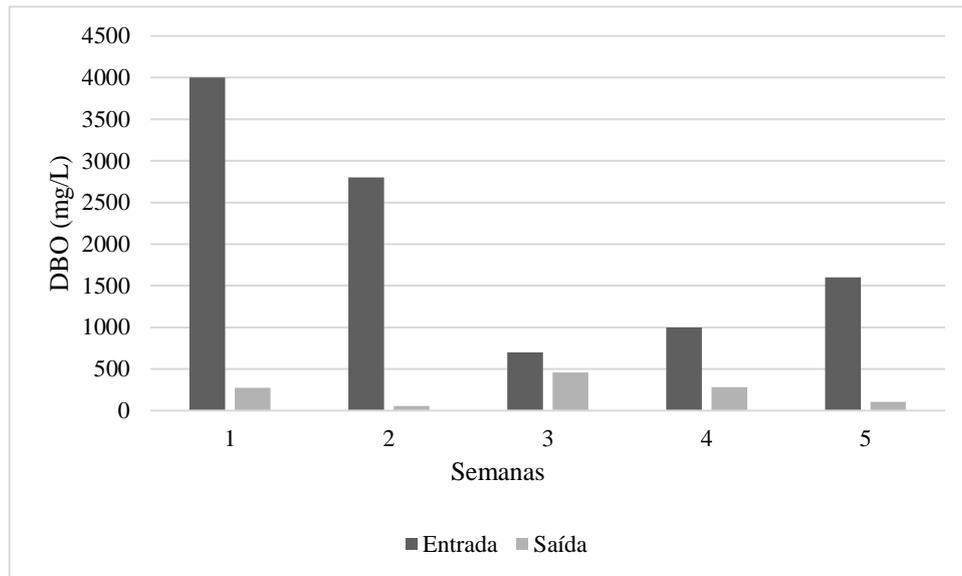
Figura 8. Análise de sólidos totais das amostras afluentes e efluentes ao SAC.



Fonte: Autores (2020).

No Gráfico 09 estão apresentados os valores de DBO, das amostras de entrada e saída do SAC.

Figura 9. Demanda bioquímica de oxigênio das amostras afluentes e efluentes ao SAC.



Fonte: Autores (2020).

A eficiência média na Redução da DBO por meio do SAC foi de $78,2\% \pm 26,5$. Os resultados atendem a Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 do CONAMA, que especifica as condições e padrões para efluentes de sistema de tratamento de esgoto sanitário, que devem apresentar a eficiência mínima de remoção de DBO de 60%, sendo a mesma exigência recomendada pelo COPAM/CERH-MG nº 01/2008 do artigo 29.

A remoção de matéria orgânica do efluente atendeu as expectativas do sistema o que demonstra que o tratamento de esgoto sanitário por meio do SAC é relevante e eficiente, principalmente dadas as condições precárias de saneamento em áreas rurais. Resultados semelhantes foram encontrados por Lemes et al. (2008), que estabeleceram uma comparação entre diversos sistemas de tratamento de águas residuárias, quanto à eficiência de remoção de matéria orgânica, conferindo ao SAC uma faixa de remoção entre 77 e 98%. Em estudo realizado por Almeida et al. (2020) foi verificada uma remoção média de 83% de DBO ao utilizar SAC com consórcio de duas espécies vegetais, *Hedychium coronarium* (Lírio-do-brejo) e *Typha domingensis* (Taboa).

Com relação a remoção dos macronutrientes, nitrogênio e fósforo, o sistema alagado construído demonstrou ser altamente promissor, uma vez que reatores biológicos, via de regra, são ineficientes na redução destes elementos. A eficiência de redução de fósforo atingiu média na saída do efluente de 84% enquanto que o nitrogênio foi reduzido em 41%, em média. Os sistemas alagados construídos promovem a redução de nutrientes a partir do meio suporte, através do processo de adsorção. Outra parte é assimilada pelas plantas e pelos microrganismos.

Usualmente considera-se que a absorção do fósforo por plantas seja inferior a 5% sendo, portanto, o substrato é a via de maior importância para a imobilização deste nutriente (Lana, et al., 2013; Von Sperling, 2014).

No que tange ao nitrogênio, as macrófitas são capazes de absorve-lo das águas residuárias em maiores quantidades quando comparado ao fósforo, o que promove seu crescimento. Durante as primeiras três semanas, quando as mudas estavam em desenvolvimento, houve maior remoção das concentrações de nitrogênio, o que não ocorreu nas duas últimas semanas, quando a planta alcançou estabilidade de crescimento. De acordo com Andrade (2012), quando as macrófitas atingem seu ápice de crescimento, reduzem a assimilação de nitrogênio, por esse motivo são necessárias podas periódicas para que haja uma remoção de constante ao longo da operação do sistema.

5. Considerações Finais

Os resultados obtidos foram satisfatórios e comprovaram a eficiência do SAC, em relação aos parâmetros analisados. Após tratamento, o efluente sanitário de maior potencial poluidor dessa residência, as águas negras, atendeu às condições exigidas pela legislação ambiental brasileira. Considera-se também que a taboa apresentou boa adaptação ao sistema e ao meio suporte, sendo, portanto, uma espécie vegetal recomendada ao uso para sistemas cultivados da região.

Além disso, a implantação possibilitou o desenvolvimento de ações sustentáveis entre os moradores da comunidade, tornou possível a conscientização dos moradores quanto à importância no tratamento do esgoto e das condições adequadas de saneamento básico para a preservação dos recursos hídricos e da saúde da população.

Como sugestões para as futuras pesquisas recomenda-se o uso de materiais alternativos para a construção do sistema, com o intuito de tornar sua construção ainda mais sustentável e com menor custo. Indica-se a disposição de maior tempo de monitoramento e avaliação do desempenho dos SACs na remoção de organismos patogênicos, visto que os estudos sobre essas unidades ainda são escassos no Brasil. A partir do aumento das pesquisas e experimentos será possível determinar o comportamento do sistema em longo prazo, ao atingir a maturidade e alcançar novos avanços em sua aplicação.

Referências

Almeida, N. C S., de Souza Lima, P. O., Carneiro, R. L. F., de Souza, T. D., de Oliveira, J. C. V., & de Oliveira Cotta, J. A. (2020). Sistemas alagados construídos: tratamento de baixo custo para esgoto sanitário em áreas rurais. *Research, Society and Development*, 9(8), e274985678-e274985678.

Andrade, H. H. B. (2012). Avaliação do Desempenho de Sistemas de Zona de Raízes (Wetlands Construídas) em Escala Piloto Aplicados ao Tratamento de Efluente Sintético. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

APHA, A. (2012). WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, vol. E. Rice.

Gu, Q., Hu, H., Ma, L., Sheng, L., Yang, S., Zhang, X., & Chen, L. (2019). Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach. *Ecological Indicators*, 102, 633-643.

Brasil. Lei nº 9.433/1997. Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF.

Brasil, M. D. S., Matos, A. T. D., & Soares, A. A. (2007). Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Thypha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 12(3), 266-272.

Brasil (2018). Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção/* Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2011). *Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011*. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005.

COPAM - Conselho Estadual De Política Ambiental. (2008). *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Fundação Nacional De Saúde. (2012) Saneamento rural. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD).

Lana, L. C. O., Moraes, D. C., Von Sperling, M., Morato, M. L. N., Vasconcellos, G. R., Paraense, M. O., & Moreira, T. P. A. (2013). Performance of a single stage vertical flow constructed wetland system treating raw domestic sewage in Brazil. *Water Science and Technology*, 68(7), 1599-1606.

Lemes, J. L. V. B., Schirmer, W. N., Caldeira, M. V. W., Van Kaick, T., Abel, O., & Bárbara, R. R. (2008). Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 6(2), 169-179.

Lima, T. C. S. D., & Miotto, R. C. T. (2007). Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. *Revista Katálysis*, 10(SPE), 37-45.

Martins, F. B., Gonzaga, G., dos Santos, D. F., & Reboita, M. S. (2018). Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1.

Matos, A. T., da Silva Freitas, W., & Monaco, P. A. V. L. (2010). Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 5(2), 119-132.

Olijnyk, D. P. (2008). Avaliação da Nitrificação e Desnitrificação de Esgoto Doméstico Empregando Filtros Plantados com Macrófitas (Wetlands) de Fluxos Vertical e Horizontal – Sistemas Híbridos. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC.

Oliveira, D., Peralta, A., Cardoso, M., & Costanzi, R. (2015). Tratamento de Água Cinza Através de um Sistema Alagado Construído. *Revista Hipótese*, Itapetininga, 1(2), 48-64.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F.J. & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Ed. UAB/NTE/UFSM. Santa Maria/RS. Recuperado de http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 10 set. 2020.

Schoenhals, M., Frare, L. M., & Sarmiento, L. A. (2007). Análise do desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo no tratamento de efluentes da suinocultura. *Engenharia Ambiental*, 4(1), 005-023.

Sezerino, P. H., Bento, A. P., Decezaró, S. T., Magri, M. E., & Philippi, L. S. (2015). Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 20(1), 151-158.

Silva, B. E. (2012). Contribuições da inovação aberta para o Jornal A Notícia Regional Ltda. de João Monlevade, Minas Gerais. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Administração)-Fundação Pedro Leopoldo, Pedro Leopoldo.

Silva, L. M. D. (2003). Avaliação da eficiência de sistema não convencional de esgotos sanitários e do impacto dos efluentes no corpo receptor. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, RS, Brasil.

Souza, T. D. D., Borges, A. C., Matos, A. T. D., Mounter, A. H., & de Queiroz, M. E. (2017). Removal of chlorpyrifos insecticide in constructed wetlands with different plant species. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(12), 878-883.

Crites, R. W. (1988). *Design manual: Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment*. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Center for Environmental Research Information.

Von Sperling, M. (2014). *Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Editora UFMG, 1, 452.

Von Sperling, M. & Paoli, A.C. (2013). First-order COD decay coefficients associated with different hydraulic models applied to planted and unplanted horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 57(1), 205-209.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Tamara Daiane de Souza – 16,66%

Múcio André dos Santos Alves Mendes – 16,66%

Eduardo Morgan Uliana – 16,66%

Nuria Perez Gallardo – 16,66%

Melissa Fabíola Dos Santos Alves Mendes – 16,66%

Rúbia Lemos Ferreira Carneiro – 16,66%