

II-1237 – UTILIZAÇÃO DE JARDINS VERTICAIS COMO WETLANDS PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS PREDIAIS. ESTUDO DE CASO REALIZADO EM UM MUNICÍPIO DOS PAÍSES BAIXOS

Guilherme Ferreira dos Santos⁽¹⁾

Estudante de Engenharia Química da Universidade Federal de Viçosa. Estagiário do *Water Technology Group* pela Universidade de Ciências Aplicadas NHL Stenden, Leeuwarden, Países Baixos.

Mees Koppengel⁽²⁾

Estudante de Engenharia Química da Universidade de Ciências Aplicadas NHL Stenden. Estagiário do *Water Technology Group* pela Universidade de Ciências Aplicadas NHL Stenden, Leeuwarden, Países Baixos.

Janaina Conde Miranda Schmittgens⁽³⁾

Bacharelado em arquitetura pela Universidade Técnica de Delft, Países Baixos. Mestranda em arquitetura na Universidade Técnica de Delft, Países Baixos.

Carolina Gemelli Carneiro⁽⁴⁾

Engenheira e Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pesquisadora do *Water Technology Group* pela Universidade de Ciências Aplicadas NHL Stenden, Leeuwarden, Países Baixos.

Luewton Lemos Felício Agostinho⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Saneamento pelo Departamento de Saneamento e Hidráulica da Universidade Federal do Ceará. Doutor (PhD) em física aplicada pela Delft *University of Technology*. Pós doutor pela *Wetsus European Centre of Excellence for Sustainable Water Technology*. Professor e coordenador do *Water Technology Group* pela Universidade de Ciências Aplicadas NHL Stenden, Leeuwarden, Países Baixos.

Endereço⁽¹⁾: Rua Luiz Carlos Nascimento, 1053 – São Caetano – São João del-Rei - MG - CEP: 36309-118 - Brasil - Tel: +55 (32) 98892-6578 - e-mail: guilherme.ferreira.dos.santos@nhlstenden.com

RESUMO

Com a constante expansão dos centros urbanos, discussões a respeito do desenvolvimento sustentável ganham cada vez mais relevância. Assim, medidas capazes de promover o equilíbrio entre a redução de danos ambientais e os interesses urbanísticos e ecológicos nas cidades são debatidas por grandes companhias e organizações. A utilização de jardins suspensos em meio ao ambiente urbano desponta como uma alternativa que tem demonstrado impacto positivo quando se trata de tornar cidades mais verdes e sustentáveis. Além disso, o aumento populacional gera desafios em relação a carga e ao manejo de efluentes domésticos, principalmente a água cinza, que compreende o maior volume do efluente doméstico. Um tipo de sistema de baixo custo, simples implementação e ecologicamente sustentável, comumente utilizado para o tratamento de águas residuárias, são as *wetlands*. Nesse trabalho, realizou-se um estudo da viabilidade de um jardim vertical que funciona como uma *wetland* para tratamento de águas cinzas prediais, a fim de unir os conceitos de cidades mais verdes e tratamento descentralizado de efluentes domésticos. Para isso, um protótipo de jardim suspenso/*wetland* irrigado com água cinza foi construído e um estudo de tratabilidade do efluente do sistema foi realizado. Também realizou-se a avaliação de um possível reúso para a água cinza tratada. Para tanto, os seguintes parâmetros foram avaliados: Nitrogênio total, DQO, surfactantes aniônicos, turbidez, pH e coliformes termotolerantes. O sistema estudado apresentou resultados satisfatórios no tratamento da água cinza em relação a todos os parâmetros medidos, adequando os níveis de DQO, surfactantes aniônicos, pH e coliformes termotolerantes aos padrões exigidos para reúso de águas cinzas e aproximando os níveis de nitrogênio total e turbidez dos valores requeridos para o reúso do efluente.

PALAVRAS-CHAVE: Jardins verticais, *Wetlands* verticais, Águas cinzas, Sustentabilidade, Tratamento de efluentes, Reúso de águas cinzas.

INTRODUÇÃO

Os centros urbanos modernos enfrentam, atualmente, a maior onda de urbanização da história e, além disso, cidades ao redor do mundo são constantemente desafiadas a se tornarem mais verdes e sustentáveis (1). Dessa

forma, o desenvolvimento sustentável, principalmente em lugares adensados, emerge como tema fundamental no debate para atrair soluções no que diz respeito ao crescimento e ao avanço desordenado (2). Em vista disso, diferentes entidades relacionadas ao uso inteligente dos recursos naturais encontram-se, constantemente, em busca de propor medidas capazes de reduzir os danos ambientais com a missão de equilibrar os interesses urbanísticos e as necessidades ecológicas. Uma das soluções de grande impacto positivo e que tem demonstrado grande eficiência é a utilização de jardins suspensos (3).

Jardins verticais, fachadas verdes e paredes vivas são diferentes nomes dados aos jardins suspensos, que têm como característica principal a utilização de plantas auto-aderentes ou em suportes para cobrir uma parede ou fachada de uma construção (4). Esse tipo de estrutura pode melhorar o microclima, capturar carbono atmosférico, promover isolamento acústico e térmico e prover refinamento estético às cidades (5); (6).

O desenvolvimento sustentável dos centros urbanos está também atrelado a tecnologias referentes ao tratamento de efluentes domésticos. Diversos estudos e investimentos visando à coleta separada de águas cinzas e negras têm sido realizados nos Países Baixos nos últimos anos. Água cinza é todo o efluente doméstico exceto a descarga de vasos sanitários (7), ela compõe cerca de 75% do total de esgoto produzido em residências e contém concentrações menores de matéria orgânica e patógenos se comparada às águas negras, fazendo com que o tratamento seja mais simples e com grande potencial para reúso (8).

Para o tratamento de águas residuárias, os *wetlands* são um método eficiente, podendo gerar índices adequados às normas de tratabilidade (9). Segundo (10), *wetlands* verticais são compostos por uma ou mais camadas de substrato, por exemplo areia e/ou cascalho, e são comumente utilizadas para o tratamento de efluentes.

Diante do exposto, propôs-se realizar um estudo da viabilidade do tratamento da água cinza em um jardim suspenso que funciona como uma *wetland* vertical. A água residuária foi coletada em uma planta de tratamento com sistema seletivo de coleta (águas cinzas, negras e urina) do município de Sneek, Países Baixos. O efluente foi utilizado como fonte de irrigação do jardim suspenso, estruturado com módulos comerciais, disponível no mercado europeu, que pode ser instalado em fachadas de edificações residenciais.

Desse modo, um protótipo experimental de fachada verde irrigada com água cinza foi desenvolvido, possibilitando assim a avaliação dos parâmetros de tratabilidade do efluente final de maneira comparativa com diferentes tipos de substrato utilizados e com padrões pré-estabelecidos de reúso de água cinza tratada.

OBJETIVOS

Estudar o potencial de utilização de jardins suspensos como sistema de *wetlands* verticais para tratamento e reúso de águas cinzas, em escala piloto, avaliando a influência de cada módulo e substrato do sistema na qualidade físico-química do efluente final e a possibilidade do reúso da água cinza tratada.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada no experimento pode ser dividida em três partes: A construção do sistema, a realização das análises físico-químicas no efluente e a análise de viabilidade de reúso da água cinza tratada.

• CONSTRUÇÃO DO SISTEMA PILOTO

O jardim vertical foi construído em uma estufa, localizada no *Water Campus* na cidade de Leeuwarden para que o ambiente de crescimento das plantas fosse seguro e controlado. O sistema foi montado com quatro colunas, sendo três experimentais (irrigadas com água cinza) e uma coluna de controle (irrigada com água potável), cada uma contendo 3 módulos suporte.

Os módulos utilizados para a construção do jardim suspenso foram suportes produzidos pela empresa *Greenwave Systems* chamado de *Greenwave 4.0* (11) e pode ser observado na figura 1. Como esse produto já é comercializado no mercado europeu para construção de paredes vivas em fachadas de residências e prédios, ele permite a irrigação vertical, sendo não só apropriado para a construção de *wetlands* verticais, como

também para jardinagem. Além disso, o suporte foi modificado de maneira simples para que pudesse compor o protótipo construído e permitisse a coleta de amostras entre cada um dos módulos do sistema.

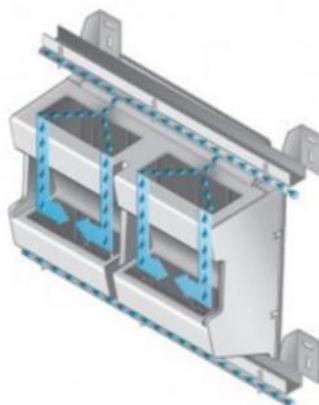


Figura 1: Módulo suporte para jardins verticais utilizado no protótipo construído.

Para o estudo do tratamento da água cinza no sistema, diferentes tipos de substrato foram utilizados em cada uma das três colunas experimentais. Na coluna 4 (controle), em cada módulo foi empregado o substrato correspondente a cada uma das colunas experimentais, respectivamente. A composição de cada um dos substratos está evidenciada na Figura 2.

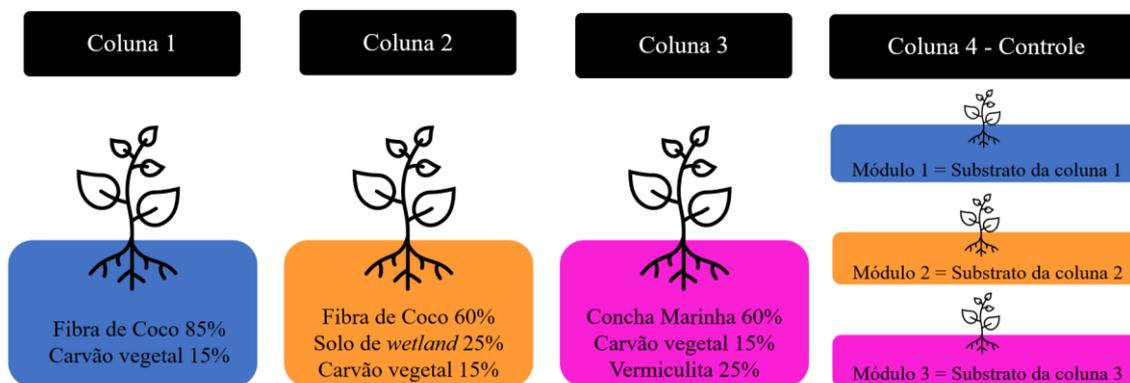


Figura 2: Composição do substrato de cada coluna.

Além disso, em cada módulo, oito tipos de plantas nativas foram usadas, de modo que todos os módulos de todas as colunas tivessem as mesmas plantas com a mesma disposição. A escolha das plantas levou em consideração a adaptabilidade das mesmas em seus respectivos *habitat* naturais. As plantas utilizadas para a construção do jardim vertical estão dispostas na tabela 1.

Tabela 1: Lista de plantas utilizadas no protótipo construído.

<i>Calla palustris</i>	<i>Mentha aquatica</i> – Hortelã da água
<i>Carex flava</i>	<i>Oenanthe fistulosa</i>
<i>Iris pseudacorus</i> – Íris-amarelo	<i>Symphytum azureum</i>
<i>Lysimachia thyrsoiflora</i>	<i>Veronica beccabunga</i> - Becapunga

A água cinza utilizada para irrigar o sistema foi fornecida pela *DesaH®*, que possui uma planta de tratamento descentralizado de águas cinzas e negras no município de Sneek, Países Baixos. A água cinza foi coletada bruta (antes de qualquer tratamento) e segundo informações da empresa, caracteriza-se como água cinza misturada (originada de banheiros, cozinhas, lavanderias e quaisquer outros resíduos domésticos, exceto de vasos sanitários). A coleta de aproximadamente 150 L foi realizada uma vez por semana e a água cinza foi

armazenada em uma câmara fria (4°C) pelo período necessário. Água do sistema de abastecimento da universidade foi utilizada como irrigação da coluna de controle.

A irrigação do protótipo foi desenvolvida de maneira que fosse mantida constante, garantindo a disponibilidade suficiente de nutrientes para as plantas e para os microorganismos presentes no sistema. Para tanto, duas bombas foram acopladas a um temporizador que fornecia energia para o funcionamento do sistema de 3 em 3 horas, por 7 minutos. Dessa forma, 5,6 L por dia de água cinza foram alimentados à cada coluna experimental do sistema. Para a coluna de controle, a bomba foi configurada para operar com um terço da potência, de maneira que cada módulo controle recebesse 1,87 L de água potável por dia. Um diagrama esquemático do protótipo experimental construído com detalhes a respeito da hidráulica, pontos de coleta de amostra e disposição das colunas, encontra-se na figura 3.

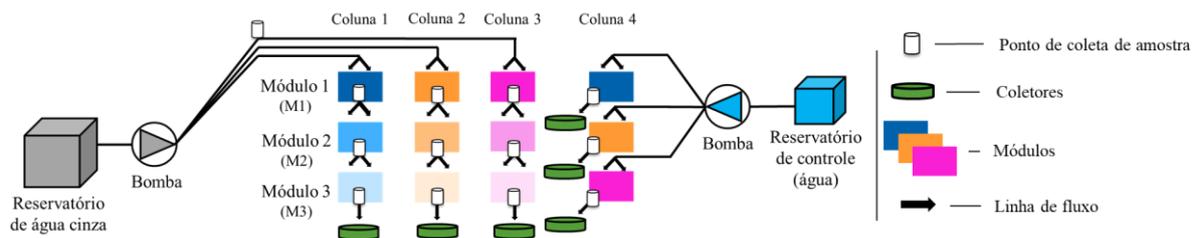


Figura 3: Diagrama esquemático do jardim suspenso/wetland vertical construído.

• ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE FINAL

A fim de realizar análises físico-químicas do efluente final, amostras foram recolhidas de cada módulo, uma vez por semana, além de amostras da água cinza pura para caracterização e comparação. Dessa forma, ao todo, 13 amostras foram coletadas semanalmente durante a duração do experimento. Os parâmetros avaliados foram: Nitrogênio total, DQO, surfactantes aniônicos, turbidez, pH e coliformes termotolerantes. Esses parâmetros foram escolhidos com base nos padrões exigidos para o reúso de água cinza (12), permitindo a posterior análise de viabilidade de reúso do efluente tratado.

Os experimentos referentes aos parâmetros nitrogênio total, DQO e surfactantes aniônicos foram realizados com testes em cubete da fabricante *Hach*®, com posterior leitura das amostras em espectrofotômetro *Hach*® DR3900. Todos os testes em cubete foram realizados respeitando os intervalos de concentração específicos de cada parâmetro, mensurados via testes preliminares e realizando diluições quando necessário. Os testes de turbidez e pH foram executados com um colorímetro DR/890 da fabricante *Hach*®, sempre calibrado com água potável antes dos testes. Por fim, para o teste de coliformes termotolerantes, medido na forma de *Escherichia coli* (*E. Coli*), diluiu-se as amostras na proporção de 1:1000 e aplicou-se a solução diluída em placas de contagem de microorganismos da fabricante *3M Petrifilm*®, na presença de um bico de Bunsen para minimizar contaminação microbiológica. Incubou-se as placas em estufa à 30°C por 48 horas e realizou-se a contagem de colônias de maneira visual.

Os valores obtidos em cada teste foram ocasionalmente comparados estatisticamente com teste de hipótese, utilizando médias de duas amostras distintas, utilizando o software *Statdisk Online*®, com um intervalo de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$). Quando comparados, a normalidade dos conjuntos de dados também foi testada no mesmo software e, em todos os casos, a população encaixou-se em uma distribuição normal.

• ANÁLISES DE VIABILIDADE DE REÚSO DA ÁGUA CINZA TRATADA

Os parâmetros medidos foram comparados com padrões exigidos para o reúso de água cinza tratada. Embora não muito comum (13), padrões para o reúso de águas cinzas já foram estipulados por alguns países. Para o estudo de viabilidade de reúso, a tabela 2 foi montada, baseada em diferentes valores exigidos por diferentes legislações ao redor do mundo (12).

Tabela 2: Padrões exigidos para o reúso de água cinza em diferentes aplicações. (Estão dispostos somente os padrões relativos aos parâmetros que foram testados no experimento).

Categoria	Padrões exigidos
Recreativo (lagos e represas)	pH: 6-9 Turbidez ≤ 2 NTU Nitrogênio total $\leq 1,0$ mg/L Coliformes termotolerantes ≤ 10 UFC/100mL
Uso agrícola e urbano	pH: 6-9 Surfactantes aniônicos ≤ 1 mg/L Coliformes termotolerantes ≤ 10 UFC/100mL
Descarte	pH: 5,5-9 DQO < 250 mg/L
Construção	Coliformes termotolerantes < 200 UFC/100mL

RESULTADOS E DISCUSSÃO

• SISTEMA PILOTO

O sistema piloto de jardim suspenso/*wetland* vertical usado nos experimentos está apresentado na figura 4.

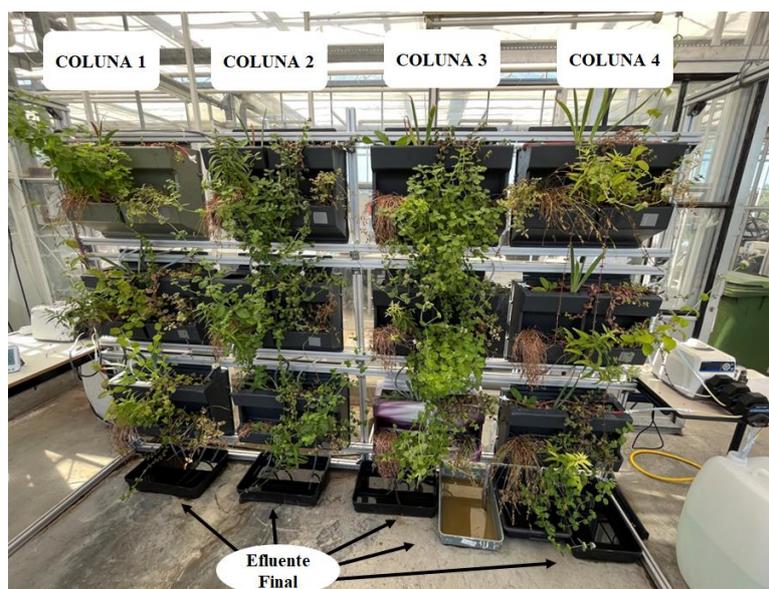


Figura 4: Jardim suspenso/*wetland* vertical montado.

• NITROGÊNIO TOTAL

As análises mostraram que a concentração média de nitrogênio total na água cinza foi de $18,51 \pm 3,14$ mg/L. A coluna 1 do protótipo apresentou médias de concentração em cada módulo de $9,23 \pm 3,86$ mg/L, $4,25 \pm 3,26$ mg/L e $2,99 \pm 2,21$ mg/L, respectivamente. Para a coluna 2 foram obtidas concentrações médias de $6,90 \pm 2,93$ mg/L, $3,70 \pm 1,37$ mg/L e $2,79 \pm 1,36$ mg/L por módulo, respectivamente. Para a coluna 3, as concentrações médias de nitrogênio total em cada módulo, na sequência foram $9,29 \pm 5,82$ mg/L, $5,44 \pm 2,72$ mg/L e $3,36 \pm 1,56$ mg/L. Os resultados referentes aos níveis de nitrogênio total estão expostos na figura 5.

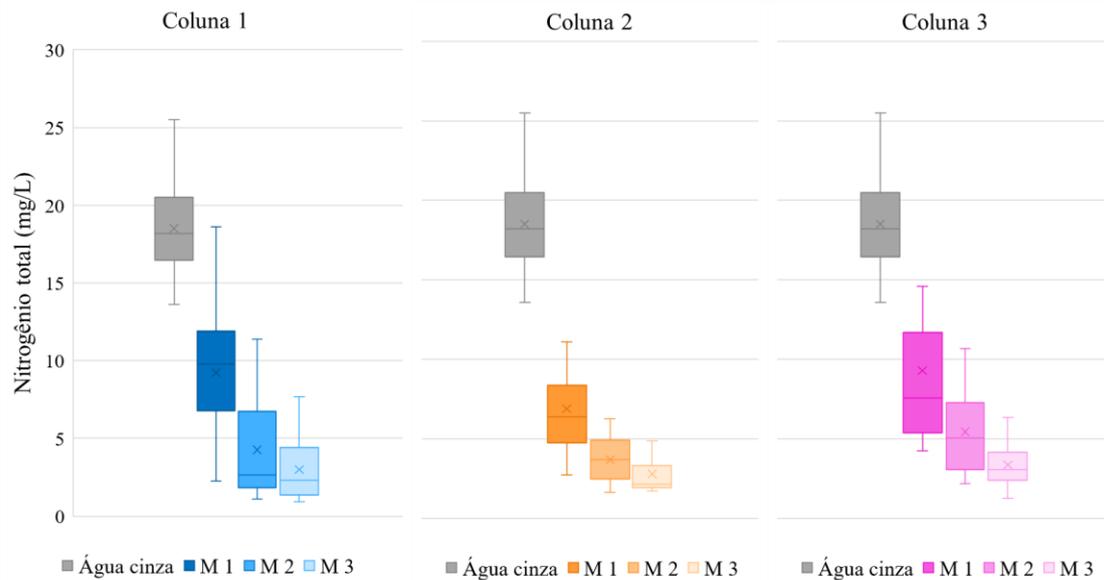


Figura 5: Concentração de Nitrogênio total no efluente final de cada módulo em relação à água cinza.

Como observado na figura 5, a coluna 1 do sistema alcançou reduções, em relação à água cinza, por módulo, de 50,13%, 77,03% e 83,85%, respectivamente. A coluna 2 apresentou diminuições de 62,72%, 80,01% e 84,93% em relação à água cinza em cada um de seus módulos, respectivamente e em cada módulo da coluna 3 foram obtidas reduções de 49,81%, 70,61% e 81,85% em relação à água cinza, respectivamente em cada um dos módulos. A remoção de nitrogênio total nas colunas 1 e 2 ocorreram de maneira significativa somente nos dois primeiros módulos ($p < 0,05$ em ambos os casos), visto que a concentração de nitrogênio total no terceiro módulo dessas colunas não exibiu diferença estatística em relação ao módulo anterior ($p > 0,05$ em ambos os casos). A coluna 3 apresentou uma redução progressiva (estatisticamente diferente) dos níveis de nitrogênio total em todos os seus três módulos ($p < 0,05$). Como mostrado na tabela 2, a concentração de nitrogênio total requerida para o reuso recreativo de água cinza tratada deve ser menor que 1 mg/L. Apesar de que nenhum dos módulos tenha conseguido atingir esse valor, comportamento de remoção progressiva sugere que esse valor possa ser atingido com um sistema com mais módulos.

• DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

A concentração média de DQO na água cinza foi de $421,81 \pm 188,87$ mg/L. A coluna 1 do protótipo apresentou médias de concentração de DQO, em cada módulo, de $98,64 \pm 27,71$ mg/L; $89,11 \pm 33,81$ mg/L e $115,05 \pm 51,28$ mg/L, respectivamente. Na coluna 2 do sistema foram obtidas concentrações médias de $102,97 \pm 32,58$ mg/L, $78,04 \pm 27,47$ mg/L e $94,86 \pm 37,52$ mg/L por módulo, respectivamente. Por fim, a coluna 3 apresentou médias de concentração de DQO de $123,47 \pm 39,47$ mg/L; $114,14 \pm 40,01$ mg/L e $38,99 \pm 11,70$ mg/L, para cada módulo, respectivamente. Os resultados referente aos níveis de DQO estão expostos na figura 6.

A coluna 1 apresentou reduções de DQO, em relação à água cinza, por módulo, de 76,61%, 78,87% e 72,72%, respectivamente. A coluna 2, por sua vez, alcançou diminuições de 75,59%, 81,50% e 77,51% em relação à água cinza, em cada módulo, respectivamente. Por fim, reduções de DQO de 70,73%, 72,94% e 90,76% em relação à água cinza, foram obtidas na sequência dos módulos da coluna 3. A remoção de DQO nas colunas 1 e 2 aconteceu, majoritariamente no primeiro modo, uma vez que em ambas, não há diferença estatística entre os níveis de DQO entre os 3 módulos ($p > 0,05$ em todos os casos). Esse mesmo comportamento também pode ser observado nos dois primeiros módulos da coluna 3, porém, o último módulo da coluna 3 exibiu uma remoção de DQO estatisticamente significativa em relação aos outros módulos dessa coluna ($p < 0,05$). A estagnação dos níveis de DQO ao longo das colunas, principalmente nas colunas 1 e 2, pode ser explicada pela composição dos substratos. Segundo (14), a fibra de coco é capaz de fornecer quantidades consideráveis de matéria orgânica ao efluente, o que pode aumentar a DQO do efluente se opor ao tratamento, mantendo os níveis constantes. A concentração de DQO, como mostrado na tabela 2, para o reuso referente ao descarte em corpos d'água deve ser menor que 250 mg/L. Todas as colunas do protótipo alcançaram esse valor.

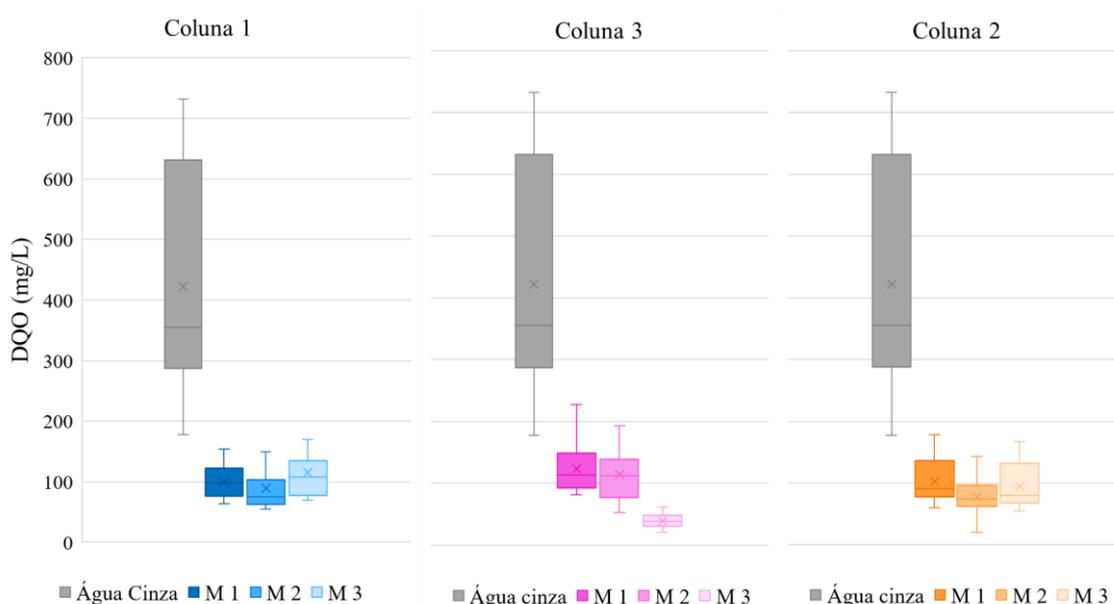


Figura 6: Concentração de DQO no efluente final de cada módulo em relação à água cinza.

• SURFACTANTES ANIÔNICOS

A concentração média de surfactantes aniônicos medida na água cinza foi $7,99 \pm 0,74$ mg/L. Os valores de concentração medidos nos módulos da coluna 1 foram $1,19 \pm 0,56$ mg/L; $0,31 \pm 0,06$ mg/L e $0,25 \pm 0,04$ mg/L, respectivamente. Na coluna 2 os valores de concentração de surfactantes aniônicos em cada módulo, na sequência foram $1,47 \pm 0,72$ mg/L; $0,46 \pm 0,18$ mg/L e $0,24 \pm 0,12$ mg/L. Por fim, as concentrações na coluna 3 foram $1,94 \pm 0,83$ mg/L; $0,66 \pm 0,27$ mg/L e $0,36 \pm 0,18$ mg/L em cada módulo, respectivamente. Os resultados referente aos níveis de DQO estão expostos na figura 7.

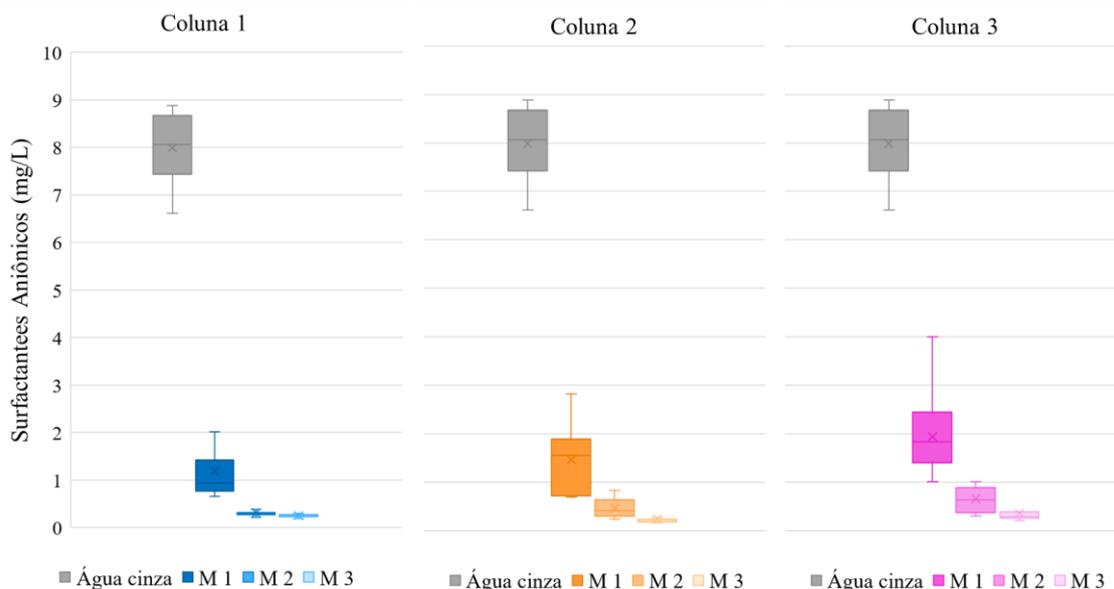


Figura 7: Concentração de surfac. aniônicos no efluente final de cada módulo em relação à água cinza.

Em relação à concentração de surfactantes aniônicos, os módulos da coluna 1 obtiveram reduções, quando comparados à água cinza, de 85,09%, 96,12% e 96,87%, respectivamente. A coluna 2 apresentou reduções de 81,58%, 94,24% e 96,99%, respectivamente. E a coluna 3, em cada um dos seus módulos, alcançou reduções de 75,69%, 91,73% e 95,49% em relação à água cinza, respectivamente. A remoção de surfactantes aniônicos

foi satisfatória, em todas as colunas, atingindo o padrão exigido (tabela 2) para o reúso na agricultura e em ambientes urbanos. A eficiência do protótipo estudado na remoção de surfactantes aniônicos, pode ser explicada pelo fato de que, segundo (15), a diminuição de tipo de substância em uma *wetland* é melhorada em condições aeróbias. Assim, como todos os substratos utilizados favorecem um ambiente aeróbio para a microbiota, a remoção deste parâmetro da água cinza foi efetiva.

• TURBIDEZ

O nível médio de turbidez na água cinza foi de $147,80 \pm 19,41$ NTU. A coluna 1 do protótipo apresentou níveis médios de turbidez, em cada módulo, de $50,04 \pm 19,41$ NTU, $34,80 \pm 15,82$ NTU e $57,88 \pm 26,78$ NTU, respectivamente. Para a coluna 2, as médias de turbidez foram $56,16 \pm 22,17$ NTU, $36,40 \pm 11,60$ NTU e $38,04 \pm 13,22$ NTU por módulo, respectivamente. Para a coluna 3, os níveis médios de turbidez em cada módulo, na sequência foram $74,96 \pm 23,96$ NTU, $36,52 \pm 11,43$ NTU e $31,44 \pm 17,47$ NTU. Os resultados referentes aos níveis de turbidez estão expostos na figura 8.

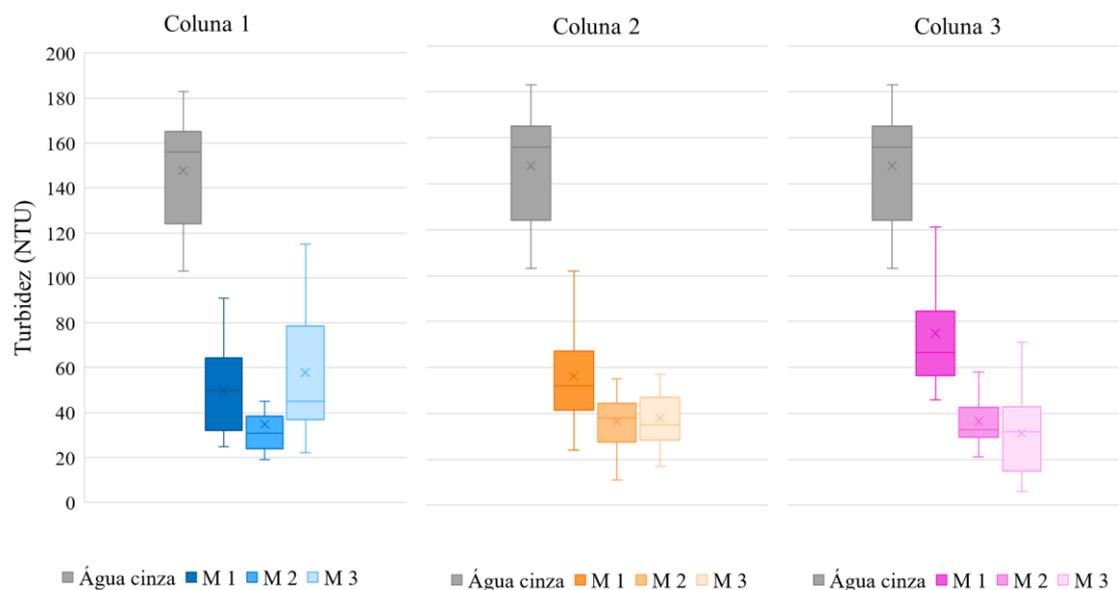


Figura 8: Níveis de turbidez no efluente final de cada módulo em relação à água cinza.

A coluna 1 apresentou reduções dos níveis de turbidez, em relação à água cinza, por módulo, de 66,14%, 76,45% e 60,84%, respectivamente. Cada módulo da coluna 2 exibiu diminuições em relação à turbidez da água cinza de 62,00%, 75,37% e 74,26%, respectivamente. E por fim, a coluna 3 apresentou, em cada módulo, reduções de 49,28%, 75,29% e 78,73% nos níveis de turbidez, respectivamente. A turbidez do efluente na coluna 1 diminuiu consideravelmente no primeiro e no segundo módulo ($p < 0,05$ nos dois casos). Porém, após o terceiro módulo, observou-se um aumento na turbidez. Esse comportamento sugere que o substrato da coluna 1, após tempos de retenção mais longos, pode ser uma fonte de sólidos suspensos para a água cinza tratada. As colunas 2 e 3 apresentaram reduções significativas de turbidez nos dois primeiros módulos e não apresentaram reduções consideráveis no terceiro módulo ($p > 0,05$ em ambos os casos), indicando que, da mesma maneira que o a coluna 1, os substratos 2 e 3 também podem ser uma fonte de sólidos suspensos para a água que é tratada. Como exposto na tabela 2, os níveis de turbidez para o reúso de água cinza para fins recreativos devem ser menores que 2 NTU. As colunas não alcançaram esse valor e não apresentaram remoções gradativas de turbidez, sugerindo que técnicas de pré ou pós-tratamento devem ser utilizadas para adequar a turbidez do efluente final de um sistema como o estudado.

• pH

O pH médio na água cinza foi de $7,25 \pm 0,36$. A coluna 1 do protótipo apresentou pH, em cada módulo, de $7,25 \pm 0,24$, $7,51 \pm 0,34$ e $7,60 \pm 0,36$, respectivamente. Para a coluna 2 o pH médio para cada módulo foi $7,31 \pm 0,32$, $7,54 \pm 0,34$ e $7,75 \pm 0,40$, respectivamente. Por fim, para a coluna 3, os níveis médios de pH em cada

módulo, na sequência foram $7,49 \pm 0,27$, $7,74 \pm 0,33$ e $7,94 \pm 0,36$. Os resultados referentes ao pH estão expostos na figura 9.

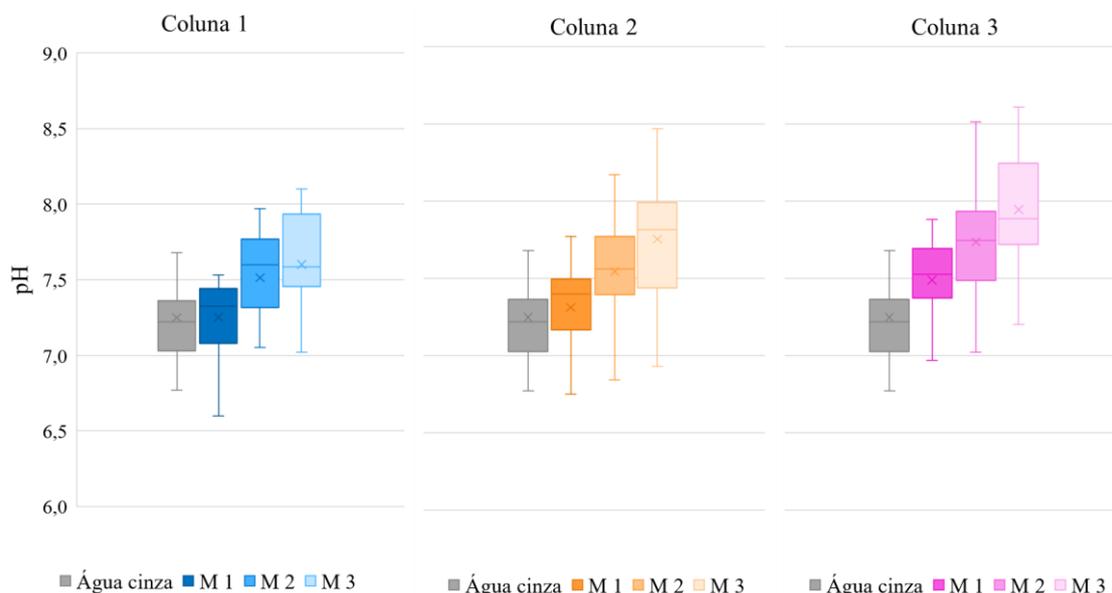


Figura 9: Níveis de pH no efluente final de cada módulo em relação à água cinza.

Todas as colunas exibiram um aumento no pH após o tratamento, comportamento também observado na coluna de controle. Dessa forma, os substratos utilizados podem aumentar o pH da água cinza tratada, o que pode se tornar ainda mais significativo se considerado um sistema com mais módulos. Por mais que o pH tenha aumentado em todas as colunas, em todos os casos, o pH do efluente final do sistema permaneceu dentro do intervalo exigido para as três categorias de reúso expostas na tabela 2.

• COLIFORMES TERMOTOLERANTES

A contagem média de coliformes termotolerantes na água cinza foi de $2,90 \times 10^3 \pm 0,78 \times 10^3$ UFC/100 mL. A coluna 1 do protótipo apresentou médias de contagem de coliformes termotolerantes, em cada módulo, de $1,34 \times 10^3 \pm 0,55 \times 10^3$ UFC/100 mL, $0,19 \times 10^3 \pm 0,22 \times 10^3$ UFC/100 mL e $0,02 \times 10^3 \pm 0,05 \times 10^3$ UFC/100 mL, respectivamente. Na coluna 2 do sistema as médias foram $1,24 \times 10^3 \pm 0,44 \times 10^3$ UFC/100 mL, $0,45 \times 10^3 \pm 0,26 \times 10^3$ UFC/100 mL and $0,10 \times 10^3 \pm 0,21 \times 10^3$ UFC/100 mL por módulo, respectivamente. Por fim, a coluna 3 apresentou médias de $1,92 \times 10^3 \pm 0,59 \times 10^3$ UFC/100 mL, $0,81 \times 10^3 \pm 0,37 \times 10^3$ UFC/100 mL and $0,21 \times 10^3 \pm 0,25 \times 10^3$ UFC/100 mL em contagem de coliformes termotolerantes, para cada módulo, respectivamente. Os resultados referente aos níveis de coliformes termotolerantes estão expostos na figura 10.

Em relação à contagem de coliformes termotolerantes, a coluna 1 obteve reduções, comparando com a água cinza, por módulo, de 53,84%, 93,39% e 99,24%, respectivamente, a coluna 2 apresentou diminuições de 57,06%, 84,39% e 96,43% em relação à água cinza, por módulo e a coluna 3 obteve, por módulo, reduções de 33,44%, 72,14% e 92,91%, respectivamente. O sistema construído mostrou-se eficiente na remoção deste parâmetro visto que as colunas alcançaram valores de remoção superiores a 90%. O substrato da coluna 1 foi o que melhor performou nos testes, apresentando, remoções superiores a 99%. Os níveis de coliformes termotolerantes exigidos variam dependendo da aplicação do reúso da água cinza tratada, como mostrado na tabela 2. Dessa maneira, todas as colunas conseguiram atingir o padrão de reúso menos restrito (reúso em construção: < 200 UFC/100 mL), porém, não foram capazes de atingir o reúso mais restrito (reúso recreativo e agrícola/urbano: <10 UFC/100mL).

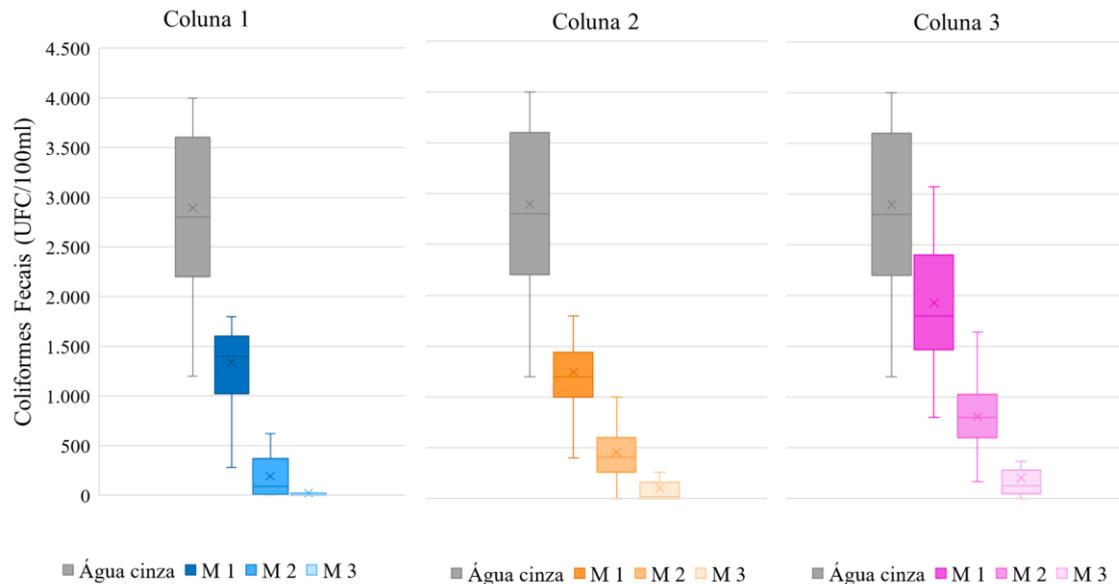


Figura 10: Contagem de coliformes termotolerantes no efluente final de cada módulo em relação à água cinza.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no que tange a utilização do jardim suspenso como *wetland* vertical para o tratamento de águas cinzas foram satisfatórios. A montagem de uma fachada verde com a utilização de *wetlands*, que de fato tratam um efluente residencial, se mostrou possível e os parâmetros analisados revelaram dados promissores. Em todos os testes feitos, o jardim foi capaz de diminuir/adequar o parâmetro analisado. Portanto, o sistema proposto pode não só ser eficiente para ajustar o microclima de áreas urbanas e aumentar a captura de carbono atmosférico, mas também como fonte de utilização de águas cinzas, diminuindo custos com irrigação e nutrientes, além de possibilitar a produção de um efluente tratado que pode ser útil em outras atividades da edificação.

Os testes de DQO, surfactantes aniônicos, pH e coliformes termotolerantes apresentaram resultados que se adequaram aos valores exigidos pelos padrões, fazendo com que o efluente, considerando estes parâmetros, encaixe-se nas propostas de reusos das águas cinzas, o que mostra um grande potencial do sistema estudado. Em alguns dos índices analisados, o número de módulos utilizados no sistema não permitiu que os parâmetros do efluente final estivessem de acordo com aqueles exigidos para o reuso de água cinza tratada. Porém, o sistema pode incluir, em escala real, mais módulos, o que pode levar a melhores índices de tratamento.

É válido ressaltar que, durante a realização do experimento, nenhum pré ou pós-tratamento foi utilizado, seja na água cinza, seja no efluente do sistema. Segundo (16), o pré-tratamento é um mecanismo útil no manejo de águas residuárias, auxiliando o tratamento para que este chegue até os parâmetros desejados. Este conceito pode ser estendido também ao pós-tratamento. Portanto, técnicas já conhecidas podem ser empregadas antes ou depois de um sistema como o construído para que o tratamento seja ainda mais efetivo, aproximando ainda mais o efluente final do sistema dos padrões de reuso para água cinza tratada.

RECOMENDAÇÕES

- Testes em escala real;
- Testar outros tipos de substrato e plantas no sistema;
- Avaliar a possibilidade de pré e pós tratamento;
- Investigar possíveis adaptações na hidráulica de edifícios novos e construídos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BIBRI, S. E. et al. *ICT of the new wave of computing for sustainable urban forms: Their big data and context-aware augmented typologies and design concepts*. **Sustainable Cities and Society**, v. 32, p. 449–474, jul. 2017.
2. WĄTRÓBSKI, J. et al. *Sustainable cities and communities assessment using the DARIA-TOPSIS method*. **Sustainable Cities and Society**, p. 103926, maio 2022.
3. PAN, L. et al. *Orientation effect on thermal and energy performance of vertical greenery systems*. **Energy and Buildings**, v. 175, p. 102–112, set. 2018.
4. SCHERER, M. J. et al. *Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano*. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, 2 jan. 2014.
5. COSOLA, V. O. et al. *A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: temperature reduction and noise attenuation*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 162, p. 112463, jul. 2022.
6. KOCH, K. et al. *Urban heat stress mitigation potential of green walls: A review*. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 55, p. 126843, nov. 2020.
7. LEAL, L. H. *Removal of micropollutants from grey water : combining biological and physical/chemical processes*. PhD Thesis—[S.l. : s.n.]: [s.n.].
8. ERIKSSON, E. et al. *Characteristics of grey wastewater*. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 85–104, mar. 2002.
9. ZHANG, X. et al. *Coupling of partial nitrification and aerated vertical flow constructed wetland for enhancing nitrite removal and reducing nitrous oxide*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 1, p. 109114, fev. 2023.
10. DOTRO, G. et al. **Treatment wetlands**. London: Iwa Publishing, 2017.
11. GREENWAVE SYSTEMS. *De componenten van Greenwave 4.0*. Disponível em: <<https://greenwavesystems.nl/greenwave-4-0/>>. Acesso em: 26 mar. 2023.
12. VUPPALADADIYAM, A. K. et al. *A review on greywater reuse: quality, risks, barriers and global scenarios*. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 18, n. 1, p. 77–99, 14 dez. 2018.
13. LI, F. et al. *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses*. **Science of The Total Environment**, v. 407, n. 11, p. 3439–3449, maio 2009.
14. LO MONACO et al. *Desempenho de filtros constituídos por fibra coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura*. **Engenharia na Agricultura**, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 473–480, 2009.
15. KADEWA, W. W. et al. *Comparison of grey water treatment performance by a cascading sand filter and a constructed wetland*. **Water Science and Technology**, v. 62, n. 7, p. 1471–1478, 1 out. 2010.
16. WANG, F.-H. et al. *Bench-scale and pilot-scale evaluation of coagulation pre-treatment for wastewater reused by reverse osmosis in a petrochemical circulating cooling water system*. **Desalination**, v. 335, n. 1, p. 64–69, 17 fev. 2014.