

**Sistemas alagados construídos: tratamento de baixo custo para esgoto sanitário em áreas rurais**

**Constructed wetland systems: low cost treatment for sanitary sewage in rural areas**

**Sistemas humedales construidos: tratamiento de bajo costo para aguas residuales en áreas rurales**

Recebido: 15/06/2020 | Revisado: 18/06/2020 | Aceito: 22/06/2020 | Publicado: 05/07/2020

**Nicolly Carvalho de Sousa Almeida**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8511-7096>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [ni-colly-c@hotmail.com](mailto:ni-colly-c@hotmail.com)

**Pompeu Otoni de Souza Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6194-0595>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [pompeuosl@hotmail.com](mailto:pompeuosl@hotmail.com)

**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](mailto:rubia.lemos8@hotmail.com)

**Tamara Daiane de Souza**

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

Instituição: Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: [tamaradaianesouza@gmail.com](mailto:tamaradaianesouza@gmail.com)

**Jaquelline Carla Valamiel de Oliveira e Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8364-0366>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [jackvalamiel@yahoo.com.br](mailto:jackvalamiel@yahoo.com.br)

**Jussara Aparecida de Oliveira Cotta**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6914-1176>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [jussara.cotta@uemg.br](mailto:jussara.cotta@uemg.br)

## Resumo

No Brasil existe elevada carência na coleta e tratamento de esgoto, e por isso faz-se necessário a adoção de tecnologias eficazes e de baixo custo que promovam o saneamento básico nos municípios. Uma destas tecnologias é o Sistema Alagado Construído (SAC), também conhecido como wetland construído que promove o tratamento do esgoto antes do lançamento em cursos hídricos. Este estudo avaliou o desempenho do SAC, no qual foi testado a associação de duas espécies vegetais, *Hedychium coronarium* (Lírio-do-brejo) e *Typha domingensis* (Taboa). O sistema foi implantado no distrito de Brejaúba, pertencente ao município de Conceição do Mato Dentro – MG. Amostras foram coletadas em três pontos do sistema e submetidas à análises da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos totais, sólidos sedimentáveis, pH, turbidez e nitrogênio total Kjeldahl (NTK). Foram observadas reduções médias de 83% da DBO, 85% dos sólidos totais, 49,6% da concentração do nitrogênio, 99,9% dos sólidos sedimentáveis e 89,7 % na turbidez. De acordo com as legislações vigentes o efluente gerado neste sistema pode ser lançado no curso hídrico. Desta forma, análises dos resultados detectou redução em todos os parâmetros avaliados demonstrando que o SAC é um sistema extremamente promissor, já que é um sistema eficiente, de baixo custo e contribui com a qualidade dos cursos hídricos.

**Palavras chave:** Saneamento; *Wetlands* construídos; Efluente doméstico.

## Abstract

In Brazil, there is a high need for sewage collection and treatment, which is why it is necessary to adopt efficient and low-cost technologies that promote basic sanitation in the municipalities. One of these technologies is the Constructed Wetlands System (CW, which promotes sewage treatment before launching into water courses. This study evaluated the performance of CW system, which tested the association of two plant species, *Hedychium coronarium* (Garland-lily) and *Typha domingensis* (Southern cattail). The system was implemented in the district of Brejaúba, belonging to the municipality of Conceição do Mato Dentro - MG. Samples were collected at three points in the system and submitted to analysis of the Biochemical Oxygen Demand (BOD), total solids, sediment solids, pH, turbidity and total nitrogen. Average reductions of 83% in BOD, 85% in total solids, 49.6% in nitrogen concentration, 99.9% in sediment solids and 89.7% in turbidity were observed. According to current legislation, the system effluent can be poured into the water course. Thus, analysis of the results detected a reduction in all parameters evaluated, demonstrating that the CW is an extremely promising system, since it is an efficient, low-cost system and contributes to the quality of water courses.

**Keywords:** Sanitation; *Wetland*; domestic effluent.

## Resumen

En Brasil, existe una gran necesidad de recolección y tratamiento de aguas residuales, por lo que es necesario adoptar tecnologías efectivas y de bajo costo que promuevan el saneamiento básico en los municipios. Una de estas tecnologías es el Sistema humedal construido (HC), que promueve el tratamiento de aguas residuales antes de lanzarse a los cursos de agua. Este estudio evaluó el desempeño de HC, en el cual se probó la asociación de dos especies de plantas, *Hedychium coronarium* (Lirio de arroyo) y *Typha domingensis* (Espadaña tropical). El sistema se implementó en el distrito de Brejaúba, perteneciente al municipio de Conceição do Mato Dentro - MG. Se recogieron muestras en tres puntos del sistema y se sometieron a análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos totales, sólidos sedimentables, pH, turbidez y nitrógeno total. Se observaron reducciones promedio de 83% en DBO, 85% en sólidos totales, 49.6% en concentración de nitrógeno, 99.9% en sólidos sedimentables y 89.7% en turbidez. De acuerdo con la legislación vigente, el efluente generado en este sistema puede ser liberado al curso de agua. Por lo tanto, el análisis de los resultados detectó una reducción en todos los parámetros evaluados, lo que demuestra que el HC es un sistema extremadamente prometedor, ya que es un sistema eficiente y de bajo costo y contribuye a la calidad de los cursos de agua.

**Palabras clave:** Saneamiento; *Wetlands* construidos; Efluente doméstico.

## 1. Introdução

A questão hídrica mundial é assunto de grande interesse e relevância em decorrência do avanço tecnológico e o crescimento populacional. Observa-se uma crescente exploração dos recursos hídricos, os quais são degradados por atividades humanas, como por exemplo, o lançamento de efluentes domésticos, industriais e agrícolas sem tratamento prévio.

No Brasil, o esgoto doméstico não tratado é uma das fontes poluidoras mais presentes, visto que cerca de apenas 53,2% dos municípios possuíam coleta de esgoto por rede geral em 2018, sendo que 46,3% coletam e tratam o efluente gerado (SNIS, 2018). Expressiva parcela do percentual sem coleta de esgoto é proveniente de áreas rurais, onde a dificuldade de implantação de um sistema coletivo de captação do esgoto é grande, devido à falta de estrutura ou até mesmo por não possuir número de moradias suficiente para um sistema coletivo tecnicamente viável.

Desta forma, é fundamental a instalação de tecnologias eficazes, de baixo custo e de fácil construção e manutenção em moradias localizadas em áreas rurais, no intuito de tratar o esgoto doméstico, antes do seu lançamento em cursos hídricos. Nesse contexto, uma solução para o tratamento de esgotos rurais é a implantação de um Sistema Alagado Construído (SAC).

Os SACs, também conhecidos como *wetlands* construídos, são sistemas de tratamento de águas residuárias que podem ser implantados como sistema individual atendendo às residências rurais, atuando como reator biológico, removendo poluentes e melhorando o sistema de esgotamento sanitário. O mecanismo de um SAC baseia-se em processo físico decorrente de filtragem associada à atuação biológica de microrganismos e vegetais que auxiliam na remoção de matéria orgânica através do seu sistema radicular, essencial para o tratamento de águas residuárias (Souza, Borges, Matos, Munteer, & Queiroz, 2017). Além disso, esse sistema é composto pelo meio filtrante constituído de brita, cascalho e areia que servem também de suporte para o desenvolvimento de microrganismos que contribuem na degradação da matéria orgânica (Von Sperling, 2014). Assim, observa-se mecanismos físicos e biológicos atuando neste sistema.

Os SACs são de baixo custo e de fácil implantação por utilizarem materiais, em sua maioria, reutilizáveis ou de fácil acesso, como areia grossa, cascalho, pedregulho e brita que servirão de suporte para o desenvolvimento vegetal (Albuquerque, Oliveira, Semitela & Amaral, 2010). O sistema é autossustentável, uma vez que o efluente tratado pode ser destinado à atividade agrícola, como irrigação de culturas, desde que observadas as especificações sanitárias (Silva, 2007).

Diante da necessidade de se preservar a qualidade dos cursos hídricos, e como forma de viabilizar a implementação de um sistema de tratamento de esgoto eficiente e de baixo custo, os SACs atuam como uma boa alternativa. Deste modo, estudos que avaliam o desempenho e diferentes configurações destes sistemas são de grande importância na preservação do meio ambiente.

O presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de um SAC utilizando o consórcio de duas espécies vegetais (*Typha domingensis* e *Hedychium coronarium*) para tratamento do esgoto doméstico de uma propriedade rural no Distrito de Brejaúba – MG. As espécies selecionadas já existem na região e possuem características desejáveis para vegetar um SAC.

Para atingir o objetivo geral foram delineados os seguintes objetivos específicos: avaliar a remoção de matéria orgânica do sistema através da coleta do efluente no início, meio e fim do SAC; monitorar o desempenho de duas espécies vegetais em um mesmo sistema, e comparar o consórcio das espécies desenvolvido no presente estudo com sistemas tradicionais que

utilizam apenas uma espécie vegetal; e expor os custos envolvidos na implantação deste sistema em escala unifamiliar. Para tanto essa pesquisa exploratória foi realizada através de análises laboratoriais do efluente após a passagem pelo sistema, de modo a verificar a sua eficiência de tratamento.

## 2. Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa utilizou-se uma metodologia de natureza aplicada, uma vez que através deste estudo pretende-se sanar problemas relacionados ao saneamento básico em uma área rural no distrito de Brejaúba - MG. Sendo assim, esta pesquisa tem por finalidade desenvolver conhecimentos teóricos para a aplicação prática de um Sistema Alagado Construído (SAC). A abordagem empregada possui cunho quali- quantitativo, visto que se constitui de dados provenientes de diversas fontes que visam auxiliar na compreensão do funcionamento do sistema, bem como a sua aplicação para se obter os resultados esperados, além de gerar gráficos e tabelas durante a execução da investigação. Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa pode ser classificada como experimental, uma vez que para alcançar os objetivos, análises químicas foram essenciais (Pereira, Shitsuka, Parreira & Shitsuka, 2018). De acordo com a classificação feita por Gil (2002), o estudo tem caráter exploratório e explicativo, posto que explora a alternativa de tratamento de esgoto doméstico em profundidade e requer um método experimental para que se verifique a real eficiência do sistema. A pesquisa ainda se enquadra na classificação de um estudo de caso, visto que de acordo com Fonseca (2002) visa conhecer um assunto em profundidade, averiguando todos os processos envolvidos em um SAC de modo que o projeto seja desenvolvido da melhor forma possível. Assim, este trabalho busca beneficiar a população rural bem como o meio ambiente, aperfeiçoando a técnica já existente através da ação conjunta de duas espécies vegetais em um único sistema de tratamento de águas residuárias.

Os principais autores que serviram como suporte para esta pesquisa são (Souza, Borges, Matos, Mounteer, & Queiroz (2017), Albuquerque, Oliveira, Semitela & Amaral (2010), Silva (2007). A coleta de dados foram realizadas a partir de observações experimentais.

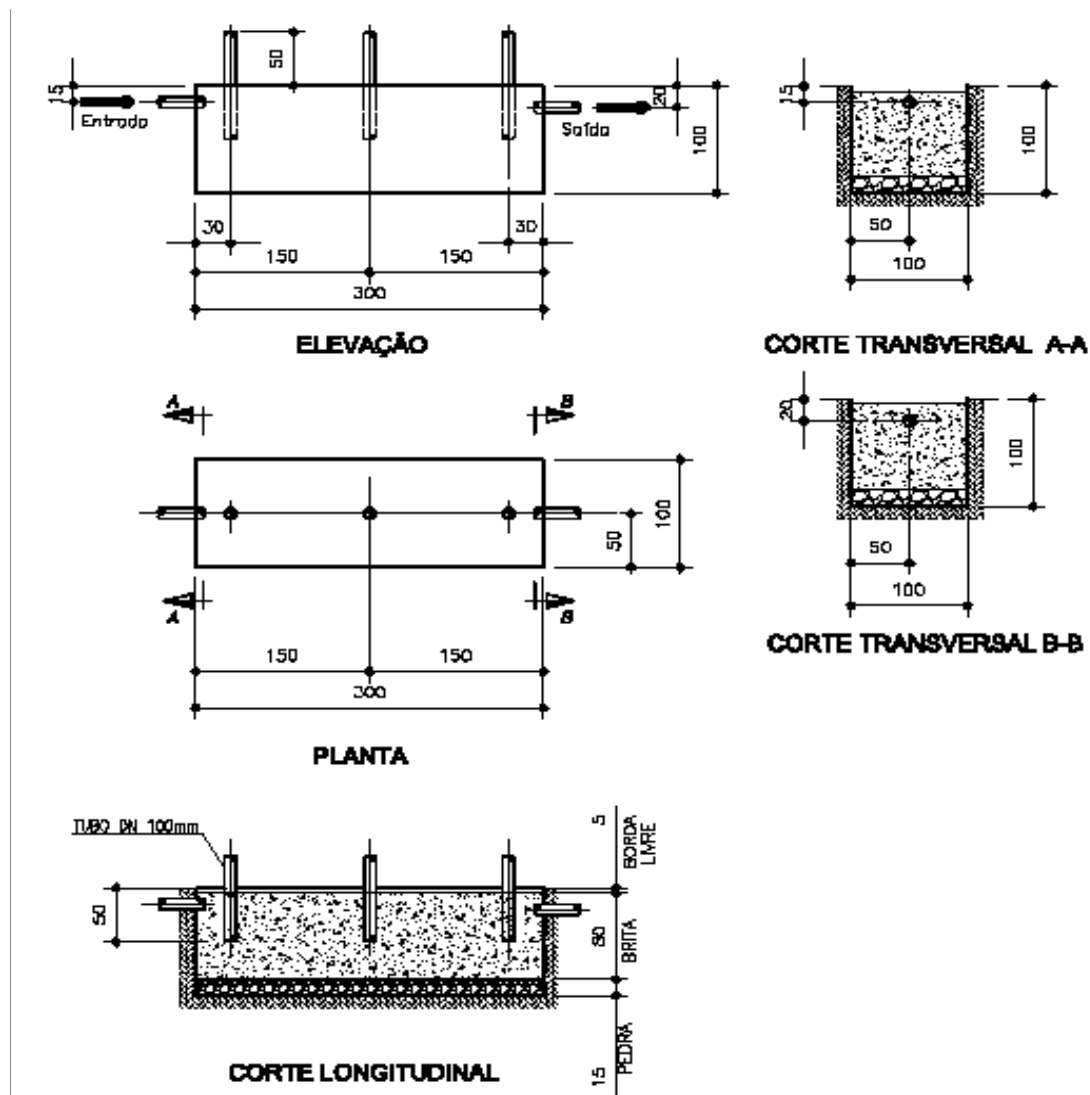
Os trabalhos dos autores Gonçalves & Jesus (2015), Freitas (2006), Quadros, Oliver, Regis, Valladares, Souza & Ferreira (2010), Von Sperling (2014), Matos, Abrahão & Lo Monaco (2012), Ramos, Borges, Gonçalves & Matos (2017), Vymazal & Kröpfelová (2008) dão suporte à análise dos resultados.

### 3. Material e Método

O domicílio em que foi implantado o SAC era desprovido de um sistema de esgotamento sanitário, realidade comum em áreas rurais. A residência situa-se no distrito de Brejaúba – MG, no Município de Conceição do Mato Dentro, localiza-se nas coordenadas latitude 19°12'21.35"S, longitude 43°9'5.28"O, e possui um total de seis moradores. O saneamento básico no distrito é incipiente, em que se observa a inexistência de infraestrutura relacionada ao tratamento do esgoto, sendo lançado diretamente no curso d'água.

O sistema aplicado na residência consiste em um reator biológico preenchido por um meio suporte e duas espécies vegetais na superfície. A Figura 1 apresenta a planta do SAC dimensionada pelos autores.

Figura 1. Planta do SAC.



Fonte: Próprio Autoria.

O dimensionamento do sistema foi realizado levando-se em consideração o critério do tempo de detenção hidráulica, o qual utiliza uma equação de primeira ordem para sistemas de fluxo em pistão. Este modelo de cálculo é amplamente utilizado no desenvolvimento de sistemas de tratamento secundário de esgotos domésticos (Brasil, 2018; Von Sperling & Paoli, 2013). Os cálculos foram desenvolvidos de forma a atender a residência com 6 moradores. Utilizou-se a Equação 1 (equação de Monod) modificada para cinética de primeira ordem para o dimensionamento.

$$A = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C)}{k \times p \times \eta} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que: A = área superficial do SAC (m<sup>2</sup>); Q = vazão afluente (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>); Co = concentração DBO afluente (g m<sup>-3</sup>); C = concentração DBO efluente (g m<sup>-3</sup>); k = coeficiente de degradação (d<sup>-1</sup>); p = profundidade útil do SAC (m); η = porosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). O coeficiente de degradação utilizado foi de 1,02 d<sup>-1</sup>, corrigido para temperatura de 16°C, temperatura média do mês mais frio segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a região. A porosidade do meio filtrante foi de 0,4 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (pedra britada), altura útil de 1 m (e 0,2 m de borda seca). A contribuição per capita de 100 L hab<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (ABNT, 1993) e a eficiência esperada de tratamento foi de 80%. Assim, as dimensões totais empregadas no tanque foram 1m x 3m x 1m (H x L x B), conforme planta representada na Figura 1.

Após a abertura da cova e devida compactação realizou-se a impermeabilização nas paredes e no fundo por lona plástica com dimensões 8m x 5m e espessura de 200 micras. Esta impermeabilização é de suma importância visto que evita a contaminação do solo e do lençol freático por substâncias indesejáveis e nocivas à saúde humana, como mostrado na Figura 2.

**Figura 2.** Montagem do SAC.



Fonte: Próprio Autoria.

Antes de se prosseguir com a construção do SAC, realizou-se a verificação de estanqueidade do tanque prevista na NBR 7229/1993, a qual fixa as condições para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. A técnica consiste no preenchimento do tanque por água até a altura da geratriz inferior do tubo de saída por um período de no mínimo 24 horas. Decorrido este período deve-se observar se há variação superior a 3% na altura útil, caso haja deve-se identificar as falhas e corrigi-las.

Após a devida impermeabilização, o tanque foi preenchido por uma camada de 0,15 metros de pedra de mão no fundo como forma de evitar a colmatação do sistema. Em seguida foi adicionada uma camada de 0,8 metros de brita nº 2 que serve de base para o desenvolvimento de microrganismos e de suporte para o crescimento dos vegetais. Assim, o conjunto formado pela interação desses agentes é de grande relevância para degradar o material orgânico presente no efluente, reduzindo assim a sua concentração. Por fim, foram instalados três tubos de inspeção de 100 mm de espessura, equidistantes, que deram suporte às coletas que foram realizadas no decorrer do trabalho, segundo a Figura 2.

Após a instalação do sistema realizou-se o plantio das espécies. Neste caso foram aplicadas duas espécies vegetais, a espécie *Hedychium coronarium* (Lírio-do-brejo) e a *Typha domingensis* (Taboa), objetivando-se comparar a remoção da carga orgânica deste sistema com a observada no sistema que utilizou apenas a Taboa, conforme descrito por Gonçalves & Jesus (2015).

Na primeira parte, correspondente ao início ao meio do sistema, foi inserido a espécie *Hedychium coronarium*, já na segunda parte do sistema, correspondente ao meio até o fim, encontra-se a espécie *Typha domingensis*. Sete mudas de cada espécie foram inseridas diretamente na brita de forma triangular para se evitar a formação de caminhos preferenciais.

Para tal, foram realizadas coletas em três pontos específicos do sistema localizados no início (entrada), meio e fim (saída) do mesmo. Realizaram-se cinco amostragens em semanas subsequentes durante o mês de setembro e outubro. A Figura 3 apresenta a SAC após estabilização.



**Figura 3.** SAC após a estabilização.



Fonte: Próprio Autoria.

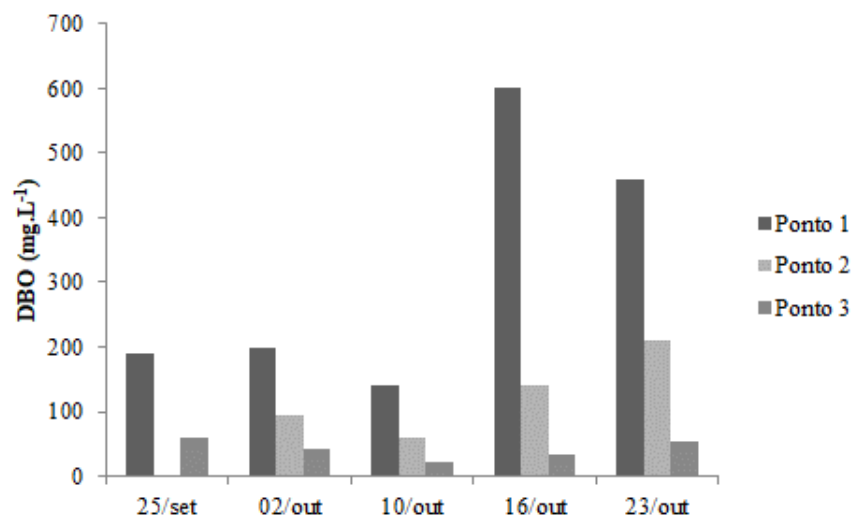
Os pontos identificados na Figura 3 como 1, 2 e 3 correspondem respectivamente aos tubos de inspeção do início (entrada), meio e fim (saída) do sistema. A eficiência global do SAC foi calculada utilizando-se os pontos 1 e 3. A eficiência de remoção da primeira metade do sistema composta por lírio-do-brejo foi calculada através dos pontos 1 e 2. Já o cálculo da eficiência da segunda metade do sistema cultivada com taboa recorrendo-se aos pontos 2 e 3.

A avaliação do sistema foi constituída de análises físico-químicas do esgoto bruto e após passagem pelo SAC. Foram avaliados os seguintes parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais, sólidos sedimentáveis, pH, turbidez e nitrogênio total. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi determinada segundo o método da incubação com diluição – (NBR 12614/1992). A determinação de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) foi realizada pelo método de Nessler. A determinação de resíduos sedimentáveis (sólidos sedimentáveis) foi realizada pelo método do cone Imhoff - NBR 10561/1988 e os resíduos sólidos totais pelo método gravimétrico – NBR 10664/1989. A medição de pH foi realizada através do pHmetro digital microprocessado da marca DEL LAB, previamente calibrado. A determinação da Turbidez pelo método nefelométrico – SABESP NTS 008, usando turbidímetro Digimed DM TU.

#### 4. Resultados e Discussão

O sistema analisado apresentou uma eficiência desejável na remoção de DBO, tendo uma média global de aproximadamente  $83\% \pm 9,9$ . Segundo a Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011 do CONAMA, para se fazer o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora nos corpos hídricos, deve-se fazer a remoção de no mínimo 60% da DBO, este mesmo valor é exigido no artigo 29 da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008, portanto o sistema atendeu a legislação. A Figura 4 explicita as concentrações de DBO encontradas nas análises.

**Figura 4.** Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no sistema nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente.



Fonte: Próprio Autoria.

Analisando a Figura 4 nota-se uma elevação da quantidade de matéria orgânica nas análises dos dias 16 e 23 de outubro. Vincula-se esse aumento ao fato de que na semana anterior ao dia 16 houve um feriado prolongado, o que intensificou a carga orgânica devido ao aumento de contribuintes na casa.

A Tabela 1 apresenta os valores da eficiência na remoção de DBO obtida em cada análise, e como pode-se notar, a eficiência aumentou com o passar do tempo. A Tabela 1, também permite analisar a eficiência relativa entre os pontos intermediários.

**Tabela 1.** Eficiência (%) na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Datas	Pontos 1-2	Pontos 2-3	Pontos 1-3 (Global)
25/set			68,4
02/out	52,5	56,6	79,4
10/out	57,1	64,6	84,8
16/out	76,7	76,8	94,6
23/out	54,3	73,8	88,0
Média	60,2	67,9	83,0

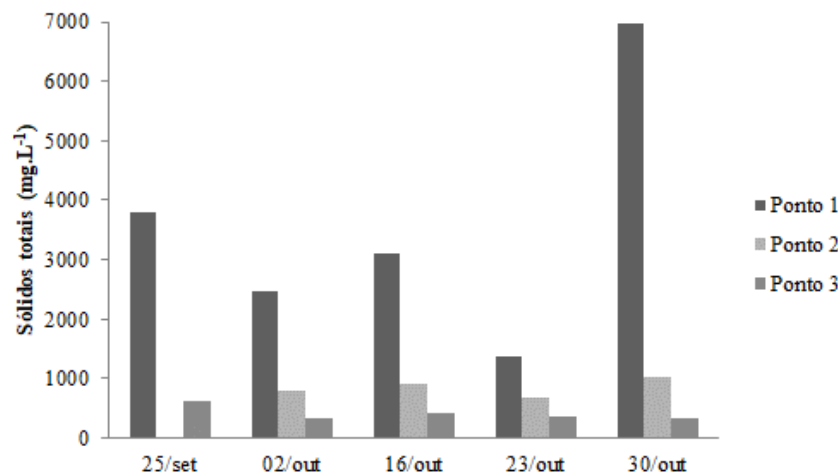
Fonte: Próprio Autoria

A remoção de DBO do sistema apresentou um rendimento crescente com o passar das análises, isso se deve pelo fato do sistema ainda estar em processo de estabilização, onde a primeira amostra foi feita um pouco antes do término do processo, manifestando o menor valor de eficiência. Ao atingir-se a quarta semana de análises, o SAC apresentou o melhor rendimento, ao alcançar 94% de remoção de DBO. Examinando a eficiência de remoção da DBO (Tabela 1) na primeira metade do sistema (Pontos 1-2), onde está plantado o Lírio-do-brejo, verifica-se que este apresenta valores menores de eficiência do que a segunda metade do sistema (Pontos 2-3) composta de Taboa. Neste sentido, a espécie *Typha domingensis*, nas condições aqui testadas, apresentou-se mais eficaz na remoção de matéria orgânica que a *Hedychium coronarium*. Todavia, cabe salientar que a fração vegetada com Lírio-do-brejo recebeu o efluente bruto, com maior carga orgânica e poluentes, enquanto que a fração vegetada com a Taboa iniciou o tratamento com o efluente parcialmente depurado, o que favorece sua maior eficiência. Assim, estudos que avaliem o sistema na ordem inversa (Taboa seguido de Lírio-do-brejo) irão agregar para melhor entendimento da eficiência relativa das espécies.

Gonçalves & Jesus (2015) em um estudo do SAC convencional cultivado apenas com Taboa obtiveram média de 88% de eficiência na remoção de DBO, valor esse próximo aos 83% encontrados no sistema com consórcio. Assim, comparando o SAC com consórcio de espécies ao SAC convencional, utilizando apenas *Typha domingensis*, observou-se que o rendimento na remoção de DBO é semelhante. Entretanto, o sistema alagado construído possui significativo efeito na harmonia paisagística local, em que o consórcio de espécies é desejável, principalmente se tratando do Lírio-do-brejo, que é uma planta florífera.

A Figura 5 apresenta a concentração de sólidos totais do sistema nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente.

**Figura 5.** Concentração de sólidos totais no sistema nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente.



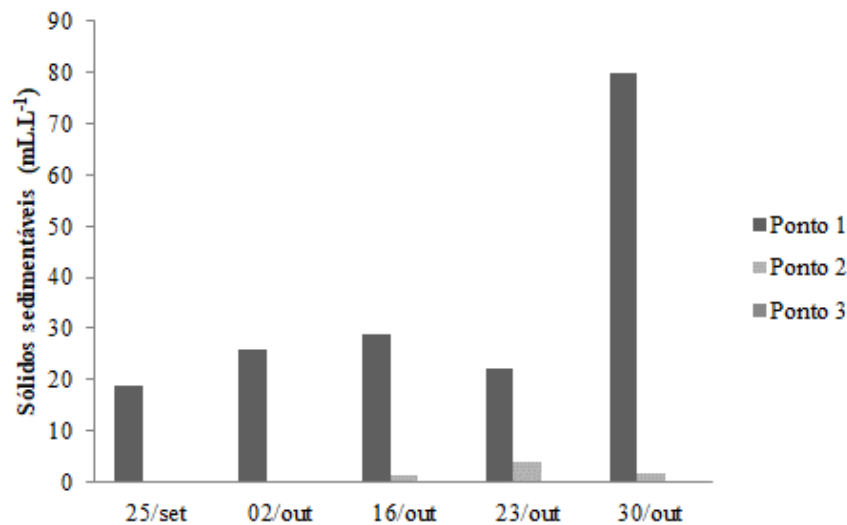
Fonte: Próprio Autoria.

Observou-se que no dia 30/10 houve um aumento significativo da concentração sólidos totais, esse aumento possivelmente está relacionado com a ocorrência de chuvas no referido período, o que gerou uma maior contribuição de particulado sólido ao sistema advinda da área lateral que aumenta a velocidade de escoamento no sistema.

À remoção de sólidos totais revelou-se adequada neste estudo, atingindo eficiência média global de 85%. Já no sistema avaliado por Freitas (2006), cultivado apenas com a Taboa, atingiu-se uma eficiência máxima de remoção de 72% diante de 11 amostragens realizadas. No presente estudo, a eficiência média de remoção de sólidos atingida na primeira metade foi de 69%. Mostrando que o Lírio-do-brejo foi responsável pela maior parte da remoção, ou seja, reduzindo significativamente a carga de sólidos proveniente do esgoto bruto. Já a Taboa, cultivada na segunda metade do SAC, apresentou cerca de 56% de eficiência na retenção de sólidos totais. Em outro trabalho, desenvolvido por Gonçalves & Jesus (2015), diante de 5 análises realizadas, obteve-se uma remoção média de 88,56% em um sistema em alvenaria cultivado apenas com Taboa, valor este bastante aproximado do encontrado pelo sistema cultivado com duas espécies.

A Figura 6 contém a concentração de sólidos sedimentáveis. Com relação ao ponto 1 e 2 pode-se notar um aumento de sólidos sedimentáveis nos dias 16/10 e 30/10. Já o ponto 3 as remoções foram satisfatórias, sendo os sólidos sedimentáveis inexistentes no efluente de saída.

**Figura 6.** Concentração de sólidos sedimentáveis no sistema nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente.



Fonte: Próprio Autoria.

Com relação aos sólidos sedimentáveis, o aumento acentuado no dia 30/10 foi atribuído à ocorrência de chuvas no período e também ao aumento no número de ocupantes na residência. A primeira metade do sistema, composto somente por Lírio-do-brejo, obteve uma eficiência média de remoção de sólidos sedimentáveis de 90,8%, entretanto, a remoção apenas com uma espécie não foi suficiente para atender à legislação. Já a segunda metade, cultivada com Taboa, permitiu que o efluente passasse por mais um trecho que pudesse remover o material sedimentável restante, atingindo uma remoção média de 98,3%.

Ao se comparar a Tabela 2 com as demais, pode-se dizer que a remoção de sólidos sedimentáveis no sistema foi a mais satisfatória de todos os parâmetros analisados. Atingiu-se uma eficiência global média de remoção de aproximadamente  $99,9\% \pm 0,2$ , atendendo assim à Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1 vigente em Minas Gerais, a qual estipula um limite de 1mL/L de materiais sedimentáveis para lançamento de efluentes em corpos hídricos.

**Tabela 2.** Eficiência (%) na remoção dos sólidos sedimentáveis.

<b>Datas</b>	<b>Pontos 1-2</b>	<b>Pontos 2-3</b>	<b>Pontos 1-3 (Global)</b>
<b>25/set</b>			100
<b>02/out</b>	94,2	93,3	99,6
<b>16/out</b>	86,2	100	100
<b>23/out</b>	91,4	100	100
<b>30/out</b>	91,3	100	100
<b>Média</b>	<b>90,8</b>	<b>98,3</b>	<b>99,9</b>

Fonte: Próprio Autoria.

Durante o período de estudo, o pH do sistema não apresentou uma grande variação, se manteve entre 6,81 e 7,73 no ponto de entrada do sistema, e no ponto de saída variou entre 6,84 e 8,32. Como o pH se manteve em torno da neutralidade, pode-se inferir que os processos biológicos ocorreram satisfatoriamente, uma vez que mudanças no pH do meio afetam sensivelmente as bactérias envolvidas no processo de digestão (Quadros, Oliver, Regis, Valladares, Souza & Ferreira, 2010). Os dados de pH e temperatura estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** pH e temperatura no sistema nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente.

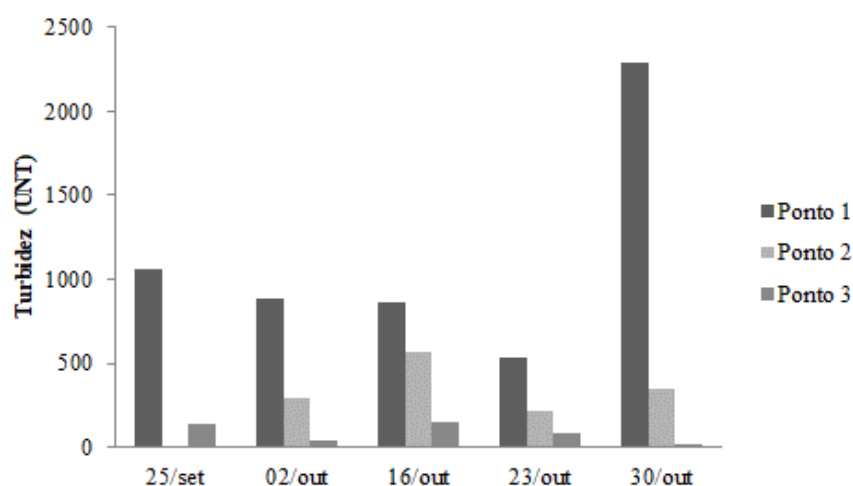
<b>Data</b>	<b>Ponto 1</b>		<b>Ponto 2</b>		<b>Ponto 3</b>	
	<b>Temperatura</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>pH</b>
<b>25/set</b>	24,1	7,68			24	7,48
<b>02/out</b>	25,4	7,42	25,6	7,34	25,6	7,95
<b>16/out</b>	26,5	7,73	26,4	8,25	26,5	8,32
<b>23/out</b>	26,1	7,04	26,7	7,22	26,3	7,07
<b>30/out</b>	24,7	6,81	24,7	7,06	24,8	6,84

Fonte: Próprio Autoria.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG, nº 01/2008, em seu artigo 29, diz que para o lançamento direto ou indireto de efluentes em corpos hídricos, o pH deve estar entre 6,0 e 9,0, portanto o sistema analisado atende a legislação, visto que os valores obtidos nas análises estão dentro do permitido.

O sistema apresentou uma boa remoção na turbidez. Os valores encontrados estão dispostos na Figura 7. As maiores eficiências de remoção ocorreram nos dias 2 e 30 de outubro, atingindo respectivamente 96,0% e 99,4%, segundo Tabela 4.

**Figura 7.** Turbidez no sistema nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente.



Fonte: Próprio Autoria.

A Tabela 4 contém a eficiência global média de remoção da turbidez do sistema, a qual corresponde a aproximadamente  $89,7\% \pm 7,5$ . Com relação à primeira metade do sistema cultivada com lírio-do-brejo obteve-se uma remoção média de 61,5%, já a segunda metade atingiu uma eficiência média de 79,4%. Estes resultados corroboram a influência do fluxo em pistão nos processos físicos e biológicos, em que a relação comprimento/largura favorece expressivamente a remoção dos sólidos. Resultados semelhantes ao presente estudo também foram obtidos no sistema aplicado por Gonçalves & Jesus (2015), onde obteve-se uma eficiência média de 95,47%.

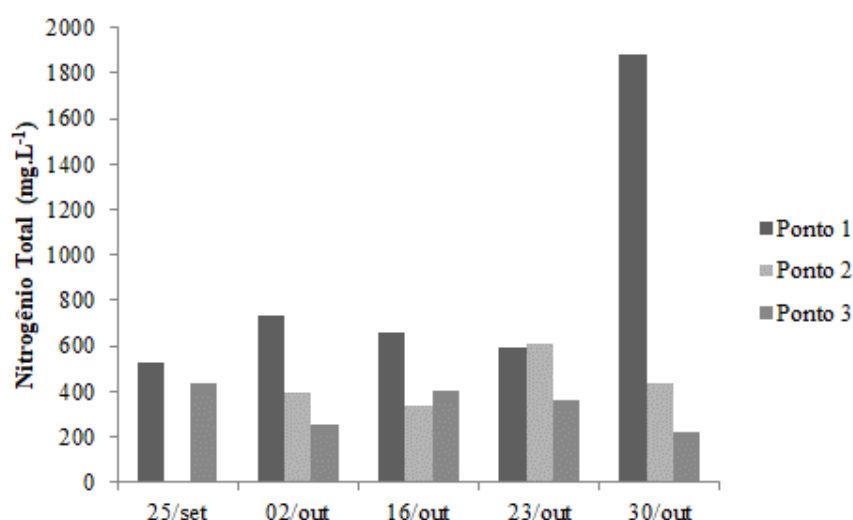
**Tabela 4.** Eficiência (%) na remoção da turbidez.

Datas	Pontos 1-2	Pontos 2-3	Pontos 1-3 (Global)
25/set			86,6
02/out	67,0	88,0	96,0
16/out	34,8	73,8	82,9
23/out	59,4	59,8	83,7
30/out	84,7	96,0	99,4
Média	61,5	79,4	89,7

Fonte: Próprio Autoria.

O Nitrogênio Total foi o parâmetro que mais oscilou nas referidas datas de amostragem, como pode-se observar na Figura 8.

**Figura 8.** Nitrogênio Total do sistema nos pontos 1, 2 e 3, respectivamente.



Fonte: Próprio Autoria.

A remoção de nitrogênio do efluente bruto ocorre principalmente devido à assimilação das macrófitas que utilizam o macro nutriente para se desenvolver. Pode-se observar o acréscimo da concentração desse macronutriente nos dias 16/10 e no dia 23/10. Essas alterações podem ser associadas principalmente à senescência de microrganismos que contribuem para a carga de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica no sistema, fato este natural em reatores biológicos. Analisando-se a Tabela 5 pode-se observar que o sistema atingiu uma eficiência média global de 49,6%. Nota-se, também, que as maiores eficiências de remoção foram atingidas pela primeira metade do sistema cultivada com Lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*).

**Tabela 5.** Eficiência (%) na remoção de Nitrogênio Total.

Data	Pontos 1-2	Pontos 2-3	Pontos 1-3 (Global)
25/set			17,5
02/out	46,4	34,6	65,0
16/out	48,8	-20,1	38,6
23/out	-3,9	40,6	38,3
30/out	76,7	50,6	88,5
<b>Média</b>	<b>42,0</b>	<b>26,4</b>	<b>49,6</b>

Fonte: Próprio Autoria.

Na remoção do nitrogênio total (Tabela 5), notou-se maior eficiência na primeira metade do sistema, podendo-se dizer que a espécie Lírio-do-brejo é mais eficiente na remoção desse



macronutriente, o que ficou evidenciado pelo maior desenvolvimento dessa espécie em relação à Taboa. Sabe-se que o nitrogênio é fundamental para a produção de novas células e consequente crescimento das plantas e por isso a presença de microrganismos no SAC é importante já que disponibilizam esse nutriente para os vegetais, contribuindo assim para a eficiência do sistema.

Tendo por base o trabalho desenvolvido por Gonçalves & Jesus (2015), pode-se dizer que houve melhoria na eficiência de remoção do nitrogênio total. As autoras supracitadas atingiram uma eficiência média de 41,2% de remoção, valor alcançado apenas na primeira metade do sistema implementado com duas espécies. Este resultado demonstra uma adicional vantagem dos sistemas alagados construídos avaliado no presente estudo.

Reatores biológicos no geral removem em média 20% de nitrogênio (Von Sperling, 2014). Já o SAC propicia maiores remoções por ser um sistema cultivado, sendo o nitrogênio essencial para o desenvolvimento das espécies vegetais (Matos, Abrahão & Lo Monaco, 2012).

Estes valores também são semelhantes aos encontrados por Ramos, Borges, Gonçalves & Matos (2017) utilizando SACs para tratar água residuária de suinocultura. De acordo com Vymazal & Kröpfelová (2008) a remoção de nitrogênio nos sistemas alagados é menor quando comparado à remoção de matéria orgânica e de sólidos, na ordem de 40 a 50%, e sendo incomum valores maiores, por não serem capazes de proporcionar, concomitantemente, condições aeróbias para a nitrificação e anaeróbias para a desnitrificação.

A eficiência pode ser otimizada em ocasião da poda das plantas, impulsionando seu desenvolvimento e consequente absorção de nitrogênio. Uma vez que nitrogênio e fósforo são os principais responsáveis pela eutrofização de corpos hídricos, pode-se afirmar que este sistema promove expressiva contribuição para conservação da qualidade de águas superficiais.

## **5. Considerações Finais**

O sistema alagado construído é um sistema extremamente promissor, visto que o mesmo apresenta valores consideráveis de eficiência nos parâmetros examinados neste estudo.

Diante disso, nota-se que o sistema propiciou atendimento à legislação vigente para o lançamento de efluentes em águas superficiais. Este fato tem influências ambientais e sociais pertinentes ao contexto rural, pois promove manutenção da qualidade da água superficial e consequente melhoria da qualidade de vida da população.

O consórcio de espécies pode ser considerado como uma melhoria no sistema, pois a eficiência do sistema foi evidenciada para a maioria dos parâmetros avaliados, quando comparado com o sistema convencional de outros estudos.

O sistema alagado construído mostrou-se um sistema de baixo custo, fácil manutenção e operação e com elevadas eficiências. Estas características o tornam ideal para implementação em áreas rurais para fins de tratamento de esgoto.

Ressalta-se que a presente pesquisa não esgota o conhecimento relacionando ao consórcio das espécies *Hedychium coronarium* (Lírio-do-brejo) e *Typha domingensis* (Taboa) em sistemas alagados construídos. Neste sentido, estudos que abordem o SAC cultivado com as espécies em ordem invertida (primeiro Taboa e depois Lírio-do-brejo), avaliação de efluentes diferentes do esgoto doméstico, bem como o monitoramento em longos períodos contribuirão expressivamente para o avanço da ciência.

## 6. Referências

Albuquerque, A., Oliveira, J., Semitela, S. & Amaral, L. (2010). Evaluation of the effectiveness of horizontal subsurface flow constructed wetlands for different media. *Journal of Environmental Sciences*, 22(6): 820-5.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1989). *Águas – Determinação de resíduos (sólidos) – Método Gravimétrico*, NBR 10664. Rio de Janeiro. 7p. Disponível em <<https://pt.scribd.com/doc/69586402/NBR-10664-1989-Aguas-Determinacao-de-Residuos-Solidos-Metodo-Gravimetrico>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1993). *Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*, 7229. Rio de Janeiro. Disponível em <[https://acquasana.com.br/legislacao/nbr\\_7229.pdf](https://acquasana.com.br/legislacao/nbr_7229.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2020.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1993). *Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*, 7229. Rio de Janeiro. Disponível em <[https://acquasana.com.br/legislacao/nbr\\_7229.pdf](https://acquasana.com.br/legislacao/nbr_7229.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2020.

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.

Fonseca, J. J. S. (2002). *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC.

Freitas, W. S. (2006). *Desempenho de sistemas alagados construídos, cultivados com diferentes espécies vegetais, no tratamento de águas residuárias da suinocultura*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 169 p.

Gil, A. C. (2002). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 4.ed.. São Paulo: Atlas.

Gonçalves, C. B. & Jesus, D. R. S. (2015). *Uso de sistemas alagados construídos para o tratamento de águas negras provenientes das águas residuárias domésticas em áreas rurais*. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade do Estado de Minas Gerais. 91 f.

Matos, A. T., Abrahão, S. S. & Lo Monaco, P. A. V. (2012). Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias de indústria de laticínios. *Engenharia Agrícola*, 32(1): 1144-1155.

Quadros, D. G. D., Oliver, A. D. P. M., Regis, U., Valladares, R., Souza, P. H. F. & Ferreira, E. D. J. (2010). Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(1): 326-332.

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. Disponível em:

[http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1). Acesso em: 22 jun. 2020.

Ramos, N. D. F. S., Borges, A. C., Gonçalves, G. C. & Matos, A. T. D. (2017). Tratamento de águas residuárias de suinocultura em sistemas alagados construídos, com *Chrysopogon zizanioides* e *Polygonum punctatum* cultivadas em leito de argila expandida. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(1): 123-132.

Silva, S. C. (2007). *Wetlands construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos doméstico*. 202f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Distrito Federal: Universidade de Brasília.

SNIS - Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento. (2018). *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos*. Disponível em < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

Souza, T. D., Borges, A. C., Matos, A. T. D., Munteer, A. H. & Queiroz, M. E. L. R. D. (2017). Removal of chlorpyrifos insecticide in constructed wetlands with different plant species. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(1): 878-883.

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, v. 1, 452 p.

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.

Vymazal, J. & Kröpfelová, L. (2008). *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow* (Series of Environmental Pollution). v. 14, Alemanha: Springer. 566 p.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Nicolly Carvalho de Sousa Almeida – 16,66%

Pompeu Otoni de Souza Lima – 16,66%

Rúbia Lemos Ferreira Carneiro – 16,66%

Tamara Daiane de Souza – 16,66%

Jaqueline Carla Valamiel de Oliveira e Silva – 16,66%

Jussara Aparecida de Oliveira Cotta – 16,66%