



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

CARLOS ANTONIO FIGUEIREDO JUNIOR

**TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS ATRAVÉS DO PROCESSO DE
COAGULAÇÃO/DECANTAÇÃO/FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO**

Palmas

2019

CARLOS ANTONIO FIGUEIREDO JUNIOR

**TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS ATRAVÉS DO PROCESSO DE
COAGULAÇÃO/DECANTAÇÃO/FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO**

Pré-projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas.

Orientador: Prof. Marcelo Mendes Pedroza

Palmas

2019

Figueiredo, Carlos Antonio Junior

TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS ATRAVÉS DO
PROCESSO DE
COAGULAÇÃO/DECANTAÇÃO/FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO –
Palmas, 2019. 36 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil do curso) – Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas, 2019.

Orientador: Prof. Marcelo Mendes Pedroza

1. Água cinza 2. Tratamento químico I. TRATAMENTO DE
ÁGUAS CINZAS ATRAVÉS DO PROCESSO DE
COAGULAÇÃO/DECANTAÇÃO/FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

CARLOS ANTONIO FIGUEIREDO JUNIOR

TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS ATRAVÉS DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/DECANTAÇÃO/FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do curso de
Engenharia Civil Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Prof. Marcelo Mendes Pedroza
Presidente/Orientadora

Prof. Me Elaine da Cunha Silva Paz
Avaliador 1

Prof. Me Paulo Ricardo Silva Machado
Avaliador 2

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela dádiva da vida, por sempre me guiar em minhas caminhadas e por tudo que conquistei até hoje. Sem sua proteção e amor, certamente não teria chegado onde estou e nem vencido todos os obstáculos enfrentados.

Aos meus pais Carlos Antônio e Maria Cristina, por todo apoio e amor que recebi durante toda minha vida, por me encorajarem sempre a seguir meus sonhos e por me manter forte mesmo nas maiores dificuldades. Sem vocês eu não estaria completando meu sonho, são minha base e meu maior exemplo.

À minha irmã e aos meus avós por todo amor dirigido a mim e por toda confiança depositada em minhas ações. Sem a ajuda e afeto de vocês minha caminhada não teria sentido, minha vitória também é de vocês.

A todos meus familiares por sempre acreditarem em mim e por toda torcida para que meus objetivos fossem alcançados.

Aos meus amigos que mesmo de longe, sempre mantiveram contato e acreditaram em mim, fornecendo apoio. Às amigas que construí em Palmas também, por tornar essa caminhada mais divertida e pelo suporte que oferecido a mim no dia a dia.

Ao meu orientador Marcelo, por sempre acreditar no meu potencial e por toda dedicação exercida para o sucesso deste trabalho. Por todo incentivo fornecido a mim e por me indicar o caminho certo nas muitas vezes em que só existiam dúvidas.

Ao Instituto Federal do Tocantins e ao corpo docente da Engenharia Civil, por me propiciar a oportunidade de cursar um ensino superior de qualidade e a realização de um sonho.

RESUMO

FIGUEIREDO, Carlos Antonio. **TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS ATRAVÉS DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/DECANTAÇÃO/FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO**. 2019. 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2019.

A discrepância entre o consumo pressuroso dos recursos hídricos naturais e a sua disponibilidade na natureza pode oferecer riscos ao suprimento de água para as gerações futuras. Os problemas de escassez de água já são perceptíveis hoje em dia, e a tendência a médio prazo é que esses problemas se agravem, fazendo com que seja interessante a busca por novas fontes de abastecimento de água de modo a suprir as demandas hídricas atuais e futuras. O reúso de águas cinzas tem se mostrado uma alternativa interessante para contornar o problema de escassez de água devido ao volume de águas cinzas produzidos nas residências domésticas. O tratamento desse tipo de efluente acarretaria uma preservação de água potável, pois a água cinza pode ser utilizada para atendimento de necessidades que não necessitam de um padrão de potabilidade. Para tratar o efluente vindo de máquina de lavar foi utilizado o processo de Coagulação/Decantação/Filtração/Adsorção. O processo foi dividido em duas etapas sendo a primeira feita no aparelho Jar-Test que consiste na coagulação e decantação do efluente, e a segunda etapa foi realizada em um sistema de filtros interligados de areia e carvão ativado comercial. Por fim, com a análise dos parâmetros do efluente do tratamento e observando a NBR 13969/1997 foi possível verificar que esse efluente poderia ser reutilizado para descarga de vasos sanitários.

Palavras-chave: Escassez de água. Reúso. Águas cinzas. Tratamento.

ABSTRACT

FIGUEIREDO, Carlos Antonio. **GRAY WATER TREATMENT THROUGH THE COAGULATION / DECANTATION / FILTRATION / ADSORPTION PROCESS.** 2019.35 p. Undergraduate thesis – Civil Engineering – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2019.

The discrepancy between accelerated consumption of natural water resources and their availability in the nature, may offer risks to future water supplies. Water scarcity problems are already noticeable today, and the medium-term tendency is for these problems worsen, making it interesting to seek for new sources of water supply to meet current and future water demands. Graywater's reuse has proved to be an interesting alternative to circumvent the problem of water scarcity due to the volume of graywater produced in domestic residences. The treatment of this type of effluent would lead to a preservation of drinking water, as graywater can be used to meet needs that do not require a potability standard. To treat the effluent coming from the washing machine, the Coagulation/Decantation/Filtration/Adsorption process was used. The process was divided into two stages, the first one being performed in the Jar-Test apparatus, which consists of coagulation and decantation of the effluent, and the second one was performed in a system of interconnected commercial sand and activated carbon filters. Finally, by analyzing the effluent parameters of the treatment and observing the NBR 13969/1997 it was possible to verify that this effluent could be reused for flushing toilets.

Keywords: Water scarcity. Reuse. Graywaters. Treatment.

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Classificação, parâmetros e reúso previstos para esgoto.....	21
Tabela 7.1 - Caracterização da água cinza bruta.....	28
Tabela 7.2 - Caracterização da água cinza após coagulação/floculação/decantação com correção de pH.....	29
Tabela 7.3 - Resultados obtidos durante o polimento de águas cinzas.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 - Tratamentos de águas cinzas.....	16
Figura 5.2 - Reúso planejado.....	18
Figura 5.3 - Reúso indireto não planejado.....	19
Figura 5.4 - Reúso indireto planejado.....	19
Figura 5.5 - Reciclagem de água.....	20
Figura 6.1 - Desenho esquemático das atividades a serem desenvolvidas.....	22
Figura 6.2 - Pia de lavar roupa e recipiente de 18L.....	23
Figura 6.3 - Métodos analíticos aplicados na caracterização físico-química de águas cinzas e efluente.....	24
Figura 6.4 - Desenho esquemático das etapas do tratamento de águas cinza.....	25
Figura 6.5 - Jar Test.....	26
Figura 6.6 - Turbidez visível nas amostras após realização do Jar -Test.....	26
Figura 6.7 - Sistema de filtração de águas cinzas.....	27
Figura 7.1 - Turbidez x Sulfato de Alumínio.....	29
Figura 7.2 – pH x Sulfato de Alumínio	30
Figura 7.3 - Eficiência do tratamento químico para a turbidez.....	32
Figura 7.4 - Eficiência do carvão ativado comercial.....	33

LISTA DE SIGLAS

TO	Tocantins
ANA	Agência Nacional de Águas
LARSEN	Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética Tocantins
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
IFTO	Instituto Federal do Tocantins

SUMÁRIO

1 1 INTRODUÇÃO	12
2 PROBLEMA DE PESQUISA	13
3 JUSTIFICATIVA.....	13
4 OBJETIVOS.....	14
4.1 Objetivo Geral.....	14
4.2 Objetivos Específicos	14
5 Revisão de Literatura	14
5.1 Águas cinzas	14
5.2 Tratamento de Águas cinzas	15
5.3 Tratamento químico	16
5.3.1 Coagulação	16
5.3.2 Floculação	16
5.3.3 Decantação.....	16
5.3.4 Filtração	16
5.3.5 Adsorção	17
5.4 Tipos de reúso	17
5.5 Norma técnica e regulamentação referente ao reúso de águas cinzas.....	19
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
6.1 Local da pesquisa	21
6.2 Obtenção da amostra.....	21
6.3 Caracterização da amostra e do efluente.....	22
6.4 Realização do tratamento de águas cinzas através do processo Coagulação/Decantação/Filtração/Adsorção.....	23
6.4.1 Ensaio de Coagulação/Floculação/Decantação	24
6.4.2 Tratamento do efluente do sistema de coagulação/floculação em filtro de areia e carvão ativado	25

7 Resultados e discussões.....	27
7.1 Caracterização da água cinza bruta	27
7.2 Teste de Coagulação/Floculação/Decantação com Sulfato de Alumínio	27
7.3 Polimento de águas cinzas com filtro de areia e carvão ativado comercial	29
8 CONCLUSÕES	33
9 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	33
REFERÊNCIAS.....	34

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 (PENA, 2019).

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 Finley (2008), 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 residuais. A reutilização de águas cinzas é uma dessas estratégias, e sua utilidade é satisfazer as necessidades de água não potável deve ser minuciosamente investigada.

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 a *Association for Rainwater Harvesting and Water Utilisation* (2001), 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.

Este projeto visa apresentar o tratamento químico de águas cinzas provenientes de máquina de lavar roupa, além de dar alternativas para seu reúso de acordo com a NBR 13969/1997.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

Nos últimos anos, o Brasil vem vivenciando a escassez de água em grandes centros urbanos, tais quais possuem uma densa taxa demográfica. Comumente essas cidades apresentam um regime de chuva superior à regiões áridas do país que convivem com a escassez de água constantemente, podendo ser citada como exemplo a cidade de São Paulo que, desde o ano de 2014, vem passando por uma crise hídrica. Normalmente, nessas regiões que vivenciam tal problema é necessário adotar políticas de racionamento de água da rede pública para a população, do contrário, a população sofrerá as consequências chegando a ficar sem água até mesmo para exercer atividades básicas para sua sobrevivência.

3 JUSTIFICATIVA

Considerando as situações apresentadas no item anterior é notória a necessidade de inovações tecnológicas que melhor aproveitem os recursos naturais. Uma alternativa para mitigar a crise hídrica é o reúso. Dentre os diversos tipos de reúso, o mais aplicado no setor urbano é o de águas cinzas. Sendo assim, o reúso reduz a demanda sobre os mananciais de água por conta da substituição da água potável por uma água de qualidade ínfima. Em vista disso, uma quantidade significativa de água potável pode ser poupada pelo reúso quando se utiliza água de qualidade inferior para atendimento das finalidades que podem dispensar desse recurso dentro dos padrões de potabilidade (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, 2019).

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Realizar a remoção dos poluentes de águas cinzas através do processo Coagulação/Decantação/Filtração/Adsorção visando um possível reúso do efluente do sistema de acordo com a NBR 13969/1997.

4.2 Objetivos Específicos

- Coletar amostra de água cinza in loco;
- Caracterizar a amostra coletada;
- Efetuar o tratamento de águas cinzas através do processo Coagulação/Decantação/Filtração/Adsorção;
- Caracterizar o efluente;
- Verificar a alternativa de reúso de águas cinzas observando a NBR 13969/1997.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Águas cinzas

Segundo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2016) as águas cinzas são águas já utilizadas em banheiro, máquinas de lavar, tanques, banho e lavatório de banheiro, não incluindo efluentes de pia de cozinha e bacia sanitária.

Entretanto, Henze & Ledin (2001) fracionam as águas cinzas em duas categorias: águas cinzas claras e águas cinzas escuras. As águas cinzas claras são águas residuais provenientes do chuveiro, do lavatório e da máquina de lavar roupas. Já as águas cinzas escuras apresentam em sua mistura as águas provenientes da pia da cozinha.

As definições de águas cinzas variam em diferentes países. Geralmente, a água residual oriunda de banheiro é excluída, devido às altas cargas fecais e urina, enquanto as águas residuais provenientes de chuveiros e lavatórios de mão estão na definição de águas cinzas.

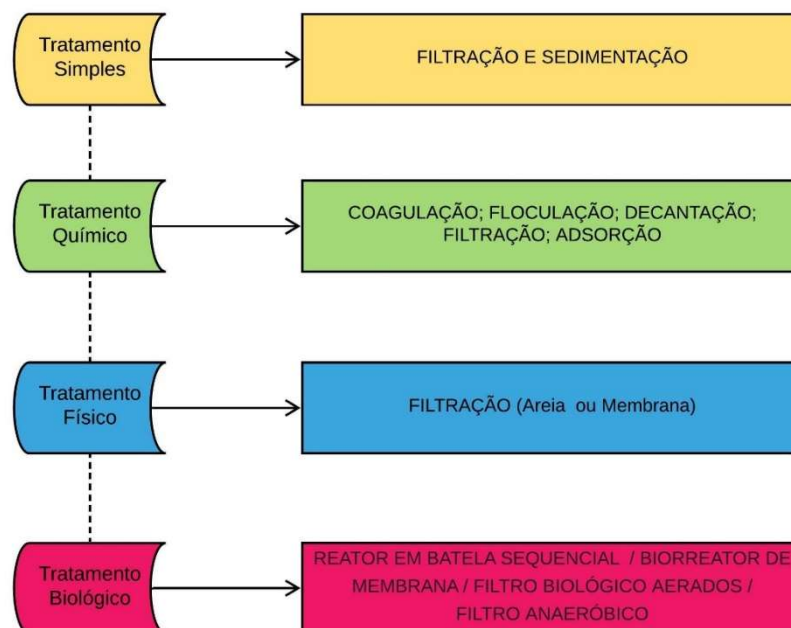
No que diz respeito às águas residuais geradas pelas máquinas de lavar roupa, máquinas de lavar louça e lava-louças, as definições de águas cinzas podem variar dependendo das jurisdições. No entanto, em alguns países a água cinza da cozinha é excluída devido ao impacto negativo na qualidade da água cinza. (WEINGÄRTNER, 2013; GLENN, 2012; ALKHABTIB, 2008).

5.2 Tratamento de Águas cinzas

As investigações sobre o tratamento e reciclagem de águas cinzas foram relatadas desde os anos 1970. As primeiras tecnologias estudadas foram principalmente opções de tratamento físico. Mais tarde as tecnologias de base biológica e por fim as de base química (Pidou & Stephenson & Jefferson & Paul Jeffrey, 2007).

Esses tratamentos serão previamente apresentados na Figura 5.1

Figura 5.1: Tratamentos de águas cinzas.



Fonte: Autor (2019).

5.3 Tratamento químico

5.3.1 Coagulação

A coagulação é a neutralização da carga que envolve as partículas suspensas e dissolvidas, com o auxílio de coagulantes adicionados à água. Como Silva (2008) relata, a coagulação ocorre por dois fenômenos, sendo eles:

a) químico: ocorre a reação entre o coagulante e a água formando espécies hidrolisadas com carga positiva;

b) físico: transporte das partículas com carga positiva para que entrem em contato com as outras substâncias presentes na água.

5.3.2 Floculação

A ABNT (1992) determina que o processo de floculação promova a agregação das partículas inicialmente produzidas na coagulação, dessa maneira o período de detenção e o gradiente de velocidade devem ser determinados por meio de ensaio prévios com a água a ser tratada.

5.3.3 Decantação

A decantação é uma etapa do tratamento de natureza física, responsável pela separação das partículas sólidas suspensas na água. Possui funcionamento por meio da ação da força da gravidade, ou seja, as partículas que possuem densidade superior à da água vão se depositando no fundo do reservatório em que estão (RICHTER, 2009).

5.3.4 Filtração

De acordo com Libânio (2010), a filtração é um procedimento que possui como principal função a redução da cor e turbidez da água através da remoção de partículas. É uma das etapas mais importantes no processo de tratamento da água, pois qualquer falha ocorrida nos processos (como o de decantação) anteriores são corrigidos nela.

Segundo Richter (2009), a filtração é um processo físico-químico que separa as partículas sólidas presentes em suspensão na água. Sua ação ocorre por meio da passagem da água em um material poroso, que geralmente é a areia. O desempenho final do seu filtro é influenciado por diversos fatores, tais como o tipo de material empregado e o tamanho dos grãos do meio poroso.

5.3.5 Adsorção

A adsorção é uma operação de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos.

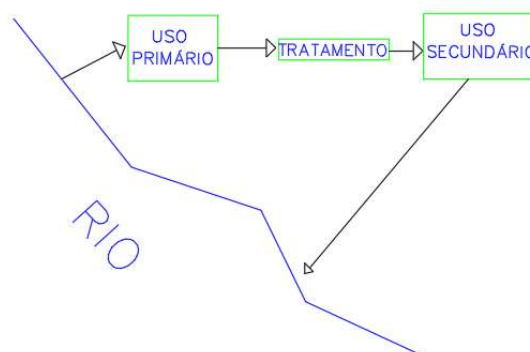
Segundo Legner (2017), o carvão ativado é um material de origem mineral ou vegetal, cuja sua estrutura compõe uma grande quantidade de poros de diversos tamanhos, o que lhe confere uma elevadíssima área superficial interna e consequentemente alta capacidade de retenção de contaminantes dissolvidos em líquidos ou gases através do processo de adsorção.

5.4 Tipos de reúso

Segundo Lavrador (1987), o reúso da água consiste no aproveitamento de água previamente utilizada, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos. E ainda ressalta que o reúso pode-se classificar da seguinte maneira:

- **Reúso planejado:** sucede quando o reúso da água é resultado de uma ação humana consciente, a partir de uma descarga de efluentes. O reúso planejado das águas presume a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo uso objetivado. Pode-se observá-lo na Figura 5.2.

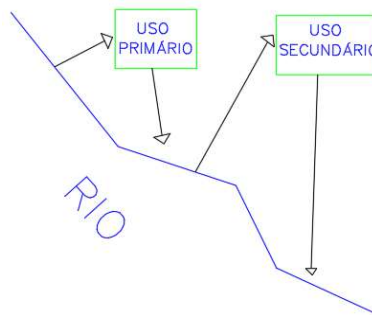
Figura 5.2: Reúso planejado.



Fonte: Autor (2019).

- **Reúso Indireto não Planejado:** sucede quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. O reúso indireto não planejado pode ser observado na Figura 5.3.

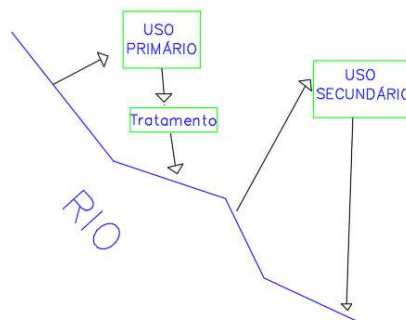
Figura 5.3: Reúso indireto não planejado.



Fonte: Autor (2019).

- **Reúso Indireto Planejado:** sucede quando os efluentes após convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada em corpos de águas superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. O reúso indireto planejado pode ser observado na Figura 5.4.

Figura 5.4: Reúso indireto planejado.

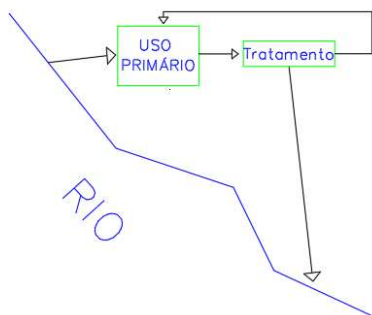


Fonte: Autor (2019).

- **Reciclagem de Água:** é o reúso interno da água em um determinado processo, antes de sua descarga em um sistema

geral de tratamento ou outro local de disposição. A reciclagem de água pode ser observada na Figura 5.5.

Figura 5.5: Reciclagem de água.



Fonte: Autor (2019).

5.5 Norma técnica e regulamentação referente ao reúso de águas cinzas

A NBR 13969/1997 descreve no item 5.6 o reúso local, para esgoto de origem essencialmente doméstica ou que possua características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que não exijam qualidade de água potável, porém sanitariamente seguros, como: irrigação de jardins, lavagem de pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens etc.

De acordo com Rodrigues (2019) a norma citada define classes e parâmetros para o esgoto de acordo com o reúso previsto, estas definições estão descritas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Classificação, parâmetros e reúso previstos para esgoto.

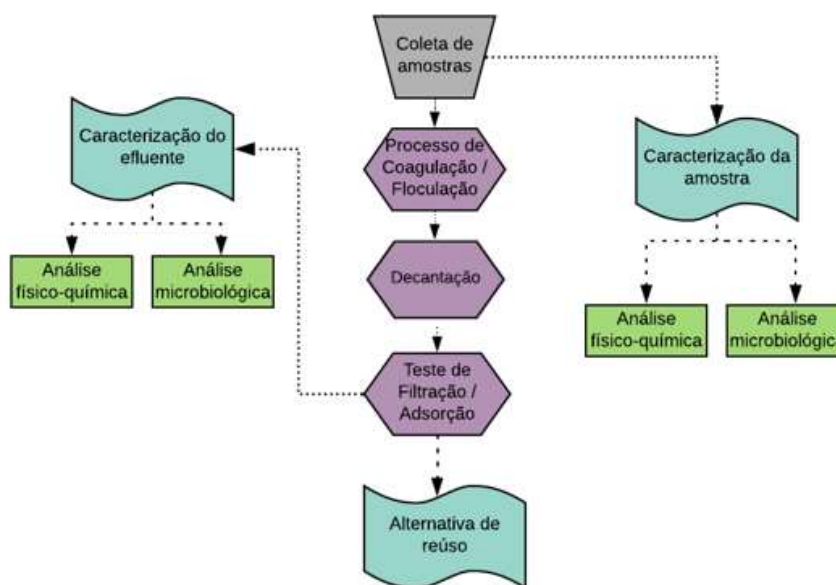
Classes	Uso previsto	Cloro residual (mg/L)	Coliformes fecais (NMP/100 mL)	pH	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Turbidez (UNT)	Oxigênio dissolvido (mg/L)
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água.	Entre 0,5 e 1,5	Inferior a 200	Entre 6,0 e 8,0	Inferior a 200	Inferior a 5	--
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Superior a 0,5	Inferior a 500	--	--	Inferior a 5	--
Classe 3	Reúso nas descargas dos vasos sanitários		Inferior a 500	--	--	Inferior a 10	--
Classe 4	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.		Inferior a 5000	--	--	--	Superior a 2,0

Fonte: Rodrigues (2019).

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo aborda a metodologia utilizada nesta pesquisa. O diagrama apresentado na Figura 6.1 mostra as principais atividades experimentais desenvolvidas.

Figura 6.1: Desenho esquemático das atividades desenvolvidas.



Fonte: Autor (2019).

6.1 Local da pesquisa

Essa pesquisa foi desenvolvida nas dependências do Instituto Federal do Tocantins (IFTO) – Campus Palmas, juntamente com Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética Tocantins (LARSEN) – Campus Palmas.

6.2 Obtenção da amostra

As amostras de águas cinzas foram coletadas na lavanderia in loco através de um recipiente de 18 litros. Essa coleta foi realizada de tal forma que o recipiente foi posicionado abaixo da pia de lavar roupa durante o período de lavagem.

O local da coleta e o recipiente podem ser observados na Figura 6.2.

Figura 6.2: Pia de lavar roupa e recipiente de 18L.



Fonte: Autor (2019).

6.3 Caracterização da amostra e do efluente

Nessas etapas foram realizados métodos analíticos com a finalidade de caracterizar a amostra e o efluente, podendo ser observado na Figura 6.3.

Figura 6.3: Métodos analíticos aplicados na caracterização físico-química de águas cinzas e efluente.



Fonte: Autor (2019).

6.4 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.

A Figura 6.4 ilustra um esquema das etapas do tratamento de águas cinza realizado nessa pesquisa.

Figura 6.4: Desenho esquemático das etapas do tratamento de águas cinza.



Fonte: Rodrigues (2019).

6.4.1 Ensaios de Coagulação/Floculação/Decantação

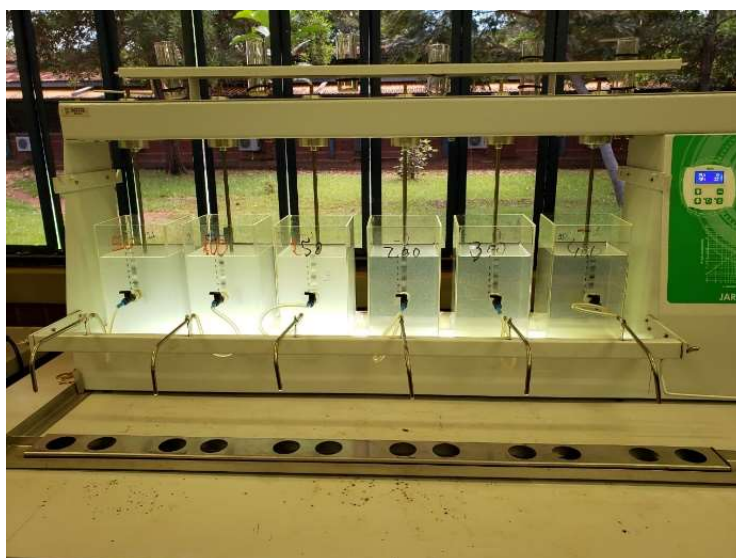
Os ensaios de coagulação/floculação/decantação foram realizados no aparelho “*Jar Test*”, Marca Ethiktechnology, modelo 218-3LDB, apresentado na Figura 6.5. Antes de iniciar o teste houve um ajuste na correção do pH da água cinza com solução de ácido clorídrico a 1 mol/L, pois o coagulante não tem um 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 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.

Figura 6.5: Jar Test.



Fonte: Autor (2019).

Figura 6.6: Turbidez visível nas amostras após realização do Jar Test.



Fonte: Autor (2019).

6.4.2 Tratamento do efluente do sistema de coagulação/floculação em filtro de areia e carvão ativado

Para realização dessa etapa foi empregado um sistema de filtração de águas cinzas produzidas no LARSEN – IFTO Campus Palmas. Portanto, o sistema consiste em 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 será operado com a vazão de 10 mL/min.

Esse sistema pode ser observado na Figura 6.7.

Figura 6.7: Sistema de filtração de águas cinzas.



Fonte: Rodrigues (2019).

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Caracterização da água cinza bruta

A Tabela 7.1 apresenta as características da água cinza bruta coletada na residência do autor. Os parâmetros de pH, turbidez são elevados, indicando a necessidade de tratamento.

Tabela 7.1: Caracterização da água cinza bruta

Variável analítica	Águas cinzas bruta
pH(-)	9,9
Turbidez (uT)	137
Condutividade (uS/cm)	1,98
Temperatura (°C)	26,40

Fonte: Autor (2019).

7.2 Teste de Coagulação/Floculação/Decantação com Sulfato de Alumínio

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

A Tabela 7.2 apresenta as características da água cinza com pH ajustado empregada no ensaio de coagulação/floculação/decantação em Jar-Test.

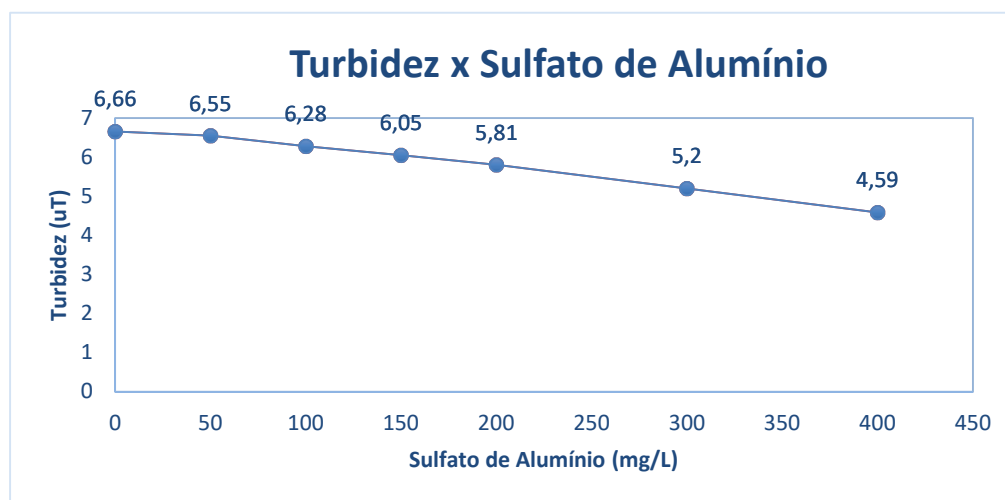
Tabela 7.2: Caracterização da água cinza após coagulação/floculação/decantação com correção de pH.

Dosagem (mg/L)	Volume (mL)	Turbidez	pH	Condutividade (uS/cm)	Temperatura (°C)
50	10	137	6,55	198	25,7
100	20	150	6,28	200	25,7
150	30	178	6,05	197	26,1
200	40	28,3	5,81	196	25,9
300	60	32,6	5,2	196	25,9
400	80	26,7	4,59	199	25,7

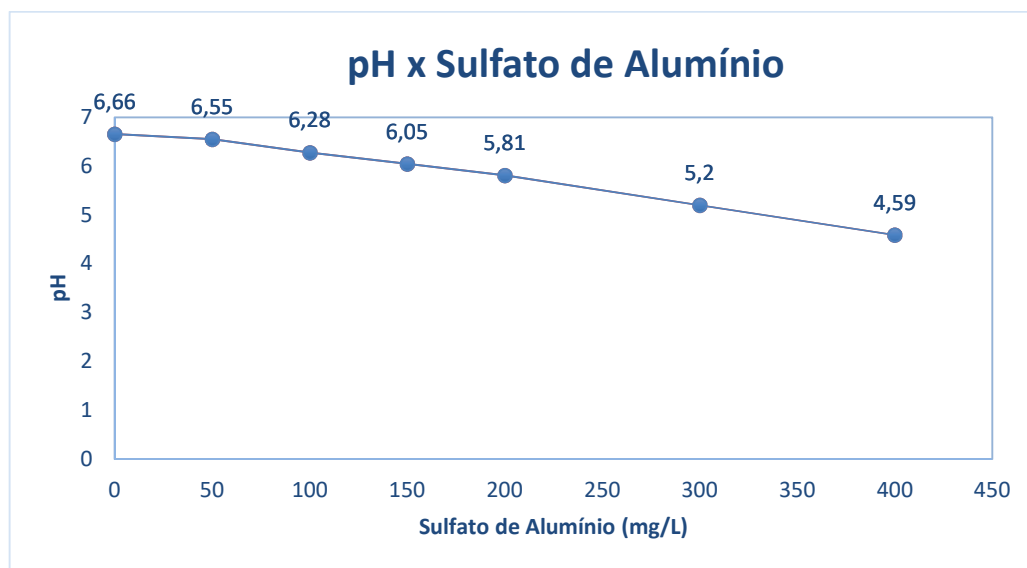
Fonte: Autor (2019).

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 ácida vai ficando a amostra. É possível observar o efeito do coagulante sobre amostras nas Figuras 7.1 e 7.2.

Figura 7.1: Turbidez x Sulfato de Alumínio.



Fonte: Autor (2019).

Figura 7.2: pH x Sulfato de Alumínio.

Fonte: Autor (2019).

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

Para dar continuação ao experimento utilizou-se a amostra de dosagem de 200 mg/L do coagulante, por apresentar uma melhor viabilidade econômica e com bom resultado de turbidez e pH.

A Tabela 7.3 apresenta os resultados obtidos durante o processo de polimento de águas cinzas em sistema de filtração por meio do carvão ativado comercial.

Tabela 7.3: Resultados obtidos durante o polimento de águas cinzas

PARÂMETRO ANALÍTICO	RESULTADOS	
	1	2
Temperatura (°C)	25,6	25,7
pH (-)	6,0	6,1
DQO (mg/L)	110	33
Condutividade(uS/cm)	187	166
Sólidos Totais (mg/L)	1002	792,7
Sólidos Fixos (mg/L)	888,0	769,2
Sólidos Voláteis (mg/L)	114,0	23,5
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	ND	ND
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	99,5	101,2
Turbidez (uT)	0,9	0,3
Cloretos (mg/L)	77,3	75,0
Cloro residual (mg/L)	0,17	0.06

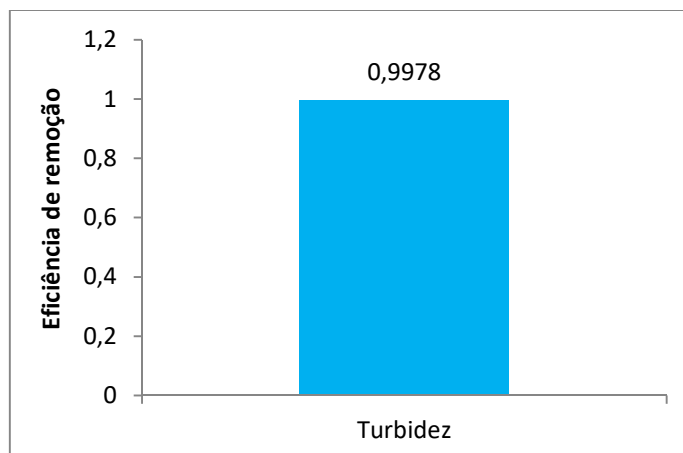
Onde: 1 = Efluente filtro de areia; 2 = Efluente filtro de carvão; ND = Não detectado

Fonte: Autor (2019).

Ao observar os valores da turbidez de água cinza com correção de pH e do efluente após a filtragem em filtro de carvão ativado comercial, é possível obter a eficiência de remoção. A Figura 7.3 ilustra a eficiência do tratamento químico para a turbidez.

Também, é possível ao observar os valores do efluente após a filtragem em filtro de areia e do efluente após a filtragem em filtro de carvão ativado comercial, é possível obter a eficiência de remoção de cada parâmetro. A Figura 7.4 ilustra a eficiência do carvão ativo comercial.

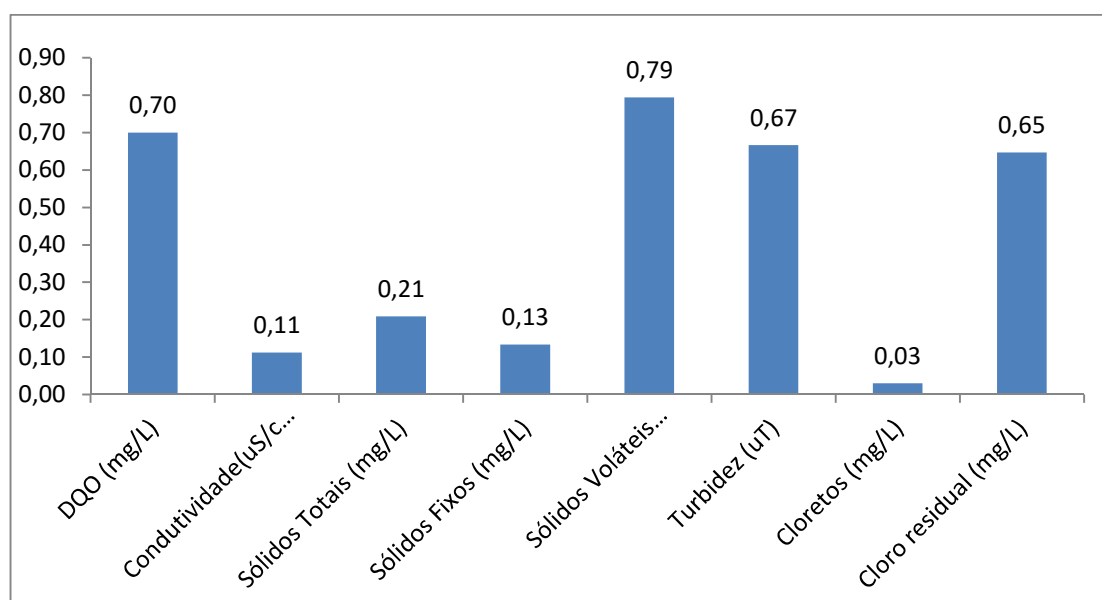
. **Figura 7.3:** Eficiência do tratamento químico para a turbidez.



Fonte: Autor (2019)

Considerando que a turbidez é um parâmetro operacional significativo, pois reflete a eficiência dos processos de separação sólido-líquido e que o menor valor de turbidez, indica maior efetividade das barreiras do tratamento Fernandes (2010), o tratamento químico de águas cinza se mostrou eficiente, já que obteve percentual de remoção de turbidez acima de 95%.

Figura 7.4: Eficiência do carvão ativado comercial.



Fonte: Autor (2019)

Os parâmetros que obtiveram maior percentual de remoção foram: sólidos voláteis, DQO, turbidez e cloro residual com 79, 70, 67 e 65 % respectivamente. Os

parâmetros que registraram menores percentuais de remoção foram: cloretos, condutividade, sólidos fixos e sólidos totais, com 3, 11, 13 e 21% 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 o Quadro 4.1 (pág. 33), o efluente que teve o tratamento químico, foi classificado como de classe 3, podendo ser utilizado no reúso de descargas dos vasos sanitários. É suma importância ressaltar que o parâmetro coliforme fecal não foi analisado nesta pesquisa, como o efluente tratado foi vindo de lavanderia o coliforme fecal foi considerado baixo.

8 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.

9 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados e conclusões obtidas nessa pesquisa, recomenda-se:

- Verificar a eficiência do tratamento químico em água cinza proveniente de fabricação de tecido.
- Realizar análises não feitas neste trabalho.
- Verificar a eficiência de outro adsorvente no tratamento químico de água cinza.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); Federação DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE São PAULO (FIESP); SINDICATO DA Construção DE São PAULO (SINDUSCON-SP). **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: **Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997. P. 21 – 23.

Alkhatib, R. Y. **Investigating the Efficacy of Graywater Use at the Household Level**. PhD. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, CO, 2008.

CETESB. **Reúso de água**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 04/06/2019.

FINLEY, Sara. **Reuse of Domestic Greywater for the Irrigation of Food Crops**. 2008. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, 2008.

FIORI, SIMONE; FERNANDES, V.M.C; PIZZO, H. **Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações**. Ambiente Construído, v. 6, p. 19–30, 2006.

GLENN, Robert Triumph. **Department of Civil and Environmental Engineering**. 2012. 60 f. Tese (Doutorado) - Curso de Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, 2012

HENZE, M.; LEDIN, A. **Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters**. New York: IWA Published, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **MANUAL PARA APROVEITAMENTO ÁGUAS CINZA DO BANHO**. [s.l: s.n.]

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering – **Treatment and Reuse**. 4 ed. New York: McGraw Hill, 2003

PENA, Rodolfo F. Alves. **"Distribuição da água no mundo"**; Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilescola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-mundo.htm>>. Acesso em 29 de maio de 2019.

RICHTER, Carlos A.. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Hemfibra, 2009.

RODRIGUES, Camila Ribeiro. **DEGRADAÇÃO TÉRMICA DA CASCA DE ARROZ E UTILIZAÇÃO DO CARVÃO OBTIDO NO PROCESSO PARA POLIMENTO DE ÁGUAS CINZAS**. 2019. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

WEINGÄRTNER, Dorothea Elisabeth. **Greywater Characteristics, Biodegradability and Reuse of some Greywaters**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engineering, Instituto de Tecnologia de Karlsruhe, Karlsruhe, 2013.