

Avaliação da eficiência da lentilha d'água (*Wolffia*) como forma de polimento de água residuária doméstica

*Evaluation of the efficiency of duckweed (*Wolffia*) as a means of polishing domestic wastewater*

*Evaluación de la eficiencia de la lenteja de agua (*Wolffia*) como medio para pulir aguas residuales domésticas*

Ana Beatriz Laluce Vaz

Mestranda em Engenharia Civil, Unesp, Brasil.
ana.laluce@unesp.br

Adriana Vanessa Mutumbajoy Benavides

Mestranda em Engenharia Civil, Unesp, Brasil.
adriana.vanessa@unesp.br

RESUMO

Sabe-se que a implementação de tecnologias de tratamento com baixo custo de instalação e operação, que apresentem resultados eficientes, é fundamental no Brasil, tendo em vista que os recursos financeiros destinados ao tratamento de esgotos municipais são baixos. O descarte de efluente sem tratamento adequado pode causar sérios danos aos corpos hídricos receptores. Diante disso, surge a possibilidade do polimento de águas residuárias com macrófitas aquáticas, uma vez que apresentam baixo custo de instalação e manutenção quase inexistente. Este trabalho visa avaliar a eficiência do polimento de esgoto, utilizando o efluente proveniente da lagoa de estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto de Ilha Solteira-SP, com a *Wolffia Brasiliensis*. A pesquisa abrange duas caixas de cultivo, de forma que uma delas seja utilizada como forma de controle a autodepuração, contendo apenas o efluente, e outra que possui a planta como forma de polimento. Em ambas as unidades experimentais, realizou-se a análise dos seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (PT) e turbidez. Ao fim do experimento, obteve-se uma maior eficiência de remoção na caixa que contém a *Wolffia*, quando em comparação a caixa controle, em todos os parâmetros analisados. A caixa com a *Wolffia* apresentou, respectivamente, para a DQO, DBO, turbidez, NT e PT, eficiência de remoção de 72%, 84%, 99%, 43% e 19%, enquanto a caixa controle apresentou capacidade de autodepuração de 28%, 31%, 80%, 34% e, para o PT, 0% de remoção e valor final maior que o inicial.

PALAVRAS-CHAVE: Polimento de esgoto. Macrófitas aquáticas. *Wolffia*.

SUMMARY

*It is known that the implementation of treatment technologies with low installation and operating costs, which present efficient results, is fundamental in Brazil, considering that the financial resources allocated to the treatment of municipal sewage are low. Disposal of effluent without adequate treatment can cause serious damage to receiving water bodies. Given this, the possibility of polishing wastewater with aquatic macrophytes arises, as they have low installation costs and almost non-existent maintenance. This work aims to evaluate the efficiency of sewage polishing, using effluent from the stabilization lagoon of the Ilha Solteira-SP Sewage Treatment Station, with *Wolffia Brasiliensis*. The research covers two cultivation boxes, so that one of them is used as a form of self-purification control, containing only the effluent, and another that has the plant as a form of polishing. In both experimental units, the following parameters were analyzed: Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Nitrogen (NT), Total Phosphorus (PT) and turbidity. At the end of the experiment, a greater removal efficiency was obtained in the box containing *Wolffia*, when compared to the control box, in all parameters analyzed. The box with *Wolffia* presented, respectively, for COD, BOD, turbidity, NT and PT, removal efficiency of 72%, 84%, 99%, 43% and 19%, while the control box presented a self-purification capacity of 28 %, 31%, 80%, 34% and, for PT, 0% removal and final value greater than the initial one.*

KEYWORDS: Wastewater polishing. Aquatic macrophytes. *Wolffia*.

RESUMEN

*Se sabe que la implementación de tecnologías de tratamiento con bajos costos de instalación y operación, que presenten resultados eficientes, es fundamental en Brasil, considerando que los recursos financieros destinados al tratamiento de aguas residuales municipales son bajos. La eliminación de efluentes sin un tratamiento adecuado puede causar graves daños a los cuerpos de agua receptores. Ante esto, surge la posibilidad de pulimentar las aguas residuales con macrófitas acuáticas, ya que tienen bajos costos de instalación y un mantenimiento casi inexistente. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la eficiencia del pulido de aguas residuales, utilizando efluentes de la laguna de estabilización de la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales Ilha Solteira-SP, con *Wolffia Brasiliensis*. La investigación abarca dos cajas de cultivo, de manera que una de ellas se utiliza como forma de control de autodepuración, conteniendo únicamente el efluente, y otra que tiene la planta como forma de pulido. En ambas unidades experimentales se analizaron los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT) y turbidez. Al final del experimento se obtuvo una mayor eficiencia de remoción en la caja que contenía *Wolffia*, en comparación con la caja control, en todos los parámetros analizados. La caja con *Wolffia* presentó, respectivamente, para DQO, DBO, turbidez, NT y PT, eficiencia de remoción del 72%, 84%, 99%, 43% y 19%, mientras que la caja de control presentó una capacidad de autopurificación del 28%, 31%, 80%, 34% y, para PT, 0% de eliminación y valor final mayor que el inicial.*

PALABRAS CLAVE: Polimento de aguas residuales. Macrófitas acuáticas. *Wolffia*.

1 INTRODUÇÃO

A água é considerada o recurso mais essencial e finito, sabendo que, sem ele, não existiria vida no planeta terra, sendo um elemento fundamental nos seres vivos, aproximadamente dois terços compõem ao ser humano, no caso dos animais, níveis iguais ou superiores (BOYD, 2015).

Segundo um relatório apresentado no 2022 pelas Nações Unidas (UNESCO), no século XXI aumentou de forma drástica o uso de água doce no mundo, com um incremento anual de cerca do 1%, causado principalmente pelo crescimento populacional (UNESCO, 2022), e nessa situação o desenvolvimento da produção pecuária, agrícola, aquícola, industrial e urbana resultou na degradação e poluição, diante disso a grande afetação das massas de águas como lagoas, rios e oceanos, confrontando assim, desafios com a escassez e a qualidade da água (XU *et al.*, 2022).

A poluição, que se mostra como um prejuízo para os ecossistemas aquáticos, provem em grande medida de efluentes produzidos por qualquer tipo de intervenção humana, cuja principal origem está nas estações de tratamento de esgoto (ETE), isso significa que a água apresenta propriedades diferentes, cujos atributos naturais foram alterados, dependendo do tipo de interferência em sua composição estrutural (LUCENA *et al.*, 2018).

Em vista disso, estão-se aprofundando alternativas eficientes na remoção de componentes poluidores, que sejam viáveis economicamente ante sistemas convencionais já existentes, como é o caso dos tratamentos biológicos (*in situ*) (KARNA; VISNATHAM, 2019).

Existem diversas categorias para o tratamento de águas residuárias, uma etapa inicial determinada para remover sólidos brutos, seguida pela remoção de sólidos suspensos e flutuantes menores, a continuação, um segundo tratamento, onde ocorre a maior remoção das concentrações de matéria orgânica, assim como também consegue-se níveis baixos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e por último, uma terceira fase projetada para eliminar microrganismos patogênicos e outro tipo de contaminantes como metais pesados (KESARI *et al.*, 2021).

Desta maneira, para obter um gerenciamento sustentável do esgoto, sendo possível reutiliza-lo, foram definidos uma série de fatores padronizados, organizados com objetivo de atender as necessidades de cada tipo de uso ou atividade, pois é apropriado identificar as propriedades físicas, químicas e biológicas desse tipo de efluente, nesse campo diversificado de opções potenciais para reutilização, estão sujeitas as características específicas, mas levando em conta às condições do determinado local (AMARAL, 2019; KLIGERMAN *et al.*, 2023).

Contudo isto, existem águas residuárias com elevadas cargas de matéria orgânica, que contêm grandes concentrações de nutrientes, nesse caso faz-se necessário adaptar algumas alternativas. Recentemente, se tornou mais comum, o uso lagoas com macrófitas flutuantes, principalmente como uma fase posterior de polimento (BUSS, 2015). As macrófitas aquáticas e sua microbiota, atuam de forma eficaz na remoção de compostos tóxicos, nutrientes, patógenos e até os mesmos metais, e convertem-se em opções depurantes para aliviar os impactos ocasionados no corpo receptor (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

As macrófitas aquáticas são facilmente perceptíveis a olho, com frações de sua composição que lhe permitem efetuar atividades fotossintéticas, este tipo de plantas se encontram submersas na coluna da água ou flutuantes na zona superficial, em períodos permanentes ou só em alguns meses do ano (IRGANG; GASTAL, 1996; POMPÊO, 2008).

Esse tipo de plantas tem sido alvo de pesquisa, uma vez que podem atuar como indicadores da qualidade da água, pois estão encarregadas de funções chave nos ecossistemas aquáticos, no aspecto estrutural, na conservação da biodiversidade, nos processos metabólicos, na reciclagem de elementos e compostos essenciais para a ocorrência dos ciclos biogeoquímicos (ESTEVES; SUSUKI, 2010), e podem contribuir na remoção dos nutrientes mediante mecanismos microbiológicos (COELHO, 2017).

Além de tudo, apresentam uma grande capacidade de adaptação e amplitude ecológica, estão situadas bem seja nas margens e nas zonas poco profundas de rios, lagos e reservatórios, assim como em cachoeiras e fito elmos (POMPÊO, 2008), em ambientes de água doce, salgada e salobra (SILVA, 2011).

De acordo ao descrito por Irgang *et al.* (1984) e Trindade *et al.* (2010) se apresenta uma classificação biológica das macrófitas aquáticas, que revela a distinção de diferentes grupos considerando a distribuição organizada em diferentes áreas do corpo de água, assim então existem 7 tipos de macrófitas: às submersas fixas e livres, flutuantes fixas e livres, emergente, anfíbia e por último, as epífitas.

Dentro deste grupo diverso de espécies de macrófitas, têm um destaque interessante as de tipo flutuantes, e em particular as plantas menores, conhecidas comumente como lentilhas-d'água, *lemnáceas* ou somente *lemnas*. O termo "*lemna*" que se refere frequentemente ao gênero da subfamília *Lemnoideae* (MOHEDANO, 2010), está conformada por 5 gêneros: *Spirodela*, *Landoltia*, *Lemna*, *Wolffia* e *Wolffiella*, com aproximadamente 40 espécies, e com uma abrangente distribuição geográfica e climática, são geralmente encontradas em climas moderados de áreas tropicais e subtropicais (APPENROTH *et al.*, 2013).

Estas plantas conseguiram gerar atenção para aplicação no tratamento de efluentes, justamente por seu eficiente desenvolvimento nas remoções de nutrientes da água, minimizando os níveis de sólidos em suspensão e, portanto, garantindo uma qualidade da água (ZHAO *et al.*, 2012).

As *lemnas* alcançam uma reprodução rápida e portanto, um crescimento acelerado, devido ao reconhecimento das condições biológicas benéficas para seu desenvolvimento., porem, tipos de águas com componentes em decomposição proveem suficientes concentrações de nutrientes como fósforo e nitrogênio, alcançando, uma grande remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além disso uma densidade elevada de *lemnas* contribuem a obstrução de luz e inibem a competição e proliferação de algas e de insetos (CHENG *et al.*, 2002; OLIVEIRA, 2015).

De modo particular o gênero *Wolffia*, já foram notáveis no tratamento por seu pequeno tamanho, o rápido crescimento obtido em períodos curtos e precisamente flutuam livremente na superfície da água (LAHIVE *et al.*, 2016).

Para Yahaya *et al.* (2022), ainda com a mínima acumulação de nitrogênio e fosforo em conjunto com elevadas temperaturas, a *Wolffia* pode alcançar uma alta taxa de crescimento, sendo que a faixa ideal da temperatura para desenvolvimento está -entre 17,5 - 35°C (HASAN e CHAKRABARTI, 2009), o pH entre 7-8, e um ciclo de vida aproximado de 3 meses, que refletem os períodos de estabelecimento, crescimento, reprodução e senescência (PEREIRA *et al.*, 2018).

O crescimento exponencial sendo a propriedade mais importante neste tipo de lentilha-d'água, pode estar relacionado à sua elevada capacidade de absorção de nutrientes, aproximadamente uma relação de 2-6 g/dia/kg de massa fresca para remoção de nitrogênio, e 1,64-4,94 g/dia para o caso de amônio (SABLIY *et al.*, 2016).

Ademais, cerca de um 70 - 80% de diminuição de nitrogênio e do fósforo do efluente de esgoto depois de 7 dias (SREE *et al.*, 2015). Também contribuíram na remediação de sólidos suspensos, de demanda química de oxigênio (DQO), DBO e uma redução de 50 a 90% de coliformes fecais em águas residuárias (VAN DER STEEN *et al.*, 2000).

Em definitiva uma densidade específica de *Wolffia* é um sistema co-benéfico, que favorece a purificação de recurso hídrico e é promissor na produção de recursos (JUNIOR, 2020).

Com base nesse cenário, o uso de macrófitas aquáticas flutuantes tem destaque entre as vigentes tecnologias de tratamento de efluentes, devido a seu potencial de remoção de nutrientes, portanto, a presente pesquisa visa a utilizar a lemna do gênero *Wolffia*, para depuração de esgoto doméstico proveniente da ETE de Ilha Solteira - SP, e assim, analisar a eficiência na diminuição da carga orgânica e nutricional contéuda neste tipo de água residuária.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência e a influência da *Wolffia Brasiliensis* na remoção da DBO, DQO, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos do efluente proveniente do tratamento em lagoa facultativa como forma de polimento.

3 METODOLOGIA

A parte experimental da pesquisa foi realizada no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP.

A *Wolffia Brasiliensis* foi a espécie de macrófita utilizada durante a toda pesquisa e todos os ensaios.

Inicialmente, realizou-se a determinação da espécie do gênero *Wolffia* utilizada na pesquisa. Para isso, efetuou-se comparações da espécie de laboratório adotada para a pesquisa com as características das espécies citadas em Pott (2020).

O experimento foi desenvolvido dentro do laboratório visando avaliar suas condições ideais de crescimento e os efeitos da macrófita como polimento do efluente nos seguintes parâmetros de tratamento: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (PT) e Turbidez.

Ademais, foram monitorados os parâmetros de Potencial Hidrogeniônico (pH), do Oxigênio Dissolvido (OD) e da temperatura interna.

Para a pesquisa, utilizou-se duas caixas de cultivo de, aproximadamente, 12 L contendo esgoto doméstico tratado da ETE de Ilha Solteira – SP. Uma das caixas contendo a *Wolffia* como forma de polimento e a outra contendo apenas o efluente, servindo assim como uma forma de controle ao processo de autodepuração do efluente, como mostra a Figura 1.

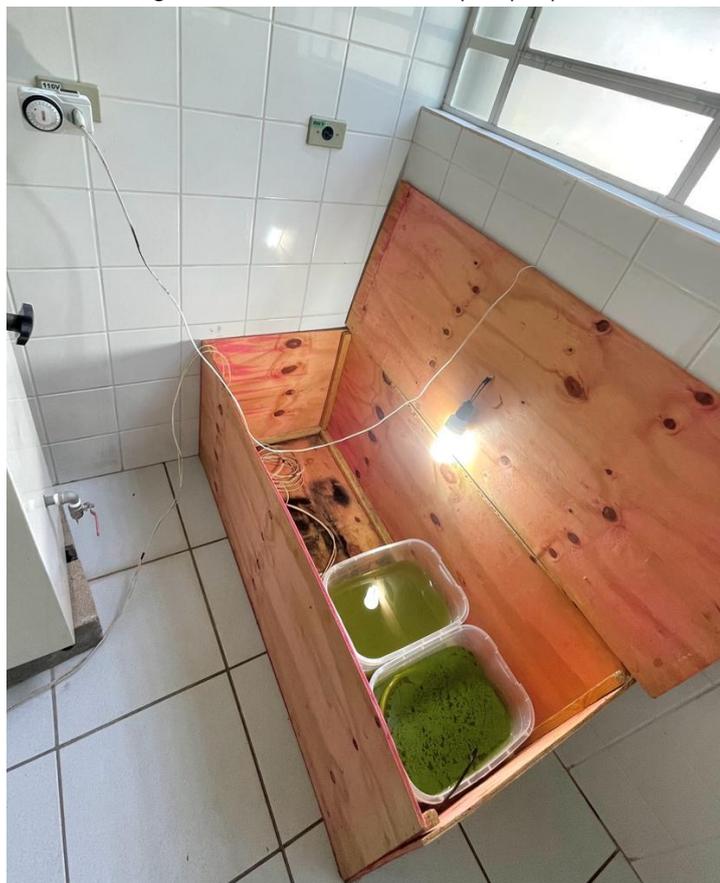
Figura 1 – Caixas de cultivo utilizadas na pesquisa.



Fonte: O próprio autor.

Ambas as caixas de cultivo foram colocadas em uma caixa de madeira que continha um sistema de iluminação controlada por fotoperíodo através de timer analógico, como mostra a Figura 2. A lâmpada usada possuía 2700K e 105 W e o fotoperíodo adotado foi de 12 horas, com a finalidade de simular a luz solar.

Figura 2 – Sistema total utilizado para pesquisa.



Fonte: O próprio autor.

As análises foram realizadas por 35 dias e, semanalmente, fez-se a reposição do efluente que evapora das unidades experimentais.

Os parâmetros de DBO, DQO, NT, PT e turbidez foram analisados utilizando adaptações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (2017). Os parâmetros e suas sequências estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros analisados e suas frequências.

| Parâmetro Analisado | Frequência de Amostragem |
|---------------------|--------------------------|
| DBO (mg/L) | Semanal |
| DQO (mg/L) | 3x por semana |
| PT (mg/L P) | Semanal |
| NT (mg/L N) | Semanal |
| OD (mg/L) | Semanal |
| pH (-) | Semanal |
| T (°C) | Semanal |
| Turbidez (NTU) | Semanal |

Fonte: O próprio autor.

4 RESULTADOS

A espécie *brasiliensis*, pertencente ao gênero *Wolffia*, possui a fronde, geralmente, coberta por pigmentos castanhos, o que diferencia de todas as outras espécies deste gênero. Além disso, estes pigmentos são mais visíveis em frondes adultas ou já secas (POTT, 2020).

Como mostra a Figura 3, a planta nesta pesquisa apresenta fronde de cor castanha, principalmente nas adultas. Tratando-se de uma característica única da espécie *Brasiliensis*, considera-se a planta utilizada em toda a pesquisa como sendo *Wolffia Brasiliensis*.

Figura 3 – Vista microscópica da *Wolffia* utilizada na pesquisa.

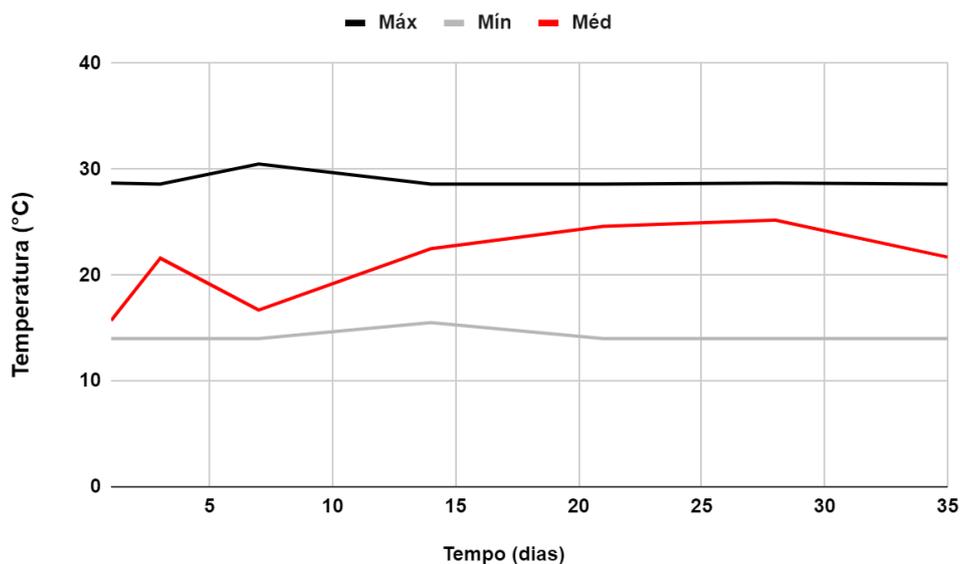


Fonte: O próprio autor.

Utilizou-se um adensamento inicial da planta de 200g/m².

A temperatura para os 35 dias de experimento apresenta-se na Figura 4.

Figura 4 – Acompanhamento da temperatura interna durante os 35 dias de experimento.

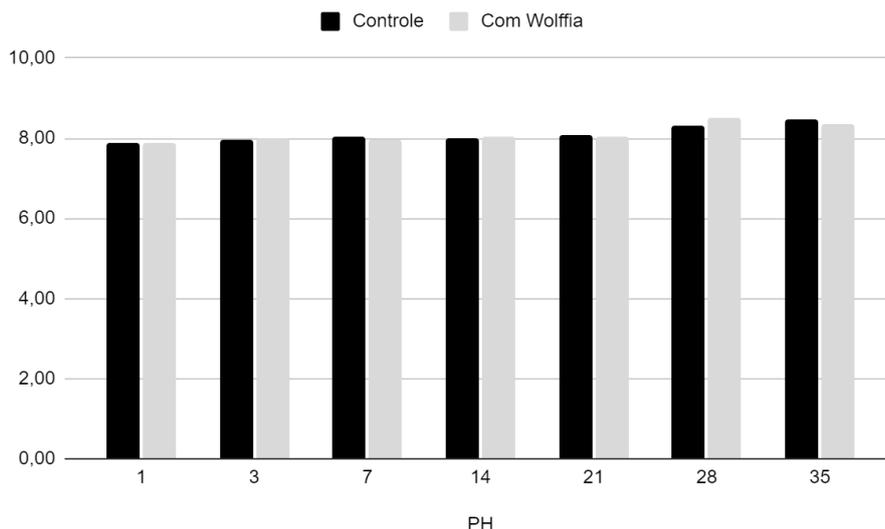


Fonte: O próprio autor.

De acordo com Gaigher; Short (1986), citado por Hasan; Chakrabarti (2009), para seu crescimento adequado, a *Wolffia* requer uma temperatura de 17,5°C a 30°C. Diante disso, nota-se uma temperatura adequada para o desenvolvimento da planta.

Os resultados para o pH das caixas de cultivo mostram-se na Figura 5.

Figura 5 – Resultado do pH durante os 35 dias de experimento.

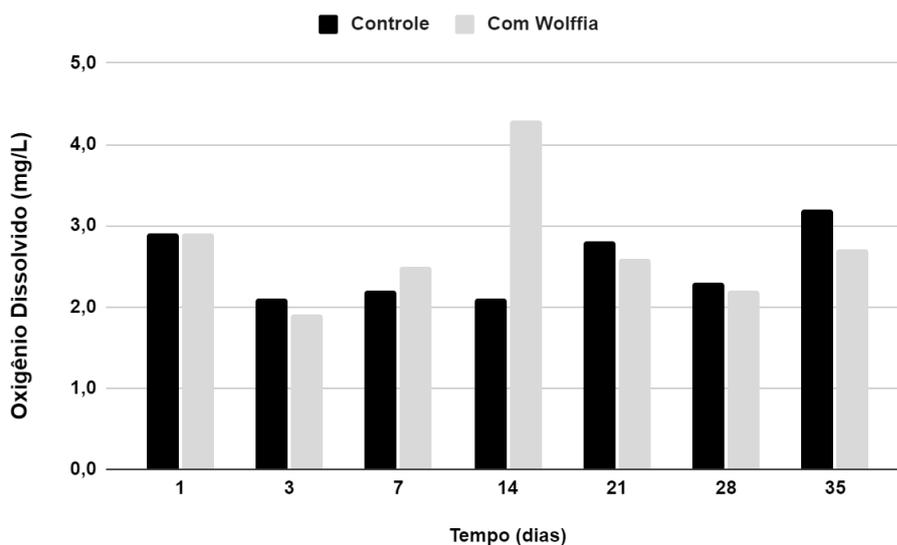


Fonte: O próprio autor.

De acordo com Skillicorn; Spira; Journey (1993), para o desenvolvimento ideal da *Wolffia* a faixa ideal do pH seria de 7,00 a 8,00. Deste modo, evidencia-se uma condição favorável do efluente ao desenvolvimento da planta.

Os resultados para o oxigênio dissolvido dentro das caixas de cultivo são descritos na Figura 6.

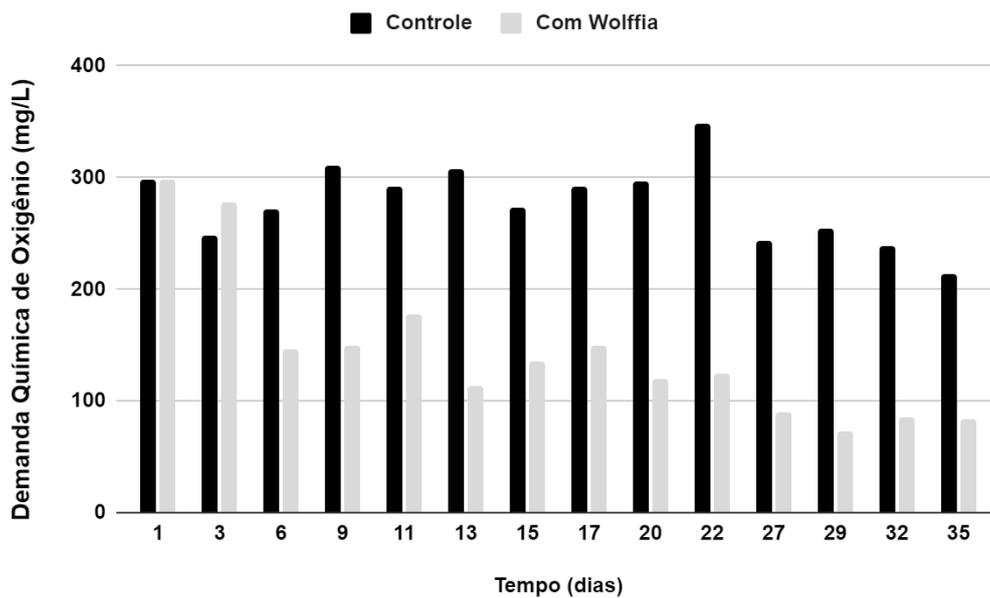
Figura 6 – Resultado do OD (mg/L) durante os 35 dias de experimento.



Fonte: O próprio autor.

Os resultados para o parâmetro de demanda química de oxigênio apresentam-se na Figura 7.

Figura 7 – Resultado da DQO (mg/L) durante os 35 dias de experimento.

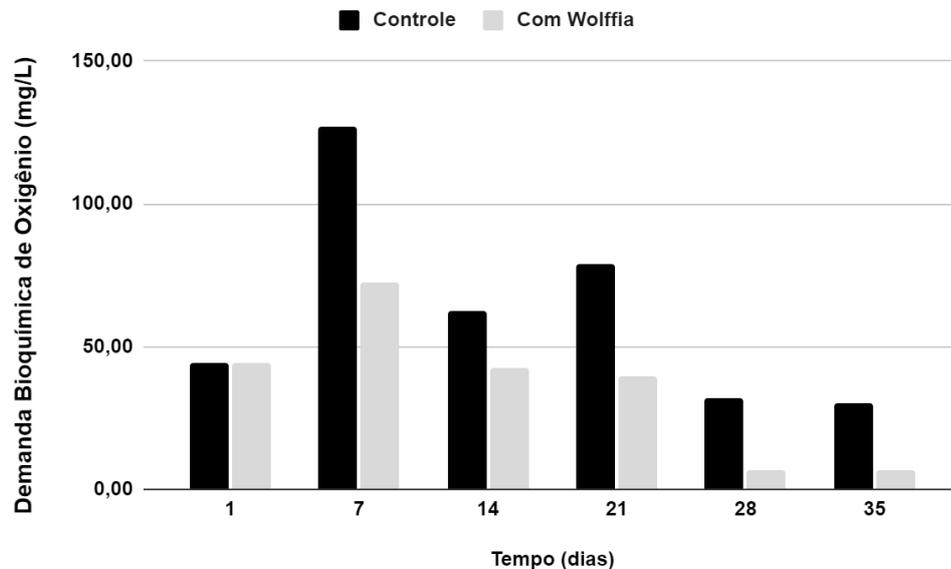


Fonte: O próprio autor.

Ao final dos 35 dias de experimento, percebe-se uma eficiência de remoção de DQO com a *Wolffia Brasiliensis* de 72% e, uma eficiência de autodepuração na caixa controle de 28%.

Os resultados para o parâmetro de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) apresentam-se na Figura 8.

Figura 8 – Resultado da DBO (mg/L) durante os 35 dias de experimento.



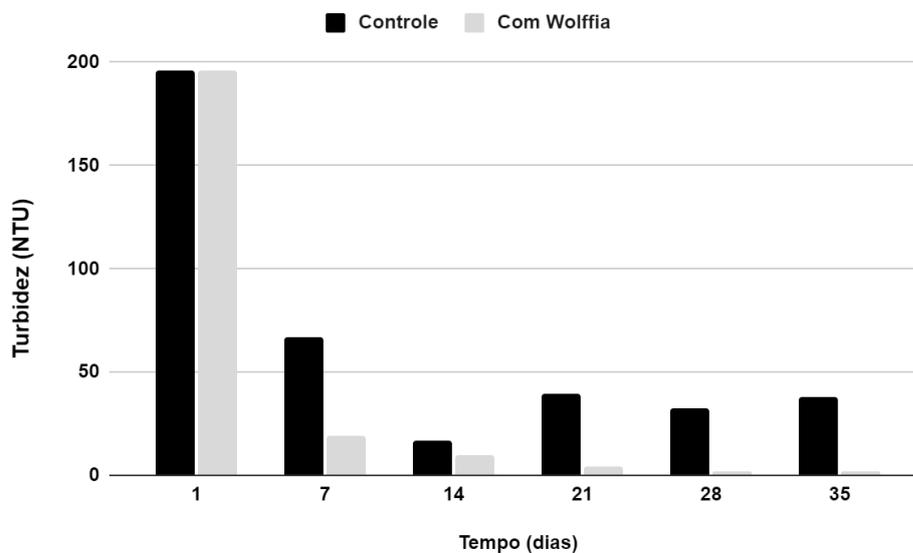
Fonte: O próprio autor.

No final do ciclo do experimento, no 35º dia, nota-se uma capacidade de autodepuração do efluente, representada pela caixa controle, de 31% e uma eficiência de

remoção da DBO com a *Wolffia* de 84%.

Os resultados para o parâmetro de turbidez apresentam-se na Figura 9.

Figura 9 – Resultado da turbidez (NTU) durante os 35 dias de experimento.

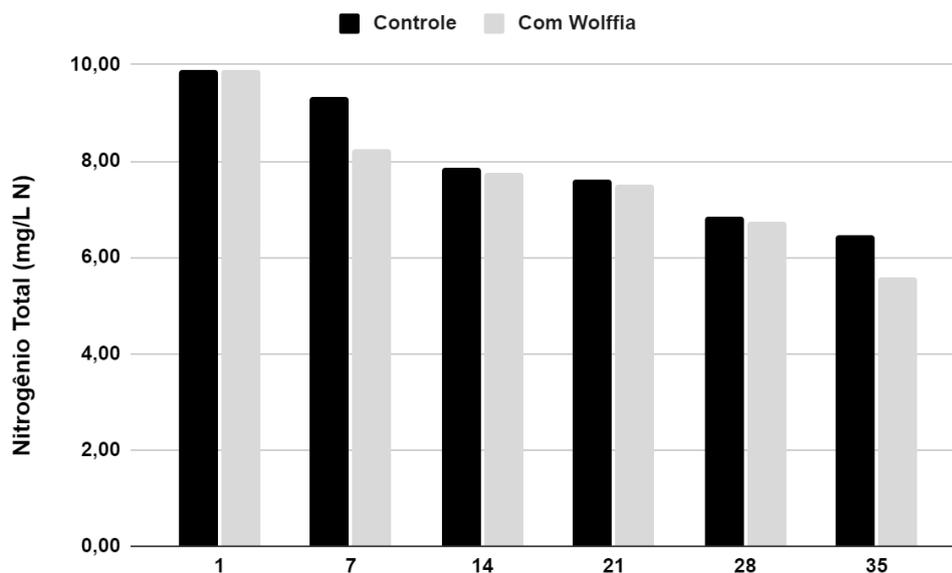


Fonte: O próprio autor.

Ao fim dos 35 dias, pode-se observar uma eficiência de remoção da turbidez com a *Wolffia* de 99% e uma capacidade de autodepuração do efluente de 80%.

Os resultados para o parâmetro de nitrogênio total apresentam-se na Figura 10.

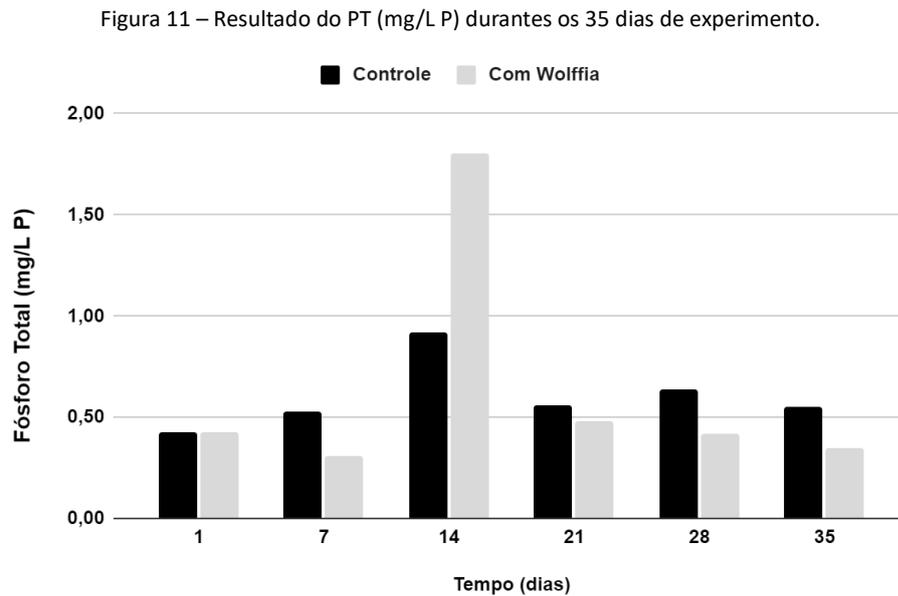
Figura 10 – Resultado do NT (mg/L N) durante os 35 dias de experimento.



Fonte: O próprio autor.

De acordo com a Figura 10, ao final dos 35 dias de experimento, verifica-se uma eficiência de remoção do nitrogênio total com a *Wolffia* de 43% e uma capacidade de autodepuração do efluente de 34%.

Os resultados para o parâmetro de fósforo total apresentam-se na Figura 11.



Fonte: O próprio autor.

Ao fim do ciclo de 35 dias do experimento, observa-se um aumento na quantidade de fósforo total na caixa controle e uma eficiência de remoção do fósforo total com a *Wolffia* de 19%.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, tornou-se evidente uma eficiência de remoção consideravelmente maior na caixa de cultivo que contém a *Wolffia* quando em comparação com a autodepuração do efluente da caixa controle em todos os parâmetros analisados.

Além disso, contempla-se oscilações nos resultados de ambas as caixas, o que pode ser causado pela reposição semanal de efluente, influenciando diretamente na análise dos parâmetros analisados após inserção do novo efluente.

Mesmo com isso, pode ser deduzido um resultado possivelmente positivo para a remoção de matéria orgânica e remoção de nutrientes com a *Wolffia Brasiliensis*.

6 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AMARAL, I. C. *Reutilização de águas residuais tratadas na rega de espaços verdes*: efeito de salinidade nos solos e nas plantas. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Qualidade e Ambiente). Instituto Superior de Engenharia

de Lisboa, Lisboa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/12317/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 01 set. 2023.

APPENROTH, K. J. et al. Telling duckweed apart: genotyping technologies for the lemnaeae. **Chin J Appl Environ Biol**, Chengdu, ano 19, n. 1, p. 2, 25 fev. 2013. Disponível em: 10.3724/SP.J.1145.2013.00001. Acesso em: 04 set. 2023.

BOYD, E. C. **Water quality: An introduction**. Auburn: Springer, 2015.

BUSS, M. V. et al. Tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial: avaliação da capacidade de diferentes processos de tratamento. **Revista de Engenharia Civil IMED**, ano 2, n. 1, p. 2-10, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v2n1p2-10>. Acesso em: 01 set. 2023.

CHENG, J. et al. Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata*. **Bioresource Technology**, Amsterdam, ano 81, n. 1, p. 81–82, 13 junho. 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00098-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00098-0). Acesso em: 04 set. 2023.

COELHO, J. C. **Macrófitas aquáticas flutuantes na remoção de elementos químicos de água residuária**, 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/151881/coelho_jc_me_bot.pdf?sequence=3. Acesso em: 02 set. 2023.

ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Limnological variables and nutritional content of submerged aquatic macrophytes in a tropical lagoon. **Acta Limnologica Brasiliensia**, ano 22, n. 2, p. 188, abril. 2010. <https://doi.org/10.4322/actalb.02202008>. Acesso em: 02 set. 2023.

GAIGHER, I. G.; SHORT, R. An evaluation of duckweed (Lemnaceae) as a candidate for aquaculture in South Africa. Em: **Aquaculture 1980 Report Series**. 15. ed.: Wamsley R. D., Wan J. G., 1986. p. 81–90.

GARCIA, D. O. C. D. Avaliação de lagoas de lemnaáceas no polimento de esgoto doméstico e produção de biomassa, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/123655/000829477.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 set. 2023.

HASAN, M. R.; CHAKRABARTI, R. **Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: a review**. Rome: FAO, 2009.

IRGANG, B. E. et al. Macrófitas aquáticas da Estação Ecológica do Taim. **Roessleria**, Porto Alegre, ano 6, p. 395-404, 1984.

IRGANG, B. E.; GASTAL JR., C. V. S. **Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS**. Porto Alegre: CPG-Botânica/UFRGS. 1996.

JÚNIOR, J. C. **Avaliação de lagoas de tratamento com presença de macrófitas flutuantes e microalgas aplicadas ao póstratamento de esgoto sanitário em condições de clima subtropical**. 168f. Dissertação (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/211282>. Acesso em: 05 set. 2023.

KARNA, D.; VISVANATHAN C. From conventional activated sludge process to membrane-aerated biofilm reactors: scope, applications, and challenges. In Bui, T. X. et al. **Water and wastewater treatment technologies**. Singapore: Springer, 2019, pp. 237-263. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3259-3_12. Acesso em: 31 ago. 2023.

KESARI, K. K. et al. Wastewater treatment and reuse: a review of its applications and health implications. **Water Air Soil Pollut**, ano 232, n. 208, p. 9-10, 10 maio. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05154-8>. Acesso em: 01 set. 2023.

KLIGERMAN, C. D. et al. Path toward Sustainability in Wastewater Management in Brazil. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, Switzerland, ano 20, n. 6597, p. 1, 18 ago. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph20166597>. Acesso em: 01 set. 2023.

LAHIVE E. et al. Differential sensitivity of four Lemnaceae species to zinc sulphate. **Environ and Experimental Botany**, Cork, ano. 71, n. 1. p. 25, Jan. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.10.014>. Acesso em: 05 set. 2023.

LUCENA, S. Y. C. et al. O reuso de águas residuais como meio de convivência com a seca no semiárido do Nordeste Brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, Rio Grande do Norte, ano 4, n. especial, p. 3, 23 maio. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2018v4n0ID13321>. Acesso em: 31 ago. 2023.

MOHEDANO, R. A. **Uso de macrófitas lemnáceas (*Landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono**. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/94053/288895.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 set. 2023.

OLIVEIRA, R. A. et al. Redução da demanda bioquímica de oxigênio de águas residuárias da suinocultura com o emprego da macrófita aquática. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, ano 4, n. 1, p. 81- 86, abril. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000100015>. Acesso em: 01 set. 2023.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, São Paulo, ano 12, n. 3, p. 406, 2008. Disponível em <https://doi.org/10.4257/oeco.2008.1203.04> Acesso em: 02 set. 2023.

POTT, V. J.; LOURENÇO, A. R. **Wolffia Horkel ex Schleid.**, 2020.

SABLIY, L. et al. Nitrogen removal from fish farms water by Lemna minor and Wolffia arrhiza. **Proceedings of ECOpole**, ano 10, n. 1, p. 502, 2016. Disponível em: [https://doi.org/10.2429/proc.2016.10\(1\)052](https://doi.org/10.2429/proc.2016.10(1)052). Acesso em: 05 set. 2023.

SILVA, L. S. S. **Caracterização ecológica e estrutural de macrófitas em reservatórios no estado de Pernambuco**. 108f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal Rural Pernambuco. Recife. 2011. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/4941/2/Simone%20Santos%20Lira%20Silva.pdf>. Acesso em: 04 set. 2023.

SKILLICORN, P.; SPIRA, W.; JOURNEY, W. **Duckweed aquaculture: a new aquatic farming system for developing countries /: Paul Skillicorn, William Spira, and William Journey.**: World Bank, 1993. Disponível em: <<https://digitallibrary.un.org/record/138350>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SREE, K. S. et al. How fast can angiosperms grow? Species and clonal diversity of growth rates in the genus *Wolffia* (Lemnaceae). **Acta Physiologiae Plantarum**, ano. 37, n. 204, p 3-7, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1951-3>. Acesso em: 05 set. 2023.

TRINDADE, C. R. et al. Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do campus carreiros: FURG, RIO GRANDE, RS. **Cadernos da Ecologia Aquática**, Rio Grande, ano 5, n. 2, p. 2, 22 dez. 2010. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/436>. Acesso em: 04 set. 2023.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization– UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 2022: groundwater: making the invisible visible; facts and figures**. Perúgia: UNESCO, 2022. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380733>. Acesso em: 30 ago. 2023.

VAN DER STEEN, P. et al. Improved fecal coliform decay in integrated duckweed and algal ponds. **Water Science & Technology**, ano 42, n. 2, p. 363–370, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0682>. Acesso em: 05 set. 2023.

XU, X. et al. Theoretical Model and Actual Characteristics of Air Pollution Affecting Health Cost: A Review. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, Switzerland, ano 19, n. 3532, p. 1-3, 16 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph19063532>. Acesso em: 30 ago. 2023.

ZHAO, H. et al. Duckweed rising at Chengdu: summary of the 1st International Conference on Duckweed Application and Research. **Plant Mol. Biol**, Zurich, ano 78, n. 6, p. 630, 2 fev. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11103-012-9889-y>. Acesso em: 04 set. 2023.