



## ***AValiação da Eficiência de Jardins Flutuantes na Remoção de Matéria Orgânica e Turbidez em Águas Poluídas***

**Gabriele de Souza Batista <sup>1</sup>, Patricia Herminio Cunha Feitosa <sup>2</sup>**

### **RESUMO**

A poluição difusa gerada pela contribuição clandestina de esgotos nos corpos hídricos dificulta o processo de tratamento, que por vezes pode se tornar de alto custo, e não apresenta a eficiência necessária para a remoção de nutrientes, por exemplo, como no caso das lagoas de estabilização. Assim, o presente trabalho consistiu no desenvolvimento de jardins flutuantes para inserção em um modelo experimental com águas afluentes do pequeno açude localizado na Universidade Federal de Campina Grande e na lagoa anaeróbica da ETE do Bairro do Glória, ambos localizados na cidade de Campina Grande, a fim de comprovar a eficiência, a partir de parâmetros normatizados, da fitorremediação na revitalização de águas poluídas. Em ambos os casos, foram montados jardins compostos por uma estrutura de rede e isopor, substratos de fibra de coco, bagaço de cana, PET trituradas e brita, com diferentes espécies de plantas. O monitoramento da eficiência dos jardins no tratamento foi feito a partir de análises de parâmetros físico-químicos da água - temperatura, pH, turbidez, DBO<sub>5</sub>, DQO e clorofila-a. Para o modelo experimental, os jardins apresentaram bom desempenho na remoção da matéria orgânica e na redução do teor de clorofila-a, com destaque para o jardim com substrato inorgânico de PET triturado, com eficiência de 45% e 79% para a redução da matéria orgânica e clorofila-a, respectivamente. No caso dos jardins instalados na ETE, apresentaram bons resultados na redução da DQO e turbidez, com eficiências de 8% e 58%, respectivamente, considerando o ponto de saída para o corpo hídrico.

**Palavras-chave:** Fitorremediação, Jardins flutuantes, Águas poluídas

---

<sup>1</sup>Aluno do curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: gabriele-sb@hotmail.com

<sup>2</sup>Doutora em Engenharia Agrícola, Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Civil, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: phcfeitosa@outlook.com

## ***EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF FLOATING GARDENS IN THE REMOVAL OF ORGANIC MATTER AND TURBIDITY IN POLLUTED WATERS***

### **ABSTRACT**

The diffuse pollution generated by the clandestine contribution of sewage in the water bodies hinders the treatment process, which can sometimes become costly, and does not have the necessary efficiency for nutrient removal, as in the case of stabilization ponds. Thus, the present work consisted of the development of floating gardens for insertion in an experimental model with tributaries of the small dam located at the Federal University of Campina Grande and in the anaerobic lagoon of the neighborhood of Glória WWTP's, both located in the city of Campina Grande, to prove the efficiency, based on standardized parameters, of phytoremediation in the revitalization of polluted waters. In both cases, gardens consisting of a mesh structure and Styrofoam, coconut fiber substrates, sugarcane bagasse, crushed PET and gravel were set up, with different species of plants. The monitoring of the efficiency of the gardens in the treatment was made by analyzing the physicochemical parameters of the water - temperature, pH, turbidity, BOD<sub>5</sub>, COD and chlorophyll-a. For the experimental model, the gardens showed good performance in the removal of organic matter and reduction of chlorophyll-a content, especially the garden with inorganic ground PET substrate, with efficiency of 45% and 79% for the reduction of matter and chlorophyll-a, respectively. In the case of the gardens installed at the WWTP, they showed good results in reducing COD and turbidity, with efficiencies of 8% and 58%, respectively, considering the exit point to the water body.

**Keywords:** Phytoremediation, Floating gardens, Polluted waters,

## INTRODUÇÃO

O despejo inadequado de esgoto é a forma de poluição mais recorrente nas cidades brasileiras. Apenas 48,6% da população brasileira tem acesso à rede de esgotamento sanitário e, destes, somente 40% do esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento (TRATA BRASIL, 2015), cuja ineficiência influencia diretamente na qualidade das águas a jusante das cidades.

Ademais, a poluição difusa gerada pela contribuição clandestina de esgotos nos corpos hídricos urbanos, são muitas vezes, difíceis de serem controladas e/ou tratadas, como é o caso da cidade de Campina Grande, localizada no interior da Paraíba. Para evitar tais problemas ambientais, estes resíduos necessitam de técnicas de tratamento, que muitas vezes são de alto custo e não apresentam a eficiência necessária.

O tratamento dos efluentes no país dá-se por Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que são projetadas e operadas, na maioria das vezes, ignorando as frações nitrogenadas e fosforadas, sendo sua remoção ocasional devido aos processos físico-químicos e biológicos associados (SEREZINO, 2006).

Todavia, a união do processo tradicional de tratamento de efluentes, como é o caso das lagoas de estabilização, e o uso de tecnologias alternativas que promovem o tratamento biológico, como é o caso dos jardins flutuantes, mostra-se uma solução que promove elevada qualidade de tratamento, apresentando eficiências de remoção superiores a 90% tanto para a fração carbonácea como para a fração nitrogenada presentes nos esgotos, de acordo com Kayser et al (2003).

Segundo Zanella (2008), o processo de tratamento por jardins flutuantes recebeu diversas denominações no Brasil, mas que em suma, remetem ao sistema composto por estrutura suporte + substrato + plantas. Os jardins flutuantes têm popularidade cada vez mais crescente mediante as vantagens do tratamento que propiciam para o efluente, sendo este passivo, natural, de baixa manutenção, operacionalmente simples e com baixa custo, levando em conta os valores estéticos (HEADLEY e TANNER, 2006).

A aplicação de sistemas de jardins flutuantes na revitalização de águas poluídas faz uso de materiais que podem ser facilmente encontrados, pois este estudo está focado na identificação de produtos comuns no nordeste brasileiro, tanto para a estrutura suporte, como para o substrato e as plantas a serem utilizadas nos

modelos testados.

A gradativa melhoria das características do meio aquático pode contribuir fortemente, a médio e longo prazos, com a ampliação da capacidade produtiva local, bem como com a garantia de abastecimento de água das cidades, tendo em vista a promoção de ambientes equilibrados no que tange a qualidade das águas.

Os estudos desse trabalho permitem múltiplas possibilidades de aplicação na revitalização de corpos hídricos poluídos contribuindo com o controle do processo de eutrofização que limitam o uso das águas de muitos reservatórios no Brasil, cujos municípios inseridos nessas bacias hidrográficas, apresentam precariedade que comprometem o meio ambiente e qualidade de vida das pessoas.

Frente a isso, o presente trabalho tem como objetivo criar modelos de jardins flutuantes, compostos por uma estrutura de suporte, substrato e plantas ornamentais, a fim de contribuir no desenvolvimento de técnicas de revitalização das águas com base na fitorremediação, almejando-se avaliar a capacidade que essas diversas estruturas podem possuir na redução da carga poluidora em águas residuárias em estações de tratamento de esgotos.

## **METODOLOGIA**

### **1ª Etapa: Jardins flutuantes inseridos no modelo experimental**

O modelo experimental foi inserido na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, sendo constituído de um sistema de simulação, construído a partir de três tanques de 1000 litros, aos quais serviram de receptores dos efluentes provindos da zona á montante do canal situado por trás da biblioteca central (figura 1).

**Figura 1. Sistema de simulação constituído por três tanques**

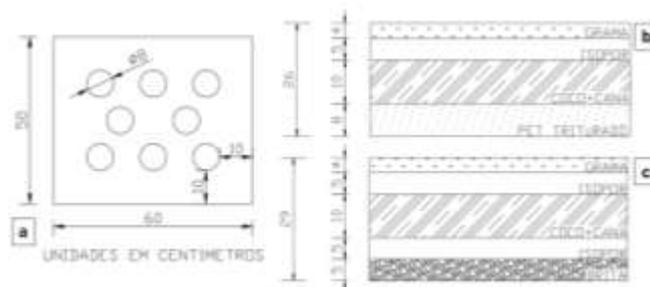


Fonte: Galisa (2016)

Os tanques foram abastecidos por meio uma tubulação de recalque ligada a uma bomba afogada. Assim, o tanque 2 serviu de prova em branco de modo a ilustrar o comportamento do lago, servindo como comparativo da eficiência dos jardins. Os tanques 1 e 3 receberam jardins flutuantes. Após cada coleta semanal, esvaziava-se cerca de 5 cm de água dos tanques, recarregando-o, em seguida, com o objetivo de simular a recarga e descarga presente no açude.

Mediante projeto prévio, a estrutura dos jardins foi montada a partir de um saco confeccionado em tela, costurado com fio de nylon, com dimensões 60x50 cm e altura de 50 cm, que serviu de suporte para a colocação das camadas de substrato, placas de isopor (seção 60x50 cm, com 8 furos de 8 cm de diâmetro), grama e plantas, conforme vista superior na figura 2a. Montou-se dois tipos de jardins, ambos com a presença de uma camada de substrato orgânico formado por bagaço de cana-de-açúcar e fibra de coco, mas com diferentes substratos inorgânicos: em um usou-se o PET triturado (figura 2b) e no outro brita (figura 2c).

**Figura 2. a) Vista superior dos jardins; b) jardim tipo 1, com substrato de PET triturado; c) jardim tipo 2, com substrato de brita.**



Fonte: O autor (2019)

**Figura 3. Processo de montagem: a) e b) Colocação das camadas; c) Costura na parte superior com fio de nylon; d) Finalização da montagem**



Fonte: O autor (2019)

A partir da montagem dos jardins realizada no dia 24 de setembro de 2018 (figura 3) obteve-se uma porcentagem de cobertura superficial de aproximadamente 14,7%, levando em consideração os estudos de Headley e Tanner (2008), que demonstra que áreas completamente cobertas são susceptíveis a se tornarem cada vez mais anaeróbicas, o que pode ter impactos negativos na biota a jusante.

As plantas foram escolhidas, conforme o quadro 1, levando em consideração a possível adaptação a ambientes alagados, além da facilidade de obtenção das mesmas na região de instalação do sistema. Em ambos os tipos, colocou-se mudas de coração roxo, planta a qual possui boa resistência e eficiência, com base nas análises de Rocha (2018), a fim de verificar se possíveis más adaptações ao sistema foram devido ao sistema ou a espécie utilizada.

**Quadro 1. Plantas utilizadas nos jardins flutuantes**

JARDIM TIPO 1	JARDIM TIPO 2
<i>Tradescantia pallida</i> (Coração-roxo)	<i>Tradescantia pallida</i> (Coração roxo)
<i>Asparagus densiflorus Sprengeri</i> (Alfinete)	
<i>Petunia x hybrida</i> (Petúnia)	
<i>Dianthus chinensis</i> (Cravina)	
<i>Portulaca grandiflora</i> (11 horas)	
<i>Portulaca oleracea</i> (Beldroega)	<i>Catharanthus roseus</i> (Bom-dia)
<i>Euphorbia milii</i> (Bem-casado)	

Com base em pesquisas anteriores realizadas por Alencar e Feitosa (2018), percebe-se a necessidade da lavagem dos substratos orgânicos, a fibra de coco e o bagaço da cana, antes de sua inserção no sistema de jardins flutuantes, visto que eles liberam inicialmente grande quantidade de matéria orgânica quando colocado em ambientes aquáticos.

As lavagens foram realizadas em quatro dias, de 12 a 14 de setembro de 2018, com os substratos devidamente moídos para tamanhos menores na forrageira. As águas resultantes da lavagem foram analisadas a partir dos parâmetros de temperatura, pH, turbidez, DBO<sub>5</sub> e DQO, com base nos métodos explicitados por APHA (2005).

**2ª Etapa: Jardins flutuantes inseridos na Estação de Tratamento de Esgoto**

Na segunda etapa de trabalho, utilizou-se o sistema de jardins flutuantes em uma ETE do município de Campina Grande. A Estação de Tratamento de Esgoto localizada na Zona Leste da cidade, no bairro do Glória, tem o objetivo de tratar as

águas residuárias de quatro bairros populares (Glória I, Glória II, Belo Monte e Jardim América).

Esta ETE é composta de um tratamento preliminar (grade de barras, caixa de areia e calha Parshall) e de duas lagoas de estabilização, sendo uma anaeróbia com profundidade de 3,5 m e uma área de 1065,80 m<sup>2</sup> e uma facultativa secundária com profundidade de 2 m e uma área de 3326,26 m<sup>2</sup> (ARAÚJO, 2007).

Inicialmente, fez-se uma caracterização prévia das lagoas de estabilização, por meio de 3 coletas dos efluentes em três pontos: entrada e saída do efluente na lagoa anaeróbia e saída do efluente na lagoa facultativa. A motivação foi verificar como o sistema atual no tratamento do esgoto, a fim de verificar posteriormente com a inserção dos jardins se o resultado seria devido ao próprio mecanismo das lagoas ou ao sistema integrado a elas.

A estrutura dos jardins nesta etapa foi montada a partir de telas de dimensões 3,00x2,40m costuradas com fio de nylon para formar uma espécie de saco, que serviu de suporte para a colocação das camadas de substrato, placas de isopor (seção retangular de dimensões 1,00x1,25m e 10 cm de espessura) e plantas.

Para a confecção das placas de isopor, reutilizou-se blocos de isopor para base de pavimento, que foram cortados nas medidas já apresentadas, a partir de um sistema elétrico com resistência, que aquece um fio condutor responsável pelo corte do bloco. Nas placas foram feitos furos para permitir a colocação das plantas em três diferentes modelos, a fim de garantir o espaço para cada tipo de planta.

**Figura 4. Processo de montagem: a) Colocação das camadas de substrato; b) Inserção da placa de isopor; c) Costura para fechar o saco; d) Colocação do jardim na lagoa e inserção das plantas; e) Finalização da montagem**



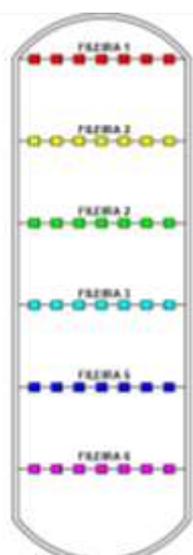
Fonte: O autor (2019)

Os jardins foram montados na primeira lagoa da ETE, lagoa anaeróbia, entre os dias 08 de março e 17 de maio de 2019, obtendo ao final, uma porcentagem de

cobertura superficial de aproximadamente 4,1%, mediante a colocação de 42 jardins flutuantes na primeira lagoa da ETE. O processo de montagem dos jardins pode ser descrito visualmente mediante análise da figura 4.

Os jardins flutuantes foram montados formando fileiras na lagoa anaeróbia, a partir da utilização de cordas, que foram presas as bordas da lagoa a fim de garantir o formato retilíneo das fileiras de jardim. Nas fileiras, o espaçamento entre os jardins era de 2,75 metros e entre as fileiras, o espaçamento era de 10,0 metros. Os jardins apresentaram variações no tipo e quantidade de substrato – medido por quantidade de baldes de 100 litros - e na espécie de planta utilizadas ao longo das fileiras, como vê-se na figura 5.

**Figura 5. Disposição dos jardins ao na lagoa e composição de cada fileira**



Fileira	Espécie de planta	Substrato (nº de baldes)			
		Cana	Coco	Isopor	Brita
1	<i>Cyperus papyrus</i> (Papiro)	2	-	1	1 ¾
2	<i>Tradescantia zebrina</i> (Coração-roxo)	1 ½	1 ½	-	1
3	<i>Callisia fragrans</i> (Planta de cestos)	1 ½	1 ½	-	1
4	<i>Canna x generalis</i> (Cana da Índia)	2	-	1	1 ¾
5	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (Taioba)	3	-	-	1 ¾
6	<i>Cyperus papyrus</i> (Papiro)	2	-	1	1 ¾

Fonte: O autor (2019)

### Monitoramento da qualidade do efluentes

Paras ambas as etapas, o monitoramento deu-se por coletas realizadas com o auxílio de um coletor de amostras confeccionado em PVC. No caso do modelo experimental, as coletas foram realizadas semanalmente, durante cerca de 3 meses, no período entre 28 de setembro a 13 de dezembro de 2010, totalizado 10 campanhas.

Já para os jardins flutuantes instalados na ETE, inicialmente o monitoramento foi realizado por coletas semanais, entre 24 de maio e 21 de junho de 2019, sendo seguido por coletas a cada 15 dias, entre o período de 05 de julho e 10 de agosto de 2019, gerando um total de 8 coletas. Tais coletas foram feitas em 8 pontos (figura 6),

sendo 7 ao longo da lagoa anaeróbia e 1 na saída do efluente na lagoa facultativa, para verificar se ao final do processo o sistema com os jardins otimizou o tratamento na ETE.

**Figura 6. Disposição dos pontos de coleta nas lagoas da ETE**



Fonte: O autor (2019)

As análises, tanto para a caracterização prévia da lagoa quanto para o monitoramento, foram realizadas no laboratório de Saneamento da UFCG, a partir dos ensaios de temperatura, turbidez, pH, clorofila-a, DQO e DBO<sub>5</sub>, seguindo as metodologias presentes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), conforme o quadro 2.

**Quadro 2. Parâmetros analisados**

Parâmetro	Método
Temperatura	Método Instrumental - Termômetro
pH	Método Instrumental - pHmetro
Turbidez	Método Instrumental - Turbidímetro
Demanda Bioquímica de oxigênio – DBO	Método Padrão Modificado - Oxímetro
Demanda Química de Oxigênio – DQO	Titrimétrico da refluxação fechada do dicromato de potássio
Clorofila-a	Método Espectrofométrico utilizando Etanol

## DESENVOLVIMENTO

Simulando o ambiente dos jardins flutuantes naturais, foram criados os jardins flutuantes artificiais, empregados em vários países, na recuperação de rios, lagos e canais, buscando-se mitigar os efeitos nocivos do lançamento de esgotos na água.

Estes, são uma forma de tratamento wetland caracterizado acima por um tapete flutuante onde as macrófitas podem ser plantadas e abaixo pelas raízes entrelaçadas das plantas cobertas por biofilme por onde água passa (FAULWETTER et. al, 2011).

À medida em que a água passa por baixo da esteira, os poluentes são removidos por meio de vários mecanismos presentes no processo de fitorremediação (como absorção, biofilmes e sedimentação de contaminantes) que as plantas realizam a partir de suas raízes em contato com a água poluída.

Em comparação com outros sistemas de wetlands, os jardins flutuantes são baseados em informações muito limitadas e a maioria das aplicações parece ser única até mesmo para os parâmetros mais básicos como tamanho, grau de fluviabilidade, meios de plantação, seleção de plantas, etc.

Este tratamento utiliza plantas, que associam sua beleza com o bom desempenho na depuração do esgoto, permitindo seu uso mesmo em açudes urbanos ou em espaços de atividade turística. Além disso, apresenta mecanismo de atuação próximo ao que ocorre na natureza, utilizando energia solar, ação dos ventos, equilíbrios gasosos, biomassa, etc. (ZANELLA, 2008).

Com base nos estudos já realizados por Galisa (2016) com modelos experimentais de jardins flutuantes, percebe-se resultados positivos com uso de substrato da fibra de coco e a *Tradescantia pallida* (coração-roxo) obtendo uma eficiência de 72,4% e 76,2% de redução dos parâmetros de DBO5 e turbidez, respectivamente. Rocha (2018), por sua vez, remete à tendência de redução das concentrações dos parâmetros analisados, indicando uma tendência de melhora na qualidade da água de pequeno a médio prazo, para a aplicação dos jardins flutuantes realizada no lago da UFCG.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Jardins flutuantes inseridos no modelo experimental**

Da lavagem dos substratos, percebe-se a redução dos níveis de turbidez e DQO na água resultante da lavagem dos substratos. A redução na turbidez e na DQO foram de respectivamente 67,29% e 42,93%, durante os dias de lavagem, o que comprova a eficácia na retirada da matéria orgânica dos substratos no processo de lavagem.

Com relação a análise da estrutura dos jardins e adaptação das plantas

verificou-se o bom desempenho estrutural de ambos os modelos. Além disso, a montagem mostrou-se de fácil e rápida execução, propiciando a produção em larga escala, sem a necessidade de uma mão-de-obra elevada.

Entre as plantas inseridas nos modelos, como já previsto com base em pesquisas anteriores, o coração roxo foi a que apresentou melhor desempenho em ambos os protótipos, comprovando que os jardins apresentam meio de propiciar desenvolvimento para as plantas. Ademais, as espécies beldroega, cravina, bem-casado e a grama também obtiveram ótimo desenvolvimento. Em contrapartida, algumas espécies como a petúnia e o alfinete, morreram por ocorrência de fatores como a má fixação no substrato e falta de adaptação ao ambiente com excesso de água e rico em nutrientes.

Uma das maiores dificuldades durante a etapa de monitoramento do sistema foi o furto de plantas, como a cravina e o bem-casado, que estavam em pleno e bom desenvolvimento. Dessa forma, ao final dos 80 dias com os jardins instalados nos tanques, apenas duas espécies de plantas permaneceram no sistema sem serem furtadas ou morrerem. A figura 7 apresenta as espécies restantes nos jardins.

**Figura 7. Plantas restantes nos jardins: circulado em laranja a *Portulaca oleracea* (Beldroega) e circulado em azul a *Tradescantia pallida* (coração roxo).**



Fonte: O autor (2019)

Levando em consideração os parâmetros analisados no monitoramento do modelo, o pH no transcorrer do tempo foi reduzindo, não apenas para os tanques com os jardins, mas também para o tanque que serviu como prova em branco. Além disso, entre os valores obtidos entres os tanques, não houve mudanças significativas, o que demonstra que a própria água passa pelo processo de redução do pH de maneira natural.

Com relação à clorofila-a (figura 8), percebe-se, inicialmente, um aumento significativo do valor que se explica pela questão de que os tanques fazem com que

a água fique represada, diminuindo a sua movimentação e conseqüente aeração, promovendo o conseqüente aumento de algas que promovem a colocação esverdeada à água.

Entretanto, no dia 22/11 o teor de clorofila-a começa a decair para os tanques com os jardins, fazendo com que a eficiência na remoção da clorofila-a seja, a partir desta data, de 14% para o jardim tipo 2 e de 79% para o jardim tipo 1. Essa remoção deve-se à propriedade de adsorção de biomassa promovida pelos substratos e pela redução do espelho d'água exposto a radiação solar a partir da cobertura superficial dos tanques com os jardins.

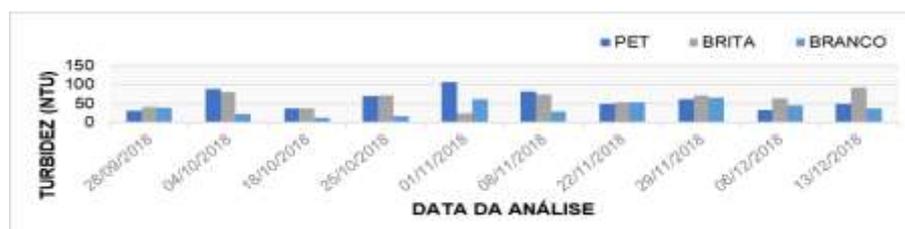
**Figura 8. Gráfico de clorofila-a, da água dos tanques, em função do tempo.**



Fonte: O autor (2019)

A turbidez (figura 9) nos tanques com os jardins apresentaram, durante quase todas as campanhas, valores mais elevados que a prova em branco, diferentemente dos resultados obtidos por Alencar e Feitosa (2017), em que a turbidez aumenta apenas nos primeiros dias após instalação dos jardins, devido à perda de biomassa dos substratos para a água. Porém, esse crescimento pode ser explicado pela liberação de partícula dos substratos orgânicos e pelo pouco tempo de monitoramento do sistema.

**Figura 9. Gráfico de turbidez, da água dos tanques, em função do tempo.**

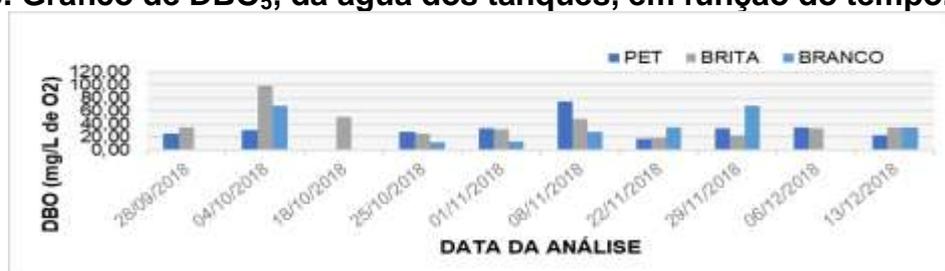


Fonte: O autor (2019)

A DBO<sub>5</sub> e a DQO (figuras 10 e 11), tem seus valores elevados nas primeiras semanas para os tanques com os jardins e valores menores para o tanque da prova em branco. Essa situação se altera após o dia 22/11, no qual verifica-se uma queda desses parâmetros nos tanques 1 e 3, a partir da atuação dos substratos orgânicos no meio, com o melhoramento gradativo na qualidade da água, principalmente pela adsorção de partículas, paralelamente com o aumento gradativo dos valores no tanque 2. A eficiência dos jardins na remoção da matéria orgânica biodegradável a partir dessa data é de 45% para o tanque 1 de 37% para o tanque 3 e na remoção de todas as parcelas de matéria orgânica é de 35 % para o tanque 1 e uma ineficiência de -2% para o tanque 3.

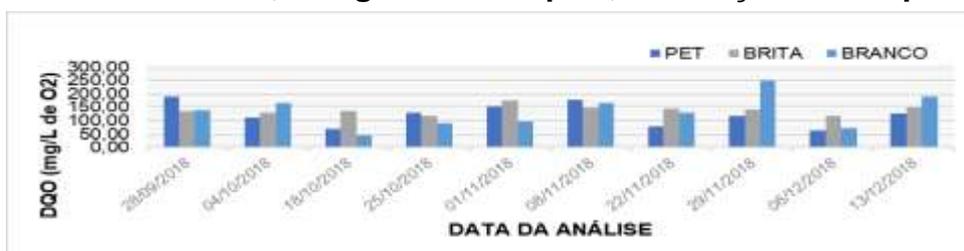
Nota-se algumas variações dos valores da DQO ao longo do tempo, que podem ser resultantes do lançamento de esgotos clandestinos domésticos e industriais, lançados indevidamente com cargas intermitentes, no sistema de drenagem de águas a céu aberto.

**Figura 10. Gráfico de DBO<sub>5</sub>, da água dos tanques, em função do tempo.**



Fonte: O autor (2019)

**Figura 11. Gráfico de DQO, da água dos tanques, em função do tempo.**



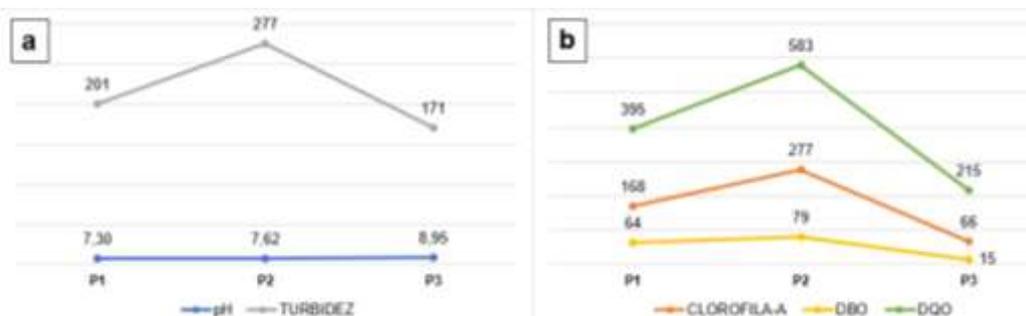
Fonte: O autor (2019)

### Jardins flutuantes inseridos na Estação de Tratamento de Esgoto

Mediante análise prévia realizada na ETE, pôde-se verificar, com base na figura 13, a atuação das lagoas de estabilização na remoção da matéria orgânica e turbidez, com redução de cerca de 15% da turbidez, 46% da DQO, 77% da DBO e

61% da clorofila-a. O pH não teve alterações significativas, mantendo-se levemente alcalino, como recomenda Von Sperling (1996).

**Figura 12. a) Gráfico de DQO de pH e turbidez; b) Gráfico de clorofila-a, DBO e DQO.**



Fonte: O autor (2019)

A figura 12 ainda propicia uma análise sobre o aumento dos parâmetros no ponto P2, ao qual refere-se a saída da lagoa anaeróbia. Tendo em vista que a espuma produzida pela lagoa está concentrada na saída desta (P2) ao realizar-se as coletas é inevitável o recolhimento da água com este lodo que eleva os parâmetros de matéria orgânica e turbidez.

Em relação a estrutura dos jardins, tem-se um bom desempenho estrutural, sem afundar totalmente e com a possibilidade de elevado suporte de carga, como vê-se na figura 13, na o jardim suporta cerca de 55 kg. A montagem, assim como no modelo experimental, foi de fácil e rápida execução, uma das únicas dificuldades esteve relacionada ao corte do isopor em placas e na execução dos furos.

**Figura 13. Jardins com elevada capacidade de suporte de carga**



Fonte: O autor (2019)

Em relação as espécies de plantas inseridas nos jardins, a que possuiu melhor adaptação ao sistema foi o *Cyperus papyrus*. As demais espécies pouco se

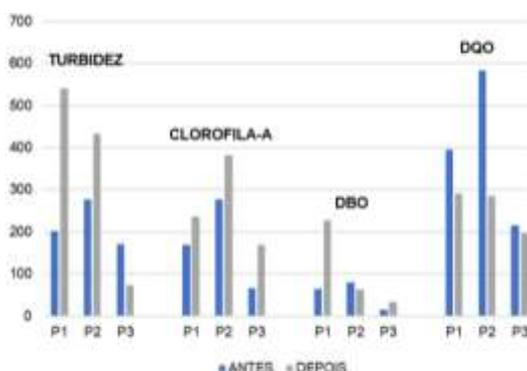
desenvolveram ou então morreram. Entretanto, deve-se levar em consideração que no modelo experimental bem como em estudos anteriores, nunca se havia testado a resistência e adaptação de plantas à sistemas com baixo ou nenhum teor de oxigênio e com alta concentração de nutrientes, como é o caso da lagoa anaeróbia

Inicialmente, faz-se necessária uma análise entre os resultados da lagoa para os parâmetros explicitados antes e depois da colocação dos jardins, a fim de verificar a real eficiência.

Com base no gráfico da figura 14, denota-se que os parâmetros de turbidez e DQO reduziram-se após a inserção dos jardins, com as respectivas eficiências de aproximadamente 58% e 8%. Para os parâmetros de clorofila-a e DBO nota-se um aumento no valor em relação as medidas realizadas antes da colocação dos jardins na lagoa.

Isso pode ser efeito da liberação inicial de partículas de biomassa pelos substratos orgânicos, que ocorre em maiores proporções quando o substrato não passa por um processo de lavagem prévia, como é verificado.

**Figura 14. Comparação entre os parâmetros antes e depois da inserção dos jardins**



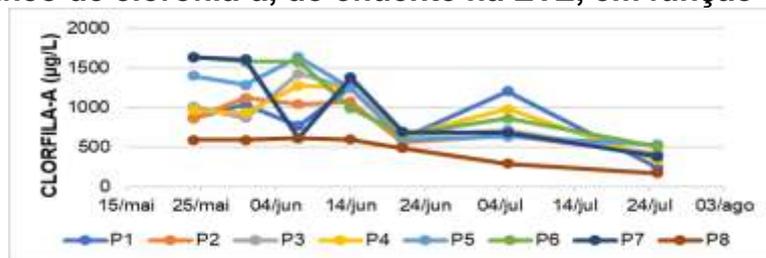
Fonte: O autor (2019)

Dessa maneira, considerando neste momento apenas as análises realizadas durante o monitoramento do sistema (com os jardins instalados), percebe-se que o pH não obteve variações significativas, apresentando no transcorrer do tempo apresentou uma tendência a redução, encontrando-se ao final do monitoramento em uma faixa aceitável, entre 6,0 e 9,0.

A concentração de clorofila-a (figura 15), decaiu rapidamente após a instalação dos jardins, apresentando ainda, ao final, uma tendência de continua redução em todos os pontos analisados. Cabe assim verificar a eficiência do substrato no

processo de adsorção das partículas de biomassa. Ao final do monitoramento, a eficiência dos jardins na redução da concentração da clorofila-a no ponto 8 (saída para o rio), mostra-se em torno de 71% com relação ao valor da primeira coleta após inserção dos jardins.

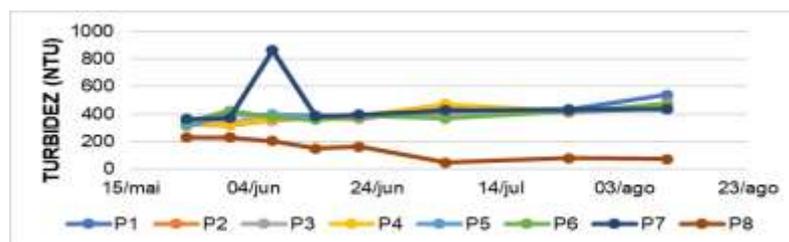
**Figura 15. Gráfico de clorofila-a, do efluente na ETE, em função do tempo.**



Fonte: O autor (2019)

Em relação a turbidez (figura 16), nota-se nos pontos da lagoa anaeróbia um aumento do parâmetro ao longo do tempo. Isso deve-se a liberação de partículas dos substratos, que não foram lavados previamente, já que os jardins estão instalados nesta primeira lagoa. Entretanto, é possível perceber a redução do valor da turbidez no último ponto da ETE, ponto 8, apresentando, neste ponto, uma eficiência da ordem de 69%.

**Figura 16. Gráfico de turbidez, do efluente na ETE, em função do tempo.**

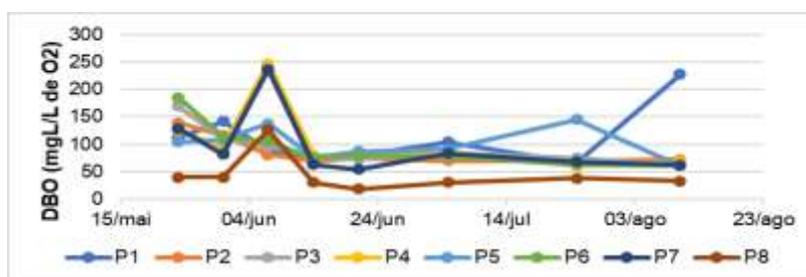


Fonte: O autor (2019)

Para os parâmetros de DBO<sub>5</sub> e DQO (figuras 17 e 18), verifica-se um aumento inicial do valor, tendo uma redução aproximadamente a partir de 14/06. A DBO<sub>5</sub> tem algumas variações ao longo do tempo, como picos, que podem ser resultado de variações nas cargas orgânicas recebidas pela ETE. As variações da DBO<sub>5</sub> geram, por consequência, significativas variações na DQO também, tendo em vista que este último parâmetro corresponde a DBO<sub>5</sub> somada a demanda por oxigênio para a degradação da matéria orgânica não-biodegradável.

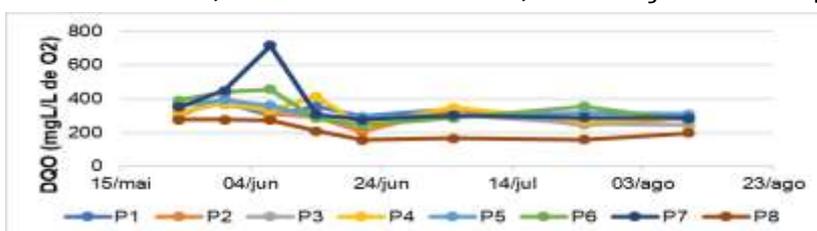
Em um comparativo entre os valores iniciais destes parâmetros e finais no ponto 8, determina-se uma eficiência de cerca de 18% para a redução da DBO<sub>5</sub> e um eficiência de aproximadamente 28% para a remoção da DQO. Além disso, a eficiência de redução da porção da demanda de oxigênio para degradar a matéria não biodegradável é 30%, sendo maior que a eficiência da DBO<sub>5</sub>, sugerindo a atuação dos jardins na retirada de poluentes e outros compostos químicos.

**Figura 17. Gráfico de DBO<sub>5</sub>, do efluente na ETE, em função do tempo.**



Fonte: O autor (2019)

**Figura 18. Gráfico de DQO, do efluente na ETE, em função do tempo.**



Fonte: O autor (2019)

## CONCLUSÃO

Mediante o exposto, verifica-se que os modelos estruturais projetados para os jardins, em ambas as etapas de trabalho, obtiveram sucesso na questão da estabilidade e suporte as plantas. Entre as espécies de plantas utilizadas, a beldroega, o coração roxo, o bem-casado e a cravina tiveram sucesso para o modelo experimental. Para os jardins instalados na ETE, apenas o papiro mostrou-se resistente as condições de hipóxia apresentadas na lagoa anaeróbia, na qual bem se desenvolveu.

O processo de lavagem reduz significativamente a quantidade matéria orgânica e a turbidez presente nos substratos, o que evita a excessiva liberação da matéria orgânica e o aumento dos níveis de turbidez da água quando o jardim é inserido no tanque.

Com relação aos parâmetros analisados, para os jardins instalados no modelo experimental e na ETE, percebeu-se baixas variações do pH e considerável redução da DQO e turbidez. Para o modelo experimental a turbidez manteve-se quase todas as vezes maior nos tanques com os jardins do que na prova em branco, o que se explica pela liberação de partícula dos substratos orgânicos. Já para os jardins instalados na ETE, a clorofila-a e a DBO<sub>5</sub> se elevaram em relação a aos valores obtidos antes da inserção dos jardins, o que pode ser explicado pela liberação das partículas de biomassa pelos substratos orgânicos.

De modo geral, no modelo experimental nota-se melhores resultados obtidos para o jardim com o substrato inorgânico de PET triturado (tanque 1). Para o tratamento por jardins aplicado nas lagoas de estabilização, verifica-se um bom resultado na saída da lagoa facultativa, demonstrando que a inserção dessa medida alternativa otimiza os bons resultados já fornecidos pelas lagoas.

Em todos os parâmetros verificados, para ambas as etapas de trabalho, um possível prolongamento da coleta de dados no sistema pudesse mostrar uma melhor redução dos parâmetros, ou seja, melhores resultados, uma vez que os jardins estavam bastante desenvolvidos e pelas análises dos dados apresentavam valores com tendência à queda ao longo do tempo.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho faz parte do projeto de Iniciação Científica PIBIC/CNPq da UFCG e foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. A autora agradece o auxílio contínuo e orientação da professora doutora Patricia Hermínio Cunha Feitosa e da mestre co-orientadora Elis Gean Rocha. Também agradece especialmente a todos os que fazem parte do Laboratório de Saneamento da UFCG.

## REFERÊNCIAS

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** 2006. (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

ALENCAR, S. L. F. de; FEITOSA, P. H. C. **Uso de jardins flutuantes como ferramenta de gestão em açudes urbanos e embelezamento das cidades – Estudo do “Laguinho” do campus Campina Grande da UFCG.** In: XIV Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21 ed. Springfield: Byrd Prepress, 2005.

KAYSER, K., KUNST, S., FEHR, G., VOERMANEK, H. **Controlling a combined lagoon/reed bed system using the oxidation-reduction potencial (ORP).** Wat.Sci.Tech., v.48, n.5, pp. 167-174, 2003.

GALISA, D. R. R. **Utilização de jardins flutuantes no tratamento de águas superficiais urbanas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands- construídos utilizando brita e bambu como suporte.** 2008. (Doutorado em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

HEADLEY, T.R., TANNER, C.C. **Application of Floating Wetlands for Enhanced Stormwater Treatment: A Review.** Auckland Regional Council. Tchnical Publication No. Nov. 2006.

TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento - Instituto Trata Brasil.** São Paulo: GO associados, 2015.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lagoas de estabilização**. v.3. 3ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996.

FAULWETTER, J. L. **Floating treatment wetlands for domestic wastewater treatment**. Water Science & Technology, v. 64, n.10, 2011, p. 2089-2095.