

Reúso de água cinza tratada em sistema de alagado construído com resíduos da construção civil

Reuse of gray water treated through a constructed wetland with substrates of civil construction

Paulo Ricardo Dantas^{1*}, Maria Tatiane Leonardo Chave², Douglas Monteiro Cavalcante³, Walker Gomes de Albuquerque⁴, Weverton Pereira de Medeiros⁵, Andreza Maiara Silva Bezerra⁶

¹Engenheiro Ambiental, Mestrando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Santa Cruz, Rio Grande do Norte; (84) 99652-0425, paulord12@gmail.com; ²Engenheira Ambiental, Mestranda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, tatianeleonardochaves@gmail.com; ³Engenheiro Agrônomo, pós doutorando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, cavalcante.doug@gmail.com; ⁴Professor do Centro de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, walker@ccta.ufcg.edu.br; ⁵Licenciado em Ciências Agrárias, Mestrando em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, weverton_cafu@hotmail.com.br; ⁶Engenheira Ambiental graduada pela Universidade Federal de Campina Grande, Especialista em Educação Ambiental e Geografia do Semiárido pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, andrezamaiarasilva@gmail.com

ARTIGO

Recebido: 12/06/2018
Aprovado: 22/12/2018

Palavras-chave:

Substratos
Água residuária
Sistema de Baixo Custo

Key words:

Substrates
Waste water
Low-Cost System

RESUMO

A crise hídrica tem levado a sociedade a mudar seus hábitos de uso dos recursos hídricos e o reúso de água torna-se uma alternativa para essa crise. Os sistemas de alagados construídos são de baixo custo de operação e manutenção e podem viabilizar o reúso d'água, além de contar com uma grande eficácia na remoção de impurezas da água. Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência de um sistema de alagado construído vertical utilizando como substratos resíduos da construção civil e planta ornamental no tratamento de águas cinza escura provenientes de pias de cozinha, além de direcionar a água tratada para o reúso não potável adequado. A água cinza escura foi coletada na cantina da Universidade Federal de Campina Grande *campus* Pombal, de maio a junho de 2017, e inserida no sistema. O sistema foi construído em um garrafão plástico de 20 litros, formado por camadas de restos de materiais da construção civil. Foram analisados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água cinza bruta e da água pós tratamento para verificar a eficiência do sistema. Alguns parâmetros tiveram redução maior que 80% que foi o caso da turbidez e coliformes totais, e acima de 90% sendo este para sólidos sedimentáveis. No reúso, foi verificado que a água tratada poderia ser reutilizada na lavagem de veículos e calçadas, rega de jardins, reúso em forragens e pastagem para gado. Espera-se que este estudo possibilite a utilização de sistemas de alagado construído em larga escala para uma maior disponibilidade hídrica.

ABSTRACT

The current water crisis has led society to change its habits of use of water resources and the reuse of water becomes an alternative to this crisis. The constructed wetlands are low in cost of operation and maintenance and can make water reuse possible, as well as having a great efficiency in the removal of impurities in the water. The objective of this work was to evaluate the efficiency of a vertical constructed wetland using as substrates waste from the civil construction and ornamental plant, in the treatment of dark gray water from kitchen sinks, as well as directing the treated water to the non-potable reuse appropriate. Dark gray water was collected in the snack bar of the Federal University of Campina Grande Pombal *campus*, from May to June 2017, and inserted into the system. The system was built in a plastic container of 20 L and formed by layers of debris from construction materials. Physical-chemical and microbiological parameters of raw gray water and post-treatment water were analyzed to verify the efficiency of the system. Some parameters had a reduction greater than 80% that was the case of turbidity and total coliforms, and above 90% being this for sedimentable solids. For reuse, it was verified that the treated water could be reused in the washing of vehicles and sidewalks, irrigation of gardens, reuse in fodder and pasture for livestock. It is hoped that this study will allow the use of constructed wetlands on a large scale for greater water availability.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento das cidades. A escassez ocorre principalmente pela deterioração da qualidade da água, que inviabiliza a utilização de importantes mananciais e ocasiona uma demanda superior à oferta (MAGALHÃES, 2004). De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 20% da população mundial não tem acesso à água potável e, aproximadamente, 40% não dispõe de água suficiente para uma estrutura de saneamento básico e higiene adequada (SILVA, 2012).

Na região do semiárido brasileiro, a água se tornou um fator determinante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Nessa região existem enormes desafios e dificuldades no que diz respeito à gestão de recursos hídricos. Além do problema da quantidade de água disponível para a população, alguns fatores prejudicam ainda mais a sua disponibilidade. O despejo de esgoto sem tratamento ou tratados inadequadamente, efluentes industriais e agrícolas, produtos químicos como fertilizantes, poluem os corpos aquáticos alterando as características físico-químicas, biológicas e, portanto, seus usos (ESTEVEVES, 2011).

Frete aos problemas hídricos enfrentados na região, os Sistemas de Alagados Construídos (SACs) se destacam como alternativa barata e viável para o tratamento de águas residuárias. Esses sistemas são na verdade, reservatórios preenchidos com materiais porosos, de alta condutividade hidráulica (CHAGAS et al., 2012).

O tratamento de efluentes em SACs vem se mostrando eficiente na remoção de matéria orgânica, constituinte pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST) e coliformes termotolerantes de efluentes de esgoto doméstico (BRASIL et al., 2005).

Para Brasil e Matos (2008), esses sistemas de tratamento para água residuárias além de baixo custo, mostram-se eficiente na remoção de matéria orgânica, representada pela DBO, SST, fósforo e coliformes termotolerantes de efluente primário de esgoto doméstico.

Outra vantagem dos SACs, é agregar os resíduos da construção civil, como forma de minimizar os impactos ambientais negativos dessa prática e garantir uma alternativa de baixo custo e eficiente, uma vez que, esses resíduos representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas dos municípios e sua viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reutilização, reciclagem e beneficiamento desses resíduos é uma necessidade urgente para implementação do Sistema de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (BRASIL, 2002). Desta forma há a necessidade de incorporar esses resíduos em pesquisas diversas, tais como, o uso como substrato dos SACs no tratamento de águas cinza, como uma forma alternativa de reutilização desses rejeitos.

Para Zanella (2008), a utilização de plantas ornamentais para o tratamento em sistemas de wetlands (ou SAC's) construídos é viável, agregando efeito estético ao sistema de tratamento o que permite dispor de caráter paisagístico para o sistema proposto.

Considerando que os recursos hídricos são escassos, torna-se fundamental a adoção de alternativas simples de tratamento que possibilitem o reúso de águas. Esses reúsos implicam em redução no volume de água utilizado, o que por

sua vez, implica em benefícios sociais, econômicos e ambientais. Desta forma, o presente estudo objetivou avaliar a eficiência de um sistema de alagado construído (vertical) utilizando como substratos resíduos da construção civil, no tratamento de águas cinza provenientes de pias de cozinha através dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, bem como, confrontar os dados obtidos com a "legislação" vigente para água de reúso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo para a avaliação da eficiência do sistema de alagado construído foi desenvolvido no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG, campus de Pombal-PB, no período de 30 de maio à 30 de junho de 2017).

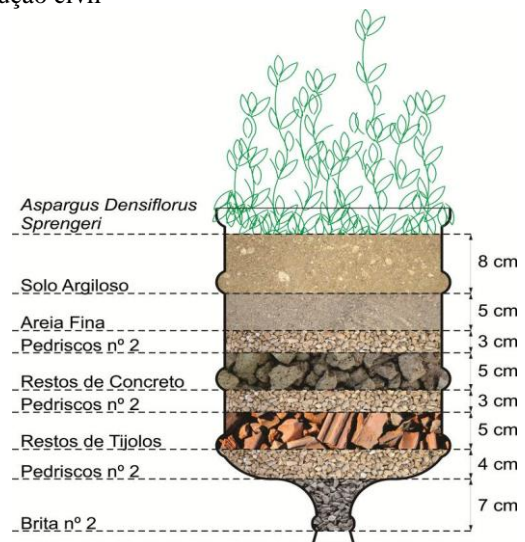
As amostras de água foram coletadas uma vez por semana (4 amostras) nas pias da cozinha da lanchonete situada na praça da alimentação da UFCG. A coleta foi feita em balde plástico de 5 L. Este ficou embaixo da pia da cozinha do estabelecimento, onde, desmontou-se provisoriamente o sifão e a água cinza foi direcionada no balde até enchê-lo completamente.

O sistema foi construído com garrafão de água mineral com capacidade de 20 L e um total de 40 cm de extensão, com perímetro de 84 cm. O mesmo foi preenchido por camadas de materiais filtrantes, e no topo do sistema foi inserida a planta ornamental da espécie *Asparagus densiflorus Sprengeri* (conhecida como Aspargo-alfinete) (Figura 1).

Visando a possibilidade de incorporar novos materiais filtrantes no sistema e o aproveitamento de resíduos da construção civil, foram utilizados no sistema de fluxo vertical, tijolos cerâmicos triturados, pedrisco, areia, resto de concreto, brita e solo advindos do próprio campus da UFCG.

O sistema foi montado seguindo uma sequência de camadas de materiais filtrantes, estes separados um dos outros por tela sintética com 0,30 mm feita de Náilon, de forma que as camadas não se misturassem.

Figura 1. Sistema de alagado construído com resíduos da construção civil



Fonte: Elaborado pelo Autor principal (2017).

Nota-se na Figura 1, as camadas foram sobrepostas por toda a extensão do garrafão, separadas por tela sintética. Os materiais utilizados foram lavados com água de abastecimento antes de serem inseridos no sistema. A escolha

das dimensões das camadas foram feitas de maneira a preencher todo o garrafão de acordo com a área útil, utilizando camadas mais grossas para o solo (cultivo das plantas), concreto e tijolos. E mais finas para os demais materiais. A figura 2 apresenta o sistema em sua forma finalizada, após as montagens das camadas dos materiais filtrantes do sistema.

Figura 2. Sistema de alagado construído com resíduos da construção civil montado.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Durante 7 dias foi realizada uma etapa de adaptação da planta para funcionamento adequado do sistema. A inserção de água cinza teve início no oitavo dia da operação. A amostragem do sistema foi realizada por meio de coleta simples. O garrafão possuía uma saída segregada para permitir a realização da coleta. O sistema foi regado com águas cinza durante um mês, totalizando quatro análises, de forma a atestar a eficiência do sistema no tratamento da água nesse período de tempo; desta forma, o sistema foi utilizado quatro vezes durante o período de análises. A eficiência do sistema foi calculada pela porcentagem de diminuição dos parâmetros analisados em comparação ao efluente bruto e o pós tratamento.

A água cinza bruta (ACB) foi inserida no sistema e as amostras de ACB e água cinza tratada (ACT) foram transferidas para béqueres e encaminhadas ao laboratório de análises de água para a sua devida caracterização durante um mês para as análises das variáveis: pH, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, sólidos

totais, sólidos voláteis, sólidos suspensos, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes totais. As amostras utilizadas para as análises microbiológicas foram coletadas em frascos estereis e acondicionadas em refrigeração para então serem realizadas as análises de coliformes totais. As análises foram realizadas pelos métodos analíticos utilizados cotidianamente no laboratório de Análise de Água da UFCG (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros determinados e métodos utilizados

Parâmetros	Método Instrumental
pH	pHmêtro
Turbidez	Turbidímetro
Condutividade Elétrica	Condutivímetro
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	Condutivímetro
Cor aparente	Colorímetro
Sólidos Totais	Gravimetria
Sólidos Voláteis	Gravimetria
Sólidos sedimentáveis	Gravimetria
Demanda Química de Oxigênio	Refluxo Fechado
Demanda Bioquímica de Oxigênio	Oxímetria
Coliformes Totais	Tubos Múltiplos

Os resultados obtidos nas análises foram submetidos a ANOVA e comparados pelo teste de Tukey (HSD) a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), com software estatístico para Microsoft Excel XLSTAT (version 2018.5) (ADDINSOFT, 2018) e o erro padrão dos tratamentos foram usados na separação das médias. O coeficiente de correlação de Person foi calculado aos níveis de significância de ($p < 0,01$; $p < 0,05$ e $p < 0,10$). Os dados também foram avaliados em relação as resoluções CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005) e n° 430 (BRASIL, 2011), ambas dispões sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A água que passa pelo sistema foi destinada ao uso não potável e sua classificação quanto aos usos, foi definida na tabela 2, estabelecido pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo (SINDUSCON-SP, 2005). Existe outra norma para reúso de água residuária, esta é a NBR 13969/1997, sendo expreso na Tabela 3 os parâmetros abordados. Desta forma foi realizada uma comparação dessas normativas e identificado o melhor tipo de reúso para a água tratada pelo sistema de alagado construído proposto neste trabalho; direcionado para o uso não potável desta água.

Tabela 2. Enquadramento da água de reúso.

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
	Descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais, lavagem de roupas e de veículos.	Lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira.	Irrigação de áreas verdes e rega de jardins.	Resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).
Cor	< 10 uC		< 30 uC	
Turbidez	< 2 UNT		< 5 UNT	
Condutividade			$700 < EC (\mu s \text{ cm}^{-1}) < 3000$	
pH	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0	Entre 5,0 e 8,3
Sólidos Totais Dissolvido	< 500 mg L ⁻¹		$450 < STD < 1500$	
Sólidos Suspensos Totais	< 5 mg L ⁻¹	30 mg L ⁻¹	< 20 mg L ⁻¹	
DBO	< 10 mg L ⁻¹	≤ 30 mg L ⁻¹	< 20 mg L ⁻¹	
DQO				75 mg O ₂ L ⁻¹
Coliformes	Não Detectáveis	≤ 1000 mL ⁻¹	< 200 100 mL ⁻¹	2,2 NMP 100 mL ⁻¹ (com recirculação)

Fonte: Manual SINDUSCON-SP (2005).

Tabela 3. Enquadramento de água de reúso

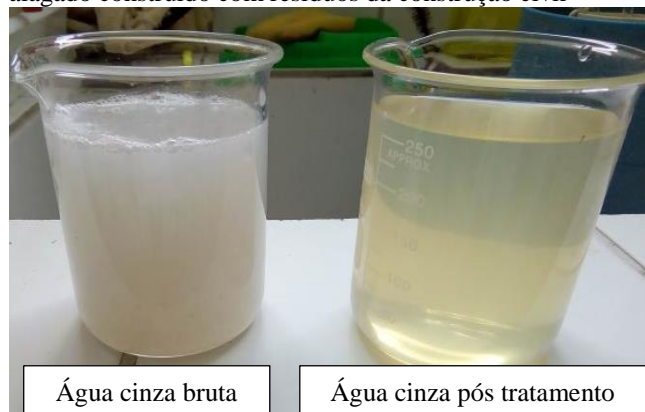
Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, possível aspiração de aerossóis, incluindo chafarizes	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	Reúso nas descargas dos vasos sanitários	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual
Turbidez	< 5 UNT	< 5 UNT	< 10 UNT	
pH	Entre 6,0 e 8,0			
Sólidos Dissolvidos Totais	< 200 mg L ⁻¹			
Coliformes	<200 NMP 100 mL ⁻¹	<500 NMP 100 mL ⁻¹	<500 NMP 100 mL ⁻¹	<5000 NMP 100 mL ⁻¹

Fonte: NBR 13.696 (ABNT, 1997)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água cinza introduzida no sistema teve uma clarificação visível, podendo ser observada na figura 2, em que o primeiro béquer contém o efluente bruto (ACB) e o segundo, a ACT coletada na saída do sistema de tratamento.

Figura 2. Água cinza bruta e tratada pelo sistema de alagado construído com resíduos da construção civil



Fonte: Autoria Própria (2017).

Na tabela 4, são apresentados os resultados médios da água cinza bruta (antes de ser inserida no sistema) e o da água tratada (após a saída do sistema), assim como, a eficiência do

SAC no tratamento da ACB. Houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os parâmetros analisados para ACB e ACT (Tabela 4).

Dentre as variáveis estudadas, a Cor, Turbidez, ST, SV, SS, DQO, DBO e CT, apresentaram redução significativa após o tratamento com o SAC. Entretanto, a eficiência do tratamento apresentando valores acima de 50%, foram observadas apenas nas variáveis Cor, Turbidez, ST, SV, SS e CT.

Os sólidos apresentaram uma diminuição de forma geral, sendo possível durante a análise gravimétrica de sólidos, verificar a remoção dos mesmos. De acordo com a tabela 4, nota-se que os ST, SV apresentaram similar eficiência de tratamento (61,27 e 61,28, respectivamente), sendo que, SS apresentaram a maior eficiência com 92,3%. A Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) estabelece um valor máximo de 1 mL L⁻¹ para lançamento direto em corpos receptores, como no presente trabalho o valor para sólidos sedimentáveis foi de 0,1 mL L⁻¹ (Tabela 4), este está de acordo com a resolução. Os STD não apresentaram diferença estatística, mas apresentaram uma redução de 22,2%, com valor no final do SAC de 159,825 mg L⁻¹, o que lhe enquadra no padrão da classe 1 de reúso da NBR 13.696 (ABNT, 1997), compreendendo descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais, lavagem de veículos.

Tabela 4. Análises da água cinza bruta (ACB), água cinza tratada (ACT) e Eficiência de Tratamento (ET) em sistema de alagado construído (SAC) com resíduos da construção civil.

Parâmetros	ACB	ACT	ET (%)
Cor (uC)	1167,3 (155,89) a	443,5 (106,2) b	62,0
Turbidez (UNT)	508,5 (171,0) a	91,75 (19,19) b	82,0
CE ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	351,55 (51,39) a	291,875 (53,62) a	17,0
pH	8,34 (0,31) a	8,165 (0,09) a	2,1
ST (mg.L ⁻¹)	914,5 (0,06) a	354,2 (0,06) b	61,27
SV (mg L ⁻¹)	1181,2 (0,06) a	457,4 (0,06) b	61,28
STD (ppm)	205,52 (23,79) a	159,825 (28,81) a	22,2
SS (mL L ⁻¹)	1,3 (0,01) a	0,1 (0,01) b	92,3
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	597,01 (0,01) a	440,3 (0,06) b	26,2
DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	88,5 (0,06) a	53,0 (0,06) b	40,1
CT (NMP 100 mL ⁻¹)	2400 (0,06) a	426 (0,06) b	82,3

CE: Condutividade Elétrica; ST: Sólidos Totais; SV: Sólidos Voláteis; STD: Sólidos Totais Dissolvidos; SS: Sólidos Sedimentáveis; DQO: Demanda Química de Oxigênio; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; CT: Coliformes Totais. Letras minúsculas iguais seguidas na mesma linha não diferem estatisticamente ao nível de significância de 5%. Valores dos parâmetros analisados são médias e o erro padrão (n=4) em parênteses.

De um modo geral, o sistema foi eficiente na redução dos valores de sólidos totais. Bazzarella (2005) comenta que de modo geral, as águas cinzas apresentam grande quantidade de sólidos suspensos, pois geralmente nas águas utilizadas na cozinha e também lavanderias e chuveiros, encontra-se uma grande quantidade de resíduos de comida, além de cabelos e também fibras de tecidos (BEZERRA et al., 2016).

Para a variável Cor houve uma redução, com um valor médio na entrada de 1167,3 uC e na saída de 443,5 uC o que correspondeu a uma eficiência de 62%. Os valores de cor foram altos para a água cinza tratada pelo sistema, ficando acima dos valores recomendados pelos manuais de reúso (Tabela 2). Para as classes 2 e 4 não foram estabelecidos valores mínimos para cor (SINDUSCON-SP, 2005). Cardoso (2015) verificou trabalhando com sistema de alagado construído para tratamento de efluente de laticínios uma redução da cor de cerca de 74%. Como a cor aparente foi alta, a mesma pode ter sido influenciada pela presença de sólidos dissolvidos na água pós tratamento pelo SAC.

A turbidez na saída do SAC resultou numa média de 91,75 UNT, valor que representou 82% de remoção de turbidez. Desse modo, este parâmetro não se enquadra em nenhuma classe de reúso (Tabelas 2, 3), entretanto, encontra-se abaixo do valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), que determina o lançamento para rios classe 2 uma turbidez de até 100 NTU. Para Wurochekke et al. (2014) a remoção de turbidez foi de 45% utilizando como planta a *Lepironia articulata*. Oliveira et al. (2015) encontraram redução de 94% utilizando *Heliconia rostrata*.

A cada dia, diferentes tipos de refeições são preparadas nas lanchonetes, fazendo com que existam valores maiores de cor e/ou turbidez, por exemplo, em diferentes dias. A turbidez e os sólidos suspensos fornecem indicações sobre o teor de partículas e colóides que podem, na presença de detergentes, solidificar-se e comprometer a eficiência do tratamento ou causar o entupimento das tubulações (SARNAGLIA, 2014).

Quanto à análise de condutividade, não houve diferença estatística entre ACB e ACT, apresentando apenas uma ET de 17%. Diferente dos resultados obtidos por Lima (2011) e Oliveira et al. (2015), não houve aumento da CE ao longo do experimento, devido, talvez ao tipo de substrato utilizado (britas) em maior proporção. Arunbabu et al. (2015) obtiveram uma redução em torno de 20% desse parâmetro. O aumento ou diminuição da condutividade elétrica demonstra quantidade de íons dissolvidos no meio em questão, sendo assim, a condutividade elétrica é função da quantidade sais contidos no meio.

A condutividade apresentou alta correlação positiva significativa com STD (Tabela 5). Segundo Silva (2016) os valores dos sólidos totais, fixos e voláteis tem conexão com os sólidos dissolvidos no meio, o que favorece a concentração de íons e conseqüente aumento da condutividade elétrica. De acordo com a condutividade limite para a reutilização da classe 3 de $700 < EC (\mu S \text{ cm}^{-1}) < 3000$, o efluente tratado poderia ser utilizado com o valor médio de $291,87 \mu S \text{ cm}^{-1}$.

Em diferentes dias as águas cinzas sofrem interferências, podendo mudar seus valores de acordo com os componentes da água, desta forma, é possível utilizar essa água para o reúso de classe 3, em que consiste na irrigação de áreas verdes e rega de jardins. Não foram estabelecidos valores mínimos de condutividade para as classes 1, 2 e 4 (Tabela 2).

O pH foi o parâmetro mais constante entre os analisados, apresentando ET de apenas 2,1%. A variação do pH pode atingir valores próximos a zero (Oliveira et al., 2015). Os valores médios de pH, antes e após o tratamento pelo SAC, apresentaram valores com uma propensão alcalina e valores máximos absolutos próximos a 8,5. O pH do efluente tratado se enquadra no padrão de todas as classes de reúso (Tabelas 2, 3). Sendo a média 8,1 estando dentro do valor estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) que determina a faixa de 5 a 9 para lançamento de efluentes em corpos receptores. Já na NBR 13.969 (ABNT, 1997) é informado que para o lançamento nas galerias de águas pluviais o pH deve estar entre 6,0 e 9,0, desta maneira, enquadrando-se também o valor permitido da norma em questão.

A média de pH obtida para água cinza bruta ($8,3 \pm 0,31$) encontra-se dentro da faixa apresentada por Eriksson et al., (2002), para lavanderias. O pH é um indicativo da condição ácida ou alcalina de um meio e, parâmetro importante para o controle do crescimento de microrganismos. Dessa forma, dentro de um sistema *wetland*, o pH tem grande influência nas reações bioquímicas ocasionadas entre esgoto, solo e microrganismos (VENSKE, 2017).

Soares e Coringa (2013) relatam que um dos fatores importantes na elevação do pH está relacionado com os compostos químicos que existem na composição do resíduo da construção e demolição, onde entre eles, o calcário é um dos maiores contribuintes para o aumento na concentração de bases no efluente. O que não aconteceu neste trabalho, apesar da utilização de resíduos de construção.

A demanda química de oxigênio (DQO) apresentou uma ET de 26,2%, e valor acima do padrão para água de reúso classe 4 (Tabela 2). Valor este abaixo do encontrado por Ormonde (2012) (56,26 - 63,24%), Santasmasas et al. (2013) com sistema MBR (Biorreatores com membrana) (90%), Wurochekke et al. (2014) (85%) e Oliveira et al. (2015) (95%). Ainda não existe um parâmetro para a DQO pela Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) porém de acordo com o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), o limite de DQO para lançamento de efluente líquido em corpos hídricos deve ser de no máximo 150 mg L^{-1} , limite inferior ao encontrado nesse trabalho ($440,3 \text{ mg L}^{-1}$).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) também apresentou diferença estatística, entretanto, a ET de 40,1% foi superior a DQO. O sistema foi capaz de diminuir de 88,5 para $53,0 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ da água cinza escura (Tabela 4). Para lançamento direto de efluente em corpos receptores, a Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) determina o máximo de $120 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, desta forma a água pós tratamento se enquadra nesse padrão. De acordo com o Manual do SINDUSCON-SP (2005), os valores foram maiores que os estabelecidos para reúso nas classes 1, 2 e 3, sendo a classe 4 ainda não estabelecido um padrão.

A DBO e DQO apresentaram altas correlações positivas com o pH, sólidos e coliformes totais (Tabela). Abdel-Shafy et al. (2014) orientam para que as águas da pia da cozinha e de lava-louças não sejam utilizadas juntamente com a água cinza oriundas dos banheiros, pois, as taxas de óleos e graxas são bastante elevadas nas águas cinzas da cozinha, que por sua vez, aumentam consideravelmente os níveis de DQO e DBO.

Tabela 5. Matriz de correlação das variáveis limnológicas da água cinza bruta (ACB).

	Cor	Turb	CE	STD	pH	ST	SV	SS	DQO	DBO	CT
Cor	1										
Turb	0,69	1									
CE	-0,52	-0,23	1								
STD	-0,80	-0,38	0,91***	1							
pH	0,25	0,54	-0,73	-0,52	1						
ST	0,28	0,33	-0,90***	-0,68	0,94***	1					
SV	0,28	0,33	-0,90***	-0,68	0,94***	0,99*	1				
SS	0,28	0,33	-0,90***	-0,68	0,94***	0,99*	0,99*	1			
DQO	0,18	0,32	-0,83	-0,58	0,96**	0,99*	0,99*	0,99*	1		
DBO	0,28	0,33	-0,90***	-0,68	0,94***	0,99*	0,99*	0,99*	0,99*	1	
CT	0,28	0,33	-0,90***	-0,68	0,94***	0,99*	0,99*	0,99*	0,99*	0,99*	1

CE: Condutividade Elétrica; ST: Sólidos Totais; SV: Sólidos Voláteis; STD: Sólidos Totais Dissolvidos; SS: Sólidos Sedimentáveis; DQO: Demanda Química de Oxigênio; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; CT: Coliformes Totais. * (p < 0,01); ** (p < 0,05); *** (p < 0,10).

A redução dos coliformes totais (CT) também foi de grande expressão, tendo uma redução de 2.400 para 426 NMP 100 m L⁻¹, o que equivaleria a uma ET de 82%. Sendo este valor estando dentro da faixa para o reúso classe 2 (Tabela 2), compreendendo lavagem de agregados, preparação de concreto, etc. Na NBR 13.969 (ABNT, 1997) a água que sai do sistema pode ser reutilizada, em relação aos coliformes, para reúso classe 2, compreendendo lavagem de pisos calçadas e irrigação de jardins; classe 3 que compreende o reúso nas descargas dos vasos sanitários; e classe 4, que compreende o reúso em pomares, cereais, forragens e pastagens para gado.

Sarnaglia (2014) encontrou densidade média de coliformes totais presentes na água cinza clara de filtro anaeróbico de 6,3x10⁴ NMP 100 m L⁻¹. Segundo os estudos realizados por Bazzarella (2005) as amostras de chuveiro foram as que apresentaram maior densidade, tanto de coliformes totais quanto de E. coli (ambos em torno de 10⁴). Dentre os grupos de maior importância de microrganismos presentes na água cinza, destacam-se os coliformes termotolerantes, que tem como principal representante à *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal (SARNAGLIA, 2014).

Analisando o melhor tipo de reúso da água cinza tratada pelo sistema, a partir dos parâmetros mínimos de qualidade de água para o reúso segundo o Manual SINDUSCON-SP (2005) e da NBR 13.969 (ABNT, 1997), o reúso mais adequado da água tratada pelo SAC proposto, é para lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira, irrigação de áreas verdes e rega de jardins, lavagem de pisos e calçadas, reúso em pomares, cereais, forragens e pastagem para gado e lavagem de veículos.

CONCLUSÕES

O tratamento pelo Sistema de Alagado Construído (SAC) é eficiente no tratamento de águas cinza com a diminuição dos valores dos parâmetros físico-químicos principalmente para turbidez, sólidos sedimentáveis e coliformes totais, com eficiência de remoção superior a 80%. Enquadrando-se nas normas padrão de reúso, para atender a lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira, irrigação de áreas verdes e rega de jardins, lavagem de pisos e calçadas, reúso em pomares, cereais, forragens e pastagem para gado e lavagem de veículos.

O SAC construído de fluxo vertical tem viabilidade técnica e econômica para utilização no reúso de águas cinza de sistemas residenciais, principalmente na zona rural semiárida.

REFERÊNCIAS

ABDEL-SHAFY, H. I.; AL-SULAIMAN, A. M.; MANSOUR, M. S. M. Greywater treatment via hybrid integrated systems for unrestricted reuse in Egypt. *Journal of Water Process Engineering*, v. 1, p.101-107, abr. 2014.

Addinsoft, XLSTAT 2018: Data Analysis and Statistical Solution for Microsoft Excel. 2018.

ARUNBABU, V.; SRUTHY, S.; ANTONY, I.; RAMASAMY, E. V. Sustainable greywater management with *Axonopus compressus* (broadleaf carpet grass) planted in sub surface flow constructed wetlands. *Journal Of Water Process Engineering*, v. 7, p.153-160, set. 2015.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-. Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação: NBR 13.969. Rio de Janeiro, 1997.

BEZERRA, A. M. S.; TRIGUEIRO, J. M. A; DANTAS, P.R.; SILVA, A. P. F.; ALBUQUERQUE, W. G. Caracterização de parâmetros físico-químicos de água cinza proveniente da lavagem de roupas em lavanderia comercial em pombal-PB. In: I CONIDIS, 2016, Campina Grande. Anais I CONIDIS. Campina Grande: Editora Realize, 2016. p. 1-8.

BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento da água cinza para uso não potável em edificações. 2005. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial. *Eng. Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 323-328, 2008. 10.1590/S1413-41522008000300012.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A. Qualidade do efluente de sistemas

- alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.133-137, 2005.
- BRASIL. Resolução CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil N° 053, págs. 58-63. 2005.
- BRASIL. Resolução CONAMA N° 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, n° 92 p. 89. 2011.
- BRASIL. Resolução CONAMA N° 307 de 5 de Julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, n° 136, p. 95-96. 2002.
- CARDOSO, M. L. Tratamento de Efluente de Laticínio por Sistema Alagado Construído Híbrido. 2015. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.
- CHAGAS, R. C.; MATOS, A. T.; CECOM, P. R.; LO MONACO, P. A. V.; ZAPAROLLI, B. R. Remoção de coliformes em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo (*Hemerocallis fava*). Engenharia na Agricultura, v.20, n.02, p.142-150, 2012.
- ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater.urban water, v. 4, n. 1, p. 85–104, 2002.
- ESTEVEES, F. A. Fundamentos de limnologia. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- LIMA, F. T. Capacidade de Retenção e Dinâmica de um Wetland Construído no Tratamento de Águas Residuais. Dissertação (Mestrado em Aquicultura), Universidade Estadual Paulista – UNESP. 2011. 135f.
- MAGALHÃES, P. C. O custo da água gratuita. In: Ciência Hoje, v. 36, n° 211, p.45-49, 2004.
- OLIVEIRA, D. M. C.; PERALTA, A. H.; CARDOSO, M. L.; COSTANZI, R. N. Tratamento de Água Cinza Através de um Sistema Alagado Construído. Revista Hipótese, Itapetininga, v. 1, n.2, p. 48-64, 2015.
- ORMONDE, V. S. S. Avaliação de Wetlands construídos no pós-tratamento de efluente de lagoa de maturação. 2012. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso.
- SANTASMASAS, C.; ROVIRA, M.; CLARENS, F.; VALDERRAMA, C. Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. Resources, Conservation And Recycling, v. 72, p.102-107, 2013.
- SARNAGLIA, S. A. A. Desempenho de um “wetland” vertical aplicado ao tratamento do efluente de um filtro anaeróbio em uma estação de tratamento de águas cinzas claras visando o reúso não potável em edificações residenciais. 2014. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo. 2014.
- SILVA, C. H. R. T. Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisa, 2012.
- SILVA, H. C. Tratamento de efluente proveniente da lavagem de resíduos de construção e demolição. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2016.
- SINDUSCON-SP, Sindicato da Indústria da Construção Civil de Grandes Estruturas do Estado de São Paulo. Manual de Conservação e reúso de água em edificações, FIESP/CIESP/SINDUSCON. São Paulo, SP, 2005.
- SOARES, A. R. F. S.; CORINGA, J. E. S. Influência dos resíduos da construção civil na recuperação de área degradada pela extração de argila. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. 4. Artigo Eletrônico. Salvador. 2013. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/VI-072.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2017.
- VENSKE, F. Alagados construídos para tratamento de águas cinzas com meio suporte de resíduos de construção e demolição. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2017.
- WUROCHEKKE, A. A.; HARUN, N. A.; MOHAMED, R. M. S. R.; KASSIM, A. H. B. M. Constructed Wetland of Lepironia Ariculata for Household Greywater Treatment. Revista Elsevier. V. 10, p. 103-109. 2014.
- ZANELLA, L. Plantas ornamentais no pós tratamento de efluentes sanitários: Wetlands Construídos utilizando brita e bambu como suporte. 2008. 189 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.