

TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS PELO PROCESSO COAGULAÇÃO/DECANTAÇÃO/FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO

Marcelo Mendes Pedroza, Professor IFTO - Palmas, E-mail: mendes@ifto.edu.br
Carlos Antônio Figueiredo Junior, Engenheiro Civil (IFTO-Palmas), E-mail: carlos_fig@hotmail.com.br
Camila Ribeiro Rodrigues, Engenheira Civil, E-mail: camilahelves@gmail.com
Matheus Gomes Arruda, Acadêmico de Engenharia Elétrica (IFTO), E-mail: matheusg409@gmail.com
Elaine da Cunha Silva Paz, Professora IFTO - Palmas, elaine@ifto.edu.br
Ranyere do Nascimento Lôbo, Engenheiro Civil (IFTO-Palmas), E-mail: ranyerelobo23@hotmail.com

Resumo: O objetivo desse trabalho foi apresentar o tratamento de águas cinza através do processo de coagulação/decantação/filtração/adsorção empregando carvão ativado comercial. As amostras foram coletadas em uma lavanderia residencial. O tratamento empregado nessa pesquisa foi dividido em duas etapas: (a) Processo de Coagulação/Floculação/Decantação e (b) Filtração do efluente em areia e Adsorção em carvão ativado. Os ensaios de coagulação foram realizados no aparelho “Jar Test”, sendo empregado como coagulante sulfato de alumínio. As velocidades de mistura rápida e lenta foram de 160 e 30 rpm, respectivamente. Os tempos de mistura rápida e lenta foram de 5 minutos e 30 minutos, respectivamente. O tempo de sedimentação foi de 1 hora. O sistema de tratamento foi constituído de cilindros cheios de areia e carvão ativado comercial, operados em fluxo contínuo, com as seguintes dimensões: altura total do tubo 40 cm, altura do carvão na coluna 11 cm, diâmetro do tubo de 2,0 cm. O sistema foi operado com a vazão de 10 mL/min. A dosagem de coagulante empregada de 200 mg/L proporcionou uma remoção de turbidez igual a 79 %, o que levou a utilização do efluente tratado com essa dosagem nos testes posteriores de filtração em areia e carvão ativado. Os parâmetros que obtiveram maior percentual de remoção no sistema proposto foram: turbidez, sólidos voláteis, DQO e cloro residual com 99, 97, 92 e 89 % respectivamente. O efluente final aqui estudado foi classificado como de classe 3, podendo ser utilizado no reúso de descargas dos vasos sanitários, segundo NBR13969/1997.

Palavras-chave: Carvão ativado, reúso, lavanderia, vaso sanitário

GRAY WATER TREATMENT THROUGH THE COAGULATION / DECANTATION / FILTRATION / ADSORPTION PROCESS

Abstract: The objective of this work was to present the gray water treatment through the coagulation / decantation / filtration / adsorption process using commercial activated carbon. The samples were collected in a residential laundry. The treatment used in this research was divided into two stages: (a) Coagulation / Flocculation / Decantation Process and (b) Effluent filtration in sand and Adsorption in activated carbon. The coagulation tests were performed in the Jar Test apparatus, being used as an aluminum sulfate coagulant. The fast and slow mixing speeds were 160 and 30 rpm, respectively. The fast and slow mixing times were 5 minutes and 30 minutes, respectively. The sedimentation time was 1 hour. The treatment system consisted of cylinders filled with sand and commercial activated carbon, operated in continuous flow, with the following dimensions: total height of the pipe 40 cm, height of the coal in the column 11 cm, diameter of the pipe 2.0 cm. The system was operated at a flow rate of 10 mL / min. The dosage of coagulant used of 200 mg / L provided a turbidity removal equal to 79%, which led to the use of the effluent treated with this dosage in the subsequent sand and activated carbon filtration tests. The parameters that obtained the highest percentage of removal in the proposed system were: turbidity, volatile solids, COD and residual chlorine with 99, 97, 92 and 89% respectively. The final effluent studied here was classified as class 3, and can be used to reuse toilet flushes, according to NBR13969 / 1997.

Keywords: Activated carbon, reuse, laundry, toilet

1. Introdução

Atualmente, a conservação dos recursos naturais é uma grande preocupação da sociedade. Dentre esses, a água é um dos mais preciosos recursos, uma vez que é indispensável para a vida no nosso planeta.

Considerando toda hidrosfera da Terra, existem cerca de 1386 milhões de quilômetros cúbicos de água. Entretanto, 97,2% desse total são águas salinas e somente 2,8% é água doce. Desse total de água doce, 76,7% está presente nas formas de calotas de gelo e geleiras. Ademais, uma porção considerável de 22,14% representa as águas subterrâneas. E somente 0,9% do total de água doce está disponível em lagos, represas, rios e na atmosfera, que representam a fração de mais fácil acesso (Abedin & Rakib, 2013).

A terra se encontra de uma forma que água doce abundante e limpa não é mais garantida, mesmo em países “ricos em água” como o Brasil, que segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2005) detém aproximadamente 18% de toda a água doce do planeta, sendo 11% oriunda de precipitações em seu próprio território e 7% água que entra em território brasileiro através de rios originados em países vizinhos.

Em muitas partes do mundo, a escassez de água é um dos desafios mais significativos para a saúde humana e integridade ambiental. À medida que a população mundial cresce e a prosperidade se espalha, demandas de água aumentam e se multiplicam sem a possibilidade de um aumento na oferta. De acordo com Angelakis e Snyder (2015), a crescente demanda por esse recurso finito e inestimável inspirou a criatividade estratégias para a gestão de água doce, incluindo técnicas inovadoras para reciclagem de águas residuárias. A reutilização de águas cinzas para fins não potáveis deve ser minuciosamente investigada.

Para Metcalf e Eddy (2003) o reúso de água é o aproveitamento da água residuária recuperada por meio da remoção ou não de parte dos resíduos por ela carregada em uso anterior e usá-la novamente em condições menos exigentes do que o primeiro uso.

Segundo Rodrigues (2019), as águas cinzas são aquelas oriundas dos lavatórios, chuveiros, máquinas de lavar roupa e louça, sendo necessária a sua desinfecção afim de oferecer uma segurança quanto à reutilização, em especial em aplicações com potencial exposição humana.

De acordo com Santana (2013), o principal objetivo da reciclagem de água cinza é substituir a água em aplicações que não exigem qualidade da água potável. E ainda ressalta que com a reciclagem da água cinza é possível reduzir as quantidades de consumo de água, bem como reduzir a produção de efluentes.

Esse trabalho teve como objetivo apresentar o tratamento químico de águas cinza provenientes de máquina de lavar roupa, através do processo coagulação/decantação/filtração/adsorção empregando carvão ativado comercial, além de dar alternativas para seu reúso de acordo com a NBR 13969/1997.

2. Metodologia

2.1 Local da pesquisa e obtenção da amostra

Essa pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) do Instituto Federal do Tocantins

(IFTO) – Campus Palmas. As amostras de águas cinzas foram coletadas em uma lavanderia residencial com um recipiente de 18 litros. Essa coleta foi realizada posicionando o recipiente abaixo do tanque de lavar roupas durante o período de lavagem. A Figura 1 apresenta as principais atividades experimentais desse estudo.

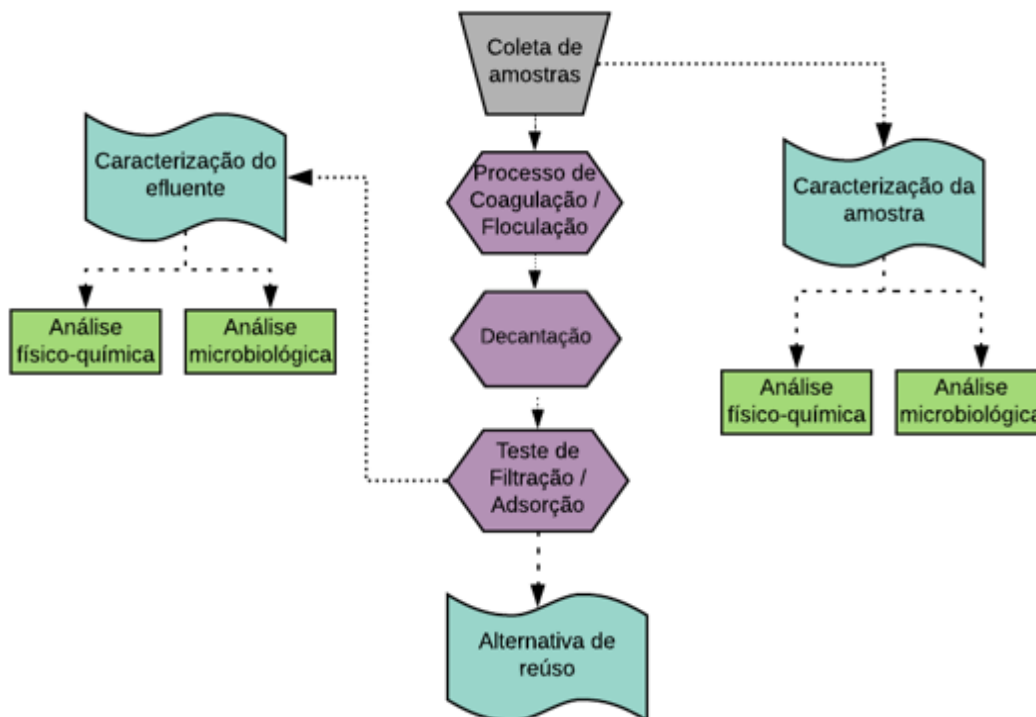


Figura 1 – Desenho esquemático das atividades desenvolvidas durante a pesquisa

2.2 Realização do tratamento de águas cinzas através do processo Coagulação/Decantação/Filtração/Adsorção

O tratamento adotado nessa pesquisa foi dividido em duas etapas, a saber: (a) Processo de Coagulação/Floculação/Decantação e (b) Filtração do efluente do sistema de coagulação em filtro de areia e Adsorção em carvão ativado.

Os ensaios de coagulação/floculação/decantação foram realizados no aparelho “Jar Test”, Marca Ethiktechnology, modelo 218-3LDB. Antes de iniciar o teste houve um ajuste na correção do pH da água cinza com solução de ácido clorídrico a 1 mol/L, pois o coagulante não tem um bom desempenho com o pH ácido ou básico. Após a correção do pH foi empregado como coagulante químico o sulfato de alumínio a 1 %. Em cada cuba do Jar Test colocou-se 2 litros de amostra. As dosagens de coagulante empregadas foram de 50, 100, 150, 200, 300 e 400 mg/L. As velocidades de mistura rápida e lenta empregadas nos testes foram de 160 e 30 rpm, respectivamente. Os tempos de mistura rápida e lenta foram de 5 minutos e 30 minutos, respectivamente. O tempo de sedimentação foi de 1 hora. Após o período de sedimentação, foram coletadas amostras em cada cuba do Jar Test para a realização dos ensaios de pH, turbidez e sólidos.

O Tratamento do efluente do sistema de coagulação/floculação em filtro de areia e carvão ativado foi realizado nas dependências do laboratório LARSEN – IFTO Campus Palmas. O sistema foi constituído de uma série de cilindros cheios de areia e carvão ativado comercial, operados em fluxo contínuo, feitos de um tubo de plástico PVC no formato cilíndrico, com as seguintes dimensões: altura total do tubo 40 cm, altura do

carvão na coluna 11 cm, diâmetro do tubo de 2,0 cm, seguindo recomendações de Rodrigues (2019). O sistema foi operado com a vazão de 10 mL/min, conforme Figura 2.



Figura 2 - Tratamento de efluente do proceso de coagulação/floculação através de filtro de areia e carvão ativado

2.3 Caraterização da amostra de agua cinza e do efluente tratado

Foi realizado o monitoramento da qualidade do efluente tratado no sistema em estudo. Visando a concretização dos objetivos deste trabalho experimental, foram coletadas amostras em três diferentes pontos: P1 – reservatorio de água cinza bruta, P2 – efluente decantado do proceso de coagulação/floculação e P3 – efluente final após o filtro de areia e P4 – efluente do filtro de carvão ativado. As metodologias empregadas nos ensaios seguiram as recomendações de APHA/AWWA/WEF (2005), conforme Tabela 1

Tabela 1 - Metodologias aplicados na determinação das características de águas cinzas e efluente

PARÂMETRO ANALÍTICO	METODOLOGIA
Temperatura	Termômetro de mercúrio
pH	Eletrométrico
DBO	Frascos Padrões
Condutividade	Eletrométrico
Sólidos Totais	Gravimétrico
Sólidos Fixos	Gravimétrico
Sólidos Voláteis	Gravimétrico
Alcalinidade	Volumétrico
Turbidez	Nefelométrico
Cloro residual	Espectrofotométrico
Cloretos	Mohr

3. Resultados e Discussões

3.1 Caracterização da água cinza bruta

A qualidade da água cinza vai depender das diversas atividades domésticas realizadas diárias, sendo que os constituintes presentes variam de residência a residência, devido a influência dos seguintes aspectos: (a) estilo de vida, (b) costumes familiares, (c) instalações e (d) quantidade de produtos químicos utilizados diariamente. Outros fatores que podem contribuir para as características da água cinza são a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição tanto da água de abastecimento quanto da água de reuso (REBÊLO, 2011).

A Tabela 2 apresenta as características da água cinza bruta. É possível perceber o alto nível de pH, na região alcalina, indicando a necessidade de correção dessa variável analítica antes do processo de coagulação/floculação. Esse alto valor de pH de água cinza proveniente de lavanderias está associado a presença de sabões e sais inorgânicos (a base de sódio, principalmente). De acordo com Rampelotto (2014), as águas cinzas provenientes de lavanderias apresentam as seguintes características: Sólidos Suspensos (sujeira e fibras de algodão), matéria orgânica, óleos e graxas, sódio, nitratos e fosfatos (detergentes), sais dissolvidos e pH alterado e presença de alvejantes. Segundo Mohamed (2011), as águas cinza geradas em lavanderias, apresentam as seguintes características: alto potencial hidrogeniônico (pH), água mais quente, presença de alvejantes, nitrato, óleo e graxas, demanda de oxigênio, salinidade, sabões, sólidos suspensos e alta turbidez.

A turbidez da água cinza aqui estudada foi 137 uT, considerado um alto valor quando comparado à turbidez de 56 uT obtido por Rampelotto (2014). De acordo com Mohamed (2011), dentre os parâmetros físicos, de maneira geral, os índices de turbidez e concentração de sólidos são altos, dando um aspecto desagradável, principalmente, à visão e ao olfato, causando rejeição por parte dos usuários, além de impedir a ação de alguns agentes desinfetantes, como o ultra violeta e o cloro, por proteger os patogênicos.

Tabela 2 – Caracterização da água cinza bruta

Variável analítica	Água cinza bruta
pH(-)	9,9
Turbidez (uT)	137
Condutividade (uS/cm)	190
Temperatura (°C)	26,4

3.1 Teste de Coagulação/Floculação/Decantação

Foi observado que a amostra bruta de água cinza apresentava pH de 9,9, se caracterizando como uma mistura básica. Para neutralizá-la, foram adicionados 78 mL ácido clorídrico de concentração de 1:9, trazendo um novo pH de 6,6.

A Tabela 3 apresenta as características da água cinza com pH ajustado empregada no ensaio de coagulação/floculação/decantação em Jar-Test.

Tabela 3 - Caracterização da água cinza após coagulação/floculação/decantação com correção de pH.

Dosagem (mg/L)	Volume (mL)	Turbidez (uT)	Temperatura (°C)
50	10	137	25,7
100	20	150	25,7
150	30	178	26,1
200	40	28,3	25,9
300	60	32,6	25,9
400	80	26,7	25,7

Ao observar os valores de água cinza com pH ajustado e do efluente após o teste Jar-Test, é possível perceber que nas amostras de dosagem de 200, 300 e 400 mg/L de sulfato de alumínio ocorreram os melhores resultados para turbidez (28,3; 32,6 e 26,7; respectivamente). Já a amostra com a dosagem de 50 mg/L de sulfato de alumínio manteve a mesma turbidez e as amostras de dosagem de 100 e 150 mg/L de sulfato de alumínio houve um aumento na turbidez (150 e 178 respectivamente). Ademais, é possível notar que quanto maior a dosagem do sulfato de alumínio mais a sua capacidade de acidificar o meio. De acordo com Rosalino (2011), o aumento do teor de íons H⁺, provocado pela adição do sulfato de alumínio, diminui o pH da água,

impedindo a formação de mais precipitado no processo. O valor do pH é regulado pela presença de alcalinidade, sendo esta uma variável de extrema importância na generalidade do processo de coagulação, em particular para a remoção da matéria orgânica e de substâncias químicas orgânicas sintéticas. A Figura 3 apresenta os dados de pH e condutividade das amostras de águas cinzas após o ensaio de coagulação/floculação/decantação.

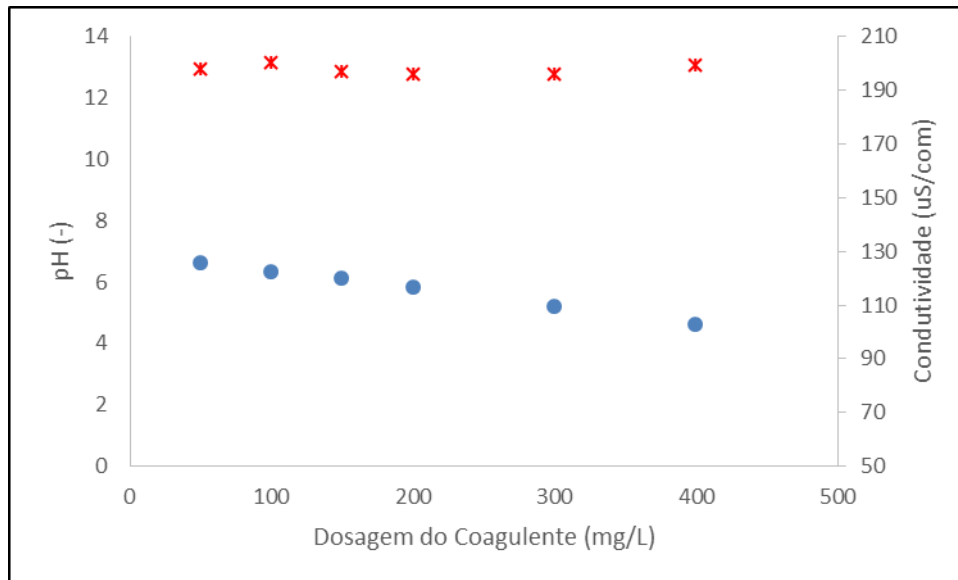


Figura 3 – Valores de pH e condutividade obtidos durante o processo de coagulação/floculação/decantação de águas cinza

3.2 Polimento de águas cinzas com filtro de areia e carvão ativado comercial

A dosagem de coagulante empregada de 200 mg/L durante o teste de jarras proporcionou uma remoção de turbidez igual a 79 %, o que levou a utilização do efluente tratado com essa dosagem nos testes posteriores de filtração em filtros de areia e carvão ativado. Com essa redução do valor de turbidez já na etapa de coagulação/floculação, os filtros de areia e carvão trabalharam com efluente de baixa turbidez, o que possibilitou a não ocorrência prematura de sua colmatação.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos durante o processo de polimento de águas cinzas em sistema de filtração por meio do carvão ativado comercial.

Tabela 4 - Resultados obtidos durante o polimento de águas cinza através da filtração em areia e carvão ativado.

PARÂMETRO ANALÍTICO	RESULTADOS			
	P1	P2	P3	P4
Temperatura (°C)	26,4	25,9	25,6	25,7
pH (-)	9,9	5,8	6,0	6,1
DQO (mg/L)	389,5	245	110	33
Condutividade(uS/cm)	190	196	187	166
Sólidos Totais (mg/L)	1800	1400	1002	792,7
Sólidos Fixos (mg/L)	1000	920	888	769,2
Sólidos Voláteis (mg/L)	800	480	114	23,5
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	0,8	ND	ND	ND
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	350	102	99,5	101,2
Turbidez (uT)	137	28,3	0,9	0,3
Cloretos (mg/L)	207	170	77,3	75,0
Cloro residual (mg/L)	0,5	0,5	0,17	0,06

Onde: P1= água cinza bruta; P2 = efluente coagulação/decantação; P3 = efluente filtro de areia; P4 = efluente filtro de carvão ativado; ND = Não detectado.

Observando os valores do efluente após a filtração em filtro de areia e do efluente após a filtração em filtro de carvão ativado comercial, é possível obter a eficiência de remoção de cada parâmetro. A Figura 4 ilustra a eficiência do carvão ativo comercial.

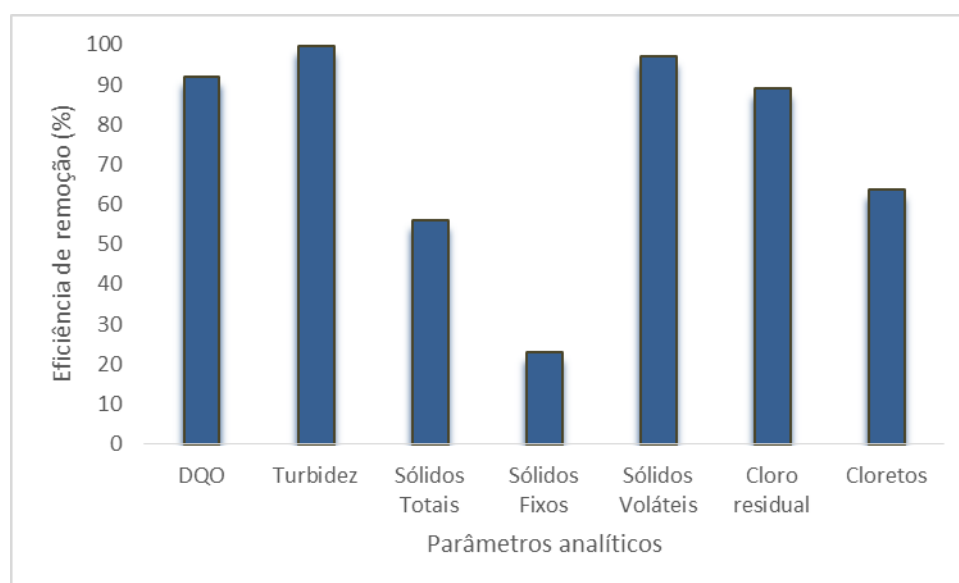


Figura 4 – Eficiência do carvão ativado comercial

Os parâmetros que obtiveram maior percentual de remoção foram: turbidez, sólidos voláteis, DQO e cloro residual com 99, 97, 92 e 89 % respectivamente. Os parâmetros que registraram menores percentuais de remoção foram: sólidos fixos, sólidos totais e cloretos, com 23, 56 e 63,7 % respectivamente, já que estas variáveis têm uma relação direta com o conteúdo de sais inorgânicos presentes na amostra, e que dificilmente são retidos nos poros do carvão ativado.

O pH da água cinza bruta após corrigido foi de 6,6 e após o tratamento químico baixou para 6,1, se situando em torno da neutralidade e temperatura se manteve constante nos 25 °C.

O reúso de águas cinza, deve ser utilizado para fins que não exijam qualidade de água potável (NBR13969/1997). À vista disto, a norma citada anteriormente define classes e parâmetros para o efluente de acordo com o reúso previsto. Assim, de acordo com as classes e parâmetros para esgoto a partir do reúso previsto, definidos pela referida norma, o efluente final do sistema aqui estudado foi classificado como de classe 3, podendo ser utilizado no reúso de descargas dos vasos sanitários. De acordo com Mohamed (2011), a utilização de água cinza bruta em descargas sanitárias ou na irrigação de jardins é uma prática comum em muitos países, apesar do aspecto relativamente desagradável do reúso de águas.

4. Conclusões

O tratamento de água cinza vinda de lavanderia com a utilização de sistema de coagulação/decantação seguido de filtro de areia e filtro de carvão ativado comercial, se mostrou eficiente, já que foi capaz de remover a turbidez em valor percentual acima de 95%. Outro fato analisado foi a eficiência do carvão ativado comercial, que foi capaz de remover sólidos voláteis, turbidez, cloro residual e DQO acima de 60%. Além disso, uma observação relevante é sobre a remoção do mau cheiro que apresentava a água cinza coletada, sendo esse odor causado pela matéria orgânica que é apontada pelo parâmetro DQO, que teve uma remoção de 70% pelo carvão ativado comercial. O tratamento de água cinza adotado nessa pesquisa, junto à fonte geradora para uso local, apresenta grandes vantagens do ponto de vista energético ao evitar longos transportes para condução a uma unidade de tratamento para posterior retorno aos pontos de sua utilização. O sistema aqui proposto é de fácil operação e manutenção, podendo ser confeccionado sem grandes dificuldades e custos.

Referências

- ABEDIN, S. B.; RAKIB, Z. B.** Generation and Quality Analysis fo Greywater at Dhaka City. *Environmental Research, Engineering and Management*, v. 64, n. 2, p. 29-41, 2013.
- ABNT**, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) *NBR 13969: Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação*, Rio de Janeiro.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA)**. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed., Washington, DC, 2005.
- ANA**, Agência Nacional de Águas (2005) *Conservação e reúso de água em edificações*, Prol Editora Gráfica, São Paulo.
- ANGELAKIS, A. N.; SNYDER, S. A.** Wastewater treatment and reuse: past, present, and future. *Water*, v. 7, 2015. DOI:10.3390/w7094887.
- Metcalf & Eddy (2003)**. *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse*. 4 ed. New York: McGraw Hill.

MOHAMED, W. A. Grey Water Recycling & Reuse. *Egyptian-German Private Sector Development Programme (PSDP)*, Cairo-Egypt, 2011.

Rampelotto, G. (2014). *Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reúso doméstico, Dissertação (Mestrado)*, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 117 pp.

REBÊLO, M. M. P. S. (2011). *Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas*, Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, 113 pp.

RODRIGUES, C. R. (2019). *Degradação térmica da casca de arroz e utilização do carvão obtido no processo para polimento de águas cinzas*, Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, 97 pp.

ROSALINO, M. R. R. (2011). *Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano*, Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, 65 pp.