



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

RUBENIA DE OLIVEIRA COSTA

**TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA VISANDO O  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AGRICULTURA  
FAMILIAR**

CAMPINA GRANDE-PB  
2021

RUBENIA DE OLIVEIRA COSTA

**TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA VISANDO O  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AGRICULTURA  
FAMILIAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial necessário para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Processos.

Orientadores: Prof. Dr. José Jefferson da Silva Nascimento, D.Sc.  
Prof. Dr. Ricardo de Andrade Medronho, Ph.D.

CAMPINA GRANDE-PB  
2021

C837t

Costa, Rubenia de Oliveira.

Tratamento de água cinza visando o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar / Rubenia de Oliveira Costa. - Campina Grande, 2021.  
85 f. : Il. Color

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação: Prof. Dr. José Jefferson da Silva Nascimento, Prof. Dr. Ricardo de Andrade Medronho".

Referências.

1. Reuso de Água. 2. Sulfato de Alumínio. 3. Moringa Oleifera.  
4. Coagulante Natural. 5. Irrigação. I. Nascimento, José Jefferson da Silva. II. Medronho, Ricardo de Andrade. III. Título.

CDU 628.179.2(043)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO DE RUBENIA DE OLIVEIRA COSTA APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

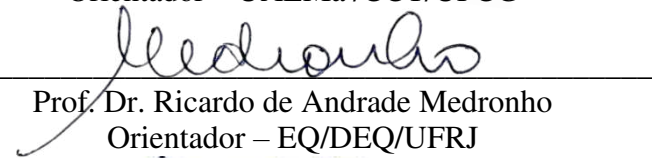
Tese de Doutorado aprovada em 31 de março de 2021.

**Banca Examinadora**



---

Prof. Dr. José Jefferson da Silva Nascimento  
Orientador – UAEMa /CCT/UFCG



---

Prof. Dr. Ricardo de Andrade Medronho  
Orientador – EQ/DEQ/UFRJ



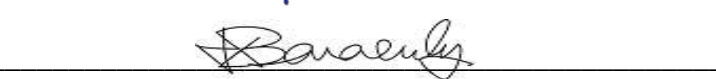
---

Profa. Dra. Aline Costa Ferreira  
Examinadora Interna – UAGRA/CCTA/UFCG



---

Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias  
Examinador – UACTA/CCTA/UFCG



---

Prof. Dr. José Geraldo de Vasconcellos Baracuh  
Examinador – UAEA/CTR/ UFCG



---

Prof. Dr. José Sales Mariano da Rocha  
Examinador – DER/CCR/UFSM



---

Prof. Dr. Patrício Borges Maracajá  
Examinador – UACC/CCJS/UFCG



---

Profa. Dra. Soahd Arruda Rached Farias  
Examinadora – UAEA/CTR/ UFCG



---

Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque  
Examinador – UACTA/CCTA/UFCG

## AGRADECIMENTOS

Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza vai mais longe, se aqui eu cheguei foi porque contei com o apoio de muitas pessoas especiais que fizeram do meu sonho, hoje realidade!

Agradeço primeiramente a Deus, por essa conquista, pela realização desse sonho, por sua graça e misericórdia, por ter segurado em minha mão e me guiado até aqui, por ter me sustentado nos momentos difíceis e por sua proteção em minha vida. Deus é bom o tempo todo, e o tempo todo Deus é bom.

Aos meus pais, Maria de Lourdes Oliveira e Robenildo Costa por compartilharem comigo e se alegrarem a cada vitória, por todo amor, incentivo, carinho e por todos os seus ensinamentos.

Ao meu padrasto, Adamastou Pedro pelo apoio e incentivo nos meus estudos, e pela sua grande contribuição em minha base educacional.

A minha avó, Maria das Neves, por todo o seu amor incondicional, por ser meu maior exemplo de força e superação, por tudo o que me ensinou e por sempre ter cuidado de mim como sua filha. Ao meu avô Milton (*in memoriam*), pelo incentivo e por suas palavras de força e coragem, por sempre ter me impulsionado a lutar pelos meus sonhos e por me mostrar que a vida deve ser vivida em sua plenitude.

A minha mãe do coração Kátia Maria, pelo amor, força e incentivo diário para lutar pelos meus sonhos, por todos os conselhos, sempre com suas sábias palavras, agradeço por lutar e vibrar comigo cada conquista, você foi essencial para que eu chegasse aqui.

Ao meu padrinho José Ferreira e a minha tia Joana Darc por terem dividido essa caminhada comigo, pelo amor e cuidado diário, por cada oração e por tudo o que fazem por mim. A tia Edileuza, pelo apoio e incentivo, a minha família, irmãs, irmão, sobrinha e sobrinho, tias e tios, primas e primos pelo apoio e torcida durante esta caminhada.

A minha irmã Alane Ferreira, meu cunhado Bruno Vigolvino e meu sobrinho João Gabriel por todo apoio, carinho, força, companheirismo e irmandade ao longo da minha trajetória, meu Bebel sua alegria foi meu combustível nas horas de tristeza e dificuldade, a realização desse sonho é oferecido a você.

A minha irmã, Lili, por nunca ter soltado a minha mão durante essa caminhada, por todo incentivo, apoio, força e coragem, por ter dividido todas as dificuldades e por ter somado os sorrisos de felicidade. Você fez com que meu sonho se tornasse realidade, sua presença em minha vida foi fundamental para essa conquista. A ti, sou eternamente grata por tudo.

A Josinaldo Medeiros, por tudo, por todo amor, carinho, proteção, apoio, força, incentivo e conselhos, por sua alegria e leveza em minha vida e por dividir os momentos de dificuldades e felicidades.

A Quixote, meu amigo de todas as horas, que com seu jeito único de ser, esteve comigo em todos os momentos dessa caminhada, que cuidou e me protegeu como ninguém.

Aos meus orientadores, pela grande contribuição para a conquista desse sonho, pelo incentivo, coragem, apoio e dedicação, a vocês minha gratidão!

Ao Prof. Baracuhy, por todo apoio, força, fortaleza, orientações, incentivo e sua imensurável contribuição durante todo esse experimento, o senhor fez a pesquisa acontecer, muita obrigada.

Ao Prof. Patrício, que acreditou em mim desde a graduação, segurou em minha mão e desde então está comigo lutando pelos meus sonhos e me incentivando. Obrigada por cada palavra de fortaleza e pelo seu apoio incomparável.

A profa. Aline Ferreira por todo apoio, fortaleza, incentivo e força, muito obrigada pela sua incalculável contribuição nesta caminhada, você é uma pessoa iluminada.

Ao prof. Camilo, nobre amigo, pela amizade, apoio, força e por toda a contribuição nesta caminhada. A Profa Soahd, pela amizade e por todo apoio durante a pesquisa. Ao Prof. Rocha pelo incentivo e contribuição. Ao Prof. Walker pelo apoio, força, amizade e incentivo.

Ao amigo e Prof. Rick pela contribuição essencial nesta pesquisa, por ter dividido os últimos dias de correria e estresse, pela sua paciência e amizade, muito obrigada!!!! Ao amigo, Vitor, pelas suas orientações e contribuição.

Ao amigo, Gilvan, por todo apoio e grande contribuição na montagem do experimento. Ao amigo, Marcelo pelo seu apoio e torcida.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro disponibilizado no início do doutorado.

A prefeitura Municipal de Cabaceiras e em especial a Mary, pela viabilidade e apoio durante a execução do experimento. A comunidade de Ribeira pelo acolhimento, apoio e carinho.

Ao professor e Coordenador da Pós Graduação em Engenharia de Processos Prof. Gilson pela atenção prestada em todo o curso.

Aos professores da Pós Graduação em Engenharia de Processos pelos ensinamentos e força.

A Maria de Fátima por ter me socorrido nos sufocos, pela sua amizade e incentivo.

Aos amigos, Marcelo, Dermeval, Pollyanna, Luíza, Janaína, Sheyla e Viviane pelo apoio, força, incentivo, amizade e parceria ao longo da caminhada. A Dona Cibele pelo apoio, carinho, orações e pela amizade.

Aos amigos que dividiram essa caminhada de perto comigo, Diego, Raniere, Wilson, Gustavo, Jorge, Jean, Elisa, Herllange, Mayara, Maryelli, Thatiana e Soraya pelo apoio, pela mão amiga, por ter me auxiliado nos momentos difíceis e pela felicidade de ter a amizade de vocês.

Aos meus alunos, vocês foram fonte de força e fortaleza nos momentos de dificuldades e tristeza.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente dividiram tantos momentos comigo durante essa caminhada, contribuíram para a realização desta pesquisa e para a concretização deste sonho.

*“Não é digno de saborear o mel, aquele que se afasta  
da colmeia com medo das picadas das abelhas”.*  
*(W. Shakespeare)*

COSTA, Rubenia de Oliveira. **Tratamento de Água Cinza Visando o Desenvolvimento Sustentável da Agricultura Familiar**. 2021. 85 fls. Campina Grande: Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, 2021. Tese (doutorado).

## RESUMO

A agricultura familiar possui grande importância econômica e social vinculada ao abastecimento de alimentos para o mercado interno, para a geração de empregos e para as exportações. Um recurso determinante para o desenvolvimento desta atividade é a água. E temos no reuso de água cinza uma alternativa viável para a produção e o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar. Este trabalho objetivou-se avaliar a eficiência de tratamentos físico, químico e biológico de água cinza gerada em uma lavanderia pública para uso na irrigação, visando ao desenvolvimento sustentável da agricultura familiar. A pesquisa foi realizada com água cinza proveniente da lavanderia pública da comunidade rural de Ribeira, localizada no município de Cabaceiras, estado da Paraíba. O tratamento físico foi realizado por meio de hidrociclone, para os tratamentos químico e biológico utilizou-se respectivamente as concentrações de 1 g/L, 3g/L e 5g/L do coagulante químico sulfato de alumínio e do coagulante biológico *Moringa oleífera*, ambos em pó. O tratamento físico resultou em uma redução de 30% da turbidez e 44 % da Demanda Química de Oxigênio (DQO). O tratamento químico com o sulfato de alumínio reduziu 67% e 48% da turbidez, respectivamente para as concentrações (1g/L e 3 g/L) e a Condutividade Elétrica (CE) aumentou 32%. Houve uma pequena redução de 12% na DQO com a concentração de 5g/L e o pH apresentou-se ácido (4,5-3,8), não recomendado para irrigação agrícola. Já o tratamento biológico com a *Moringa oleífera* reduziu 21% da CE com a concentração de 1g/L e 79% da turbidez com concentração de 3g/L. Com relação à DQO, a concentração de 1g/L de *Moringa oleífera* reduziu 50%. A água tratada pelos processos físico e biológico se enquadra nos parâmetros para irrigação na agricultura familiar, sendo a mais recomendada a tratada com 1g/L de *Moringa oleífera*.

**Palavras-chave:** Reuso de água. Sulfato de Alumínio. *Moringa oleífera*. Coagulante natural. Irrigação.



COSTA, Rubenia de Oliveira. Gray Water Treatment Aiming at the Sustainable Development of Family Farming. 2021. 85 pages. Campina Grande: Post-Graduation in Process Engineering, Federal University of Campina Grande, 2021. Thesis (doctorate).

## ABSTRACT

Family farming has great economic and social importance linked to the supply of food for the domestic market, the generation of jobs, and exports. For the development of this activity, water is a determining resource. The reuse of gray water is a viable alternative for the production and sustainable development of family farming. This work aimed to evaluate the efficiency of physical, chemical and biological treatments of gray water generated in a public laundry in the municipality of Cabaceiras, PB, for use in irrigation, aiming at the sustainable development of family farming. The research was carried out with gray water from the public laundry of the rural community of Ribeira, located in the municipality of Cabaceiras, state of Paraíba. The physical treatment was carried out using a hydrocyclone. For the chemical and biological treatments, the concentrations of 1 g/L, 3 g/L and 5 g/L of the chemical coagulant aluminium sulfate and the biological coagulant of *Moringa oleifera*, respectively, were used in powder. Physical treatment resulted in a 30% reduction in turbidity and 44% in Chemical Oxygen Demand (COD). The chemical treatment with aluminium sulfate reduced 67% and 48% of the turbidity, respectively for the concentrations (1 g/L and 3 g/L) and the Electrical Conductivity (CE) increased by 32%. There was a small reduction of 12% in COD with a concentration of 5g / L and the pH was acid (4.5-3.8), not recommended for agricultural irrigation. The biological treatment with *Moringa oleifera* reduced 21% of EC with a concentration of 1g/L and 79% of turbidity with a concentration of 3g/L. Regarding COD, the concentration of 1g/L of *Moringa oleifera* decreased by 50%. The water treated by physical and biological processes fits the parameters for irrigation in family farming, and the most recommended concentration of *Moringa oleifera* was 1 g/L.

**Keywords:** Water reuse. Aluminium sulfate. Oil Moringa. Natural coagulant. Irrigation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de impurezas contidas na água.....	19
Figura 2 - Desenho esquemático de um hidrociclone mostrando suas variáveis geométricas (a) – ver Tabela 3 – e o escoamento interno espiralado (b).....	35
Figura 3 – Perfil de velocidades tangenciais no interior de um hidrociclone.....	41
Figura 4– Perfil de velocidades axiais no interior de um hidrociclone.....	41
Figura 5 – Perfil de velocidades radiais no interior de um hidrociclone.....	42
Figura 6 – Localização do distrito de Ribeira em Cabaceiras, PB.....	46
Figura 7 – Lavanderia pública em Ribeira de Cabaceiras, PB.....	47
Figura 8 – Planta baixa do sistema de tratamento físico do efluente.....	48
Figura 9- Hidrociclone utilizado nesta pesquisa.....	49
Figura 10 - Vagem da <i>Moringa oleífera</i> (A), sementes da Moringa com cascas (B), sem cascas(C) e farinha da Moringa (D).....	51
Figura 11 – Croqui do experimento em um delineamento inteiramente casualizado com a água cinza bruta, seis tratamentos e três repetições.....	52
Figura 12- Distribuição de tamanhos das partículas na alimentação do hidrociclone.....	54
Figura 13 – Distribuição de tamanhos das partículas no overflow do hidrociclone.....	55
Figura 14 – Condutividade elétrica ( $dS\ m^{-1}$ ) da água cinza bruta e do tratamento físico...	56
Figura 15 - Turbidez (NTU) da água cinza bruta e do tratamento físico.....	57
Figura 16- DQO (mg/L) da água cinza bruta e do tratamento físico.....	58
Figura 17- Condutividade elétrica ( $dS\ m^{-1}$ ) na água cinza bruta e após tratamento químico .....	59
Figura 18- Turbidez (NTU) da água cinza bruta e após o tratamento químico.....	60
Figura 19- pH da água cinza bruta e após tratamento químico.....	61
Figura 20- DQO (mg/L) da água cinza bruta e após o tratamento químico.....	62
Figura 21-Condutividade elétrica ( $dS\ m^{-1}$ ) da água cinza bruta e após o tratamento biológico.....	63
Figura 22- Turbidez (NTU) da água cinza e após o tratamento biológico.....	64
Figura 23- pH da água cinza bruta e após o tratamento biológico.....	66
Figura 24- DQO (mg/L) da água cinza bruta e após o tratamento biológico.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de água de reuso.....	25
Tabela 2- Composição das sementes de <i>Moringa oleífera</i> .....	33
Tabela 3- Proporções geométricas dos hidrociclones de Rietema e de Bradley.....	37
Tabela 4 – Análise da água que abastece a lavanderia em estudo.....	47
Tabela 5 – Dimensões do hidrociclone Dorr-Oliver empregado neste trabalho.....	49
Tabela 6- Metodologias empregadas nas análises dos parâmetros estudados.....	53
Tabela 7- Análise da condutividade elétrica para tratamento químico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey. ....	60
Tabela 8- Análise da Turbidez para tratamento químico expressa pela média, P-valor da análise de variância e Teste de Tukey.....	61
Tabela 9- Análise do pH para o tratamento químico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey.....	62
Tabela 10- Análise do DQO para tratamento químico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey.....	63
Tabela 11- Análise da condutividade elétrica para tratamento biológico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey.....	64
Tabela 12- Análise da Turbidez (NTU) para tratamento biológico expressada pela média, P-valor do teste de Kruskal-Wallis e Teste de Wilcox.....	65
Tabela 13- Análise do Ph para tratamento biológico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey.....	67
Tabela 14- Análise do DQO (mg/L) para tratamento biológico expressada pela média, P-valor do teste de Kruskal-Wallis e Teste de Wilcox. ....	68

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

C.E – Condutividade Elétrica

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Biológica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETAs – Estação de Tratamento de Águas

NBR - Norma Brasileira

NTU - Unidades Nefelométricas de Turbidez

OMS - Organização Mundial da Saúde

pH - Potencial Hidrogeniônico

TEvap- Tanque de Evapotranspiração

TS – Tanque Séptico

UFC - Unidade Formadora de Colônias

UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez

UPAC – Unidade de Produção Agrícola

WCEH - *Wetlands* Construídos De Escoamento Subsuperficial Horizontal

WHO - World Health Organization

## NOMENCLATURA

- $\theta$  - Ângulo do cone do hidrociclone
- $\ell$  - Comprimento do *vortex finder*
- $\omega$  - velocidade angular da partícula e
- $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$  - sulfato de alumínio
- $\text{FeCl}_3$  - cloreto férrico
- $b$  - do campo de forças,
- $d$  - diâmetro da partícula
- $D_c$  - Diâmetro do hidrociclone,
- $D_i$  - Diâmetro da entrada de alimentação,
- $D_o$  - Diâmetro do *overflow*
- $D_u$  - Diâmetro do *underflow*
- $E'_T$  - eficiência total reduzida
- $E_T$  - eficiência total e total reduzida,
- $g$  - aceleração da gravidade
- $G$  - eficiência granulométrica
- $G'$  - granulométrica reduzida
- $L$  - Comprimento do hidrociclone
- $L_l$  - Altura da parte cilíndrica do hidrociclone
- $r$  - distância radial da partícula em relação ao eixo de rotação
- $r$  - módulo do vetor posição da partícula
- Re- número de Reynolds relativo
- $R_f$  - razão de fluido
- $v$  - velocidade tangencial
- $W_f$  - vazões mássicas de fluido na alimentação
- $W_{fu}$  - vazões mássicas de fluido no *underflow*
- $W_s$  - vazões mássicas na alimentação
- $W_{su}$  - vazões mássicas de sólidos no *underflow*
- $\mu$  - viscosidade do fluido
- $\rho$  - densidade do líquido
- $\rho_s$  - densidade da partícula

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.2 OBJETIVOS .....	17
<b>1.2.1 Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2 Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1 ÁGUA CINZA .....	18
<b>2.1.1 Caracterização de Água Cinza .....</b>	<b>20</b>
2.2 REÚSO DE ÁGUA CINZA .....	22
<b>2.2.1 Reúso de Água na Agricultura .....</b>	<b>25</b>
2.3 TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA.....	27
<b>2.3.1 Coagulação/Floculação.....</b>	<b>29</b>
2.4 COAGULANTE QUÍMICO - SULFATO DE ALUMÍNIO .....	31
2.5 COAGULANTE DE ORIGEM BIOLÓGICA - MORINGA OLEÍFERA .....	32
2.6 HIDROCICLONE .....	35
<b>2.6.1 Eficiência de Separação em Hidrociclones.....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.2 Perfil de Velocidade em Hidrociclones .....</b>	<b>40</b>
2.7 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO.....	42
<b>2.7.1 Parâmetros Físicos.....</b>	<b>43</b>
2.7.1.1 Turbidez.....	43
2.7.1.2 Condutividade Elétrica .....	44
<b>2.7.2 Parâmetros Químicos .....</b>	<b>44</b>
2.7.2.1 - Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	44
2.7.2.2 - Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	44
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>46</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO .....	46
3.2 COLETA DAS AMOSTRAS.....	47
3.3 TRATAMENTOS DA ÁGUA CINZA GERADA NA LAVANDERIA EM ESTUDO ..	48
<b>3.3.1 Tratamento Físico.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.1.1 Hidrociclone .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.1.2 Eficiência do hidrociclone .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.2 Tratamento Químico e Biológico .....</b>	<b>50</b>
3.3.2.1- Preparo da Farinha de Moringa oleífera.....	50

3.3.2.2- Condução do Experimento .....	51
3.4 VARIÁVEIS ANALISADAS .....	52
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
4.1 HIDROCICLONE .....	54
4.2 TRATAMENTO FÍSICO .....	56
4.3 TRATAMENTO QUÍMICO .....	58
4.4 TRATAMENTO BIOLÓGICO.....	63
4.5 EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS PARA USO NA AGRICULTURA .....	68
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar possui grande importância econômica e social vinculada ao abastecimento de alimentos para o mercado interno, à geração de empregos, às exportações e para a manutenção do homem no campo (CRUZ *et al.*, 2021). Para o desenvolvimento dessa atividade, um recurso determinante é a água, principalmente na região semiárida, em que esta é um fator escasso (DANTAS *et al.*, 2019).

Uma forma de mitigar esse problema é o reuso de águas cinzas, que é uma fonte hídrica viável para a produção e o desenvolvimento agrícola sustentável (SANTOS E VIEIRA, 2020).

Águas cinzas são águas provenientes dos resíduos domésticos em contato com a água de abastecimento, tais como águas oriundas da lavagem de roupas, como também de efluentes do chuveiro e do lavatório de mãos do banheiro (FEITOSA *et al.*, 2011, BOYJOO *et al.* 2013).

De acordo com Magalhães (2021), a Agenda 2030 é um documento que objetiva orientar as nações do planeta rumo ao desenvolvimento sustentável, além de erradicar a pobreza extrema e reforçar a paz mundial. A Organização das Nações Unidas, através desse Agenda, enfatizando o Desenvolvimento Sustentável, propõe a reutilização de águas residuárias, em todo o mundo, como um instrumento essencial para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (RICART E RICO, 2019).

Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) são: Eliminar a Pobreza, Apagar a Fome, Estabelecer uma boa saúde e bem-estar, Oferecer educação de qualidade, Aplicar igualdade de gênero, Melhorar a água limpa e o saneamento, Crescer com energia acessível e limpa, Criar trabalho decente e crescimento econômico, Aumentar a indústria, a inovação e a infraestrutura, Reduzir a Desigualdade, Mobilizar Cidades e Comunidades Sustentáveis, Influenciar o consumo e a produção responsáveis, Organizar Ação Climática, Desenvolver a vida abaixo da água, Avançar a vida na terra, Garantir paz, justiça e instituições fortes e Construir Parcerias para os Objetivos, portanto, vale ressaltar que esta pesquisa enquadra 11 dos objetivos da Agenda 2030.

Segundo Carrasqueira *et al.* (2019) as tecnologias de reuso de águas cinzas são soluções que contribuem para o desenvolvimento agrícola sustentável e para o uso racional da água, proporcionando a redução da demanda sobre os mananciais de água, principalmente quando utilizada na irrigação. Em que segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) a irrigação é uma das atividades que mais consome água.



Nessa perspectiva, a Agência Nacional das Águas (ANA) propõe a utilização de métodos alternativos no tratamento de água residuais para irrigação, sendo está uma opção economicamente viável e ambientalmente sustentável, contribuindo assim com a sustentabilidade agrícola (BRASIL, 2019).

Um dos processos de tratamento de água cinza é a coagulação e floculação. No Brasil, o coagulante químico mais utilizado é o sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) por ele ser eficaz na remoção de partículas coloidais e substâncias orgânicas (AHMAD *et al.*, 2007).

Porém, a toxidez por alumínio fitotóxico ( $Al^{3+}$ ) nas plantas é apontada como uma das responsáveis pela inibição do crescimento radicular, bloqueando a aquisição e transporte de água e nutrientes (PESSOA, 2019).

Entretanto, Pardo *et al.* (2020) afirma que buscando contribuir com a sustentabilidade tem se intensificado o uso de coagulantes biológicos obtidos a partir de microrganismos, tecidos de animais e sementes de plantas, seguros para a saúde humana. Dentre os biocoagulantes, destacam-se as sementes de *Moringa oleífera*, que têm sido aplicadas como coagulante de impurezas presentes em águas residuais (VUNAIM *et al.*, 2019; MOULIN *et al.*, 2019).

Além disso, utiliza-se o processo de filtração para tratamento de água cinza. Nesse processo, os hidrociclones desempenham importante papel, pois se caracterizam pelo poder de separação de partículas sólidas presentes na água (KELLER & BLIESNER, 1990; CRUZ E ZANINI, 2010). Sendo este um estudo pioneiro ao utilizar hidrociclones para o tratamento de águas cinza.

A reutilização de água cinza com tratamentos alternativos e sustentáveis é uma forma eficiente e econômica de utilização da água, visando uma produção agrícola integrada com o reúso de água a baixo custo, promovendo a conservação dos recursos hídricos e o aumento da disponibilidade de água além de contribuir para o desenvolvimento agrícola sustentável, uma vez que transforma um agente poluidor em agente de desenvolvimento.

Nesse sentido, a inovação proposta é o tratamento de água cinza, por meio de tecnologias simples e exequíveis para a irrigação agrícola, viabilizando a agricultura familiar, em que os produtores rurais poderão produzir alimentos para sua subsistência e para comercialização, contribuindo para uma melhor qualidade de vida do produtor e da sua família, além da conservação e proteção do meio de produção agrícola.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Avaliar a eficiência dos tratamentos físico, químico e biológico da água cinza gerada em uma lavanderia pública no município de Cabaceiras, PB para uso na irrigação visando o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar.

### 1.2.2 Específicos

- Avaliar os parâmetros físico-químicos da água cinza gerada na lavanderia em estudo;
- Avaliar os parâmetros físico-químicos da água cinza resultantes dos tratamentos físico, por meio de hidrociclone; químico, com o coagulante químico sulfato de alumínio e biológico com biocoagulante *Moringa oleífera*;
- Identificar a concentração de sulfato de alumínio e de *Moringa oleífera* que apresenta melhor resultado na água cinza estudada nesta pesquisa;
- Avaliar a água cinza resultante dos tratamentos propostos para uso na irrigação da agricultura familiar.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ÁGUA CINZA

Água cinza é, por definição, água provenientes dos resíduos domésticos em contato com água de abastecimento. Nesse grupo, estão inclusas águas oriundas da lavagem de roupas, do chuveiro e do lavatório de mãos do banheiro, com exceção da água do vaso sanitário (FEITOSA *et al.*, 2011, BOYJOO *et al.* 2013).

A água cinza é utilizada para fins menos nobres, como por exemplo, irrigação agrícola. Além da possibilidade de reutilização, a água cinza é caracterizada por apresentar baixa carga orgânica, o que garante sua utilização para fins não potáveis utilizando tratamentos simplificados (MANFRIN *et al.*, 2019).

Segundo Chanakya e Khuntia (2014), as águas cinzas representam cerca de 67% do volume total das águas residuária geradas nas atividades domésticas. O consumo de água potável de uma típica família alemã pode ser distribuído como se segue: 32% para descarga sanitária, 30% para tomar banho, 14% para lavar roupas, 6% para higiene pessoal, 6% para lavagem de louça, 4% para jardinagem, 3% para limpeza em geral, 3% cozinhar e beber e 2% para a lavagem do carro o que gera muita água residuária (GONÇALVES, KELLER, FRANCI, 2018).

Na Polônia o consumo de água per capita médio residencial foi de 100 L/hab/d; na República Tcheca, 117 L/hab/d; na Alemanha, 127 L/hab/d; na Holanda, 151 L/hab/d e na Espanha 195 L/hab/d (EUROSTAT, 2019).

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016) o consumo per capita médio de água nos anos de 2013, 2014 e 2015 no Brasil foi de 165,3 L/hab/d. Entretanto, nos bairros mais nobres de cidades com elevado IDH, esse indicador supera facilmente 200 L/hab/d.

Para Li, Wichmann e Otterpohl (2009) a água cinza representa um quantitativo em torno de 50 a 80% do volume de água residuária doméstica gerada pelas famílias, sendo considerada uma boa fonte para reúso de água. Elas geralmente apresentam baixa concentração de nutrientes, porém, esta pode ser tratada de maneira relativamente fácil e assim reutilizada para vários fins (WILDERER *et al.*, 2002).

Silva (2018) afirma que a água cinza apresenta diversas vantagens, além do menor nível populacional de agentes patogênicos em relação à água negra, ela contém apenas 30% da fração orgânica, com cerca de 9 a 20% de nutrientes tornando-se assim uma boa alternativa para uso

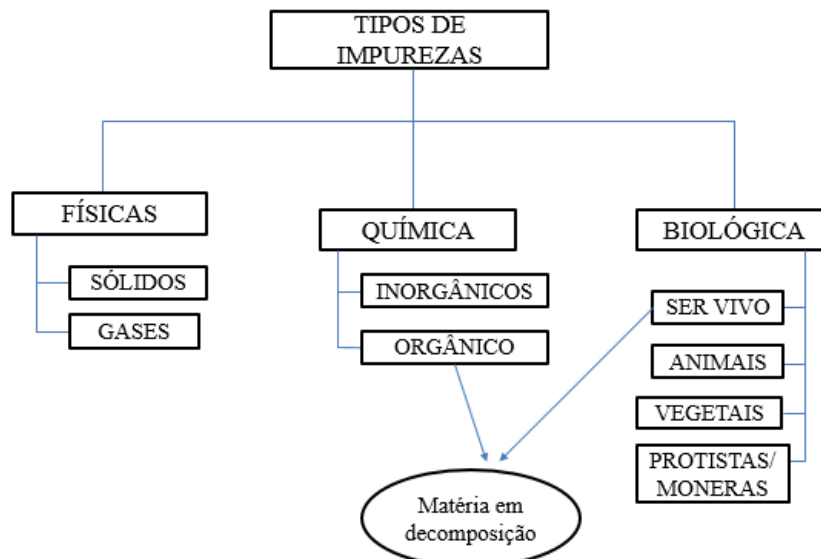
com fins agrícolas ou florestais, como também pode ser utilizada na descarga de vasos sanitários de banheiros e usos externos, como irrigação de jardim.

A sua variação ocorre de acordo com os hábitos e a realidade de cada residência. Por outro lado, sem o devido tratamento, a água cinza pode causar riscos à saúde, pois apresenta uma série de produtos químicos provenientes de sabões, detergentes e sais como também milhões de bactérias patogênicas, sendo assim de suma importância passá-la por um tratamento adequado, antes de sua utilização (BANI-MELHEM *et al.*, 2015).

No trabalho realizado por Li, Wichmann e Otterpohl (2009), eles constataram que o volume típico de água cinza gerado, diariamente, por uma pessoa oscilou de 90 a 120 L, dependendo do estilo de vida, estruturas populacionais (idade e sexo), costumes e hábitos, instalações de água e da disponibilidade hídrica. No entanto, em comunidades de baixa renda e com escassez hídrica ou que se utilizem a captação da água pluvial, o volume de água cinza é reduzido para uma faixa de geração de 20 a 30 L por pessoa por dia.

A água cinza apresenta uma carga de impurezas, uma vez que ela já foi utilizada, alterando assim as suas características física, química e biológica, além dessas apresentarem uma interrelação (VON SPERLING, 2005). Conforme pode-se observar na figura 1.

Figura 1 – Tipos de impurezas contidas na água.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

A composição da água cinza depende basicamente da sua origem, podendo ser doméstica (chuveiro, pia de cozinha, lavatório, máquina de lavar louça e roupa) ou comercial (lavadarias comerciais e/ou industriais, lavatórios de edifícios públicos), portanto é preciso conhecer

a sua origem para poder definir o tratamento adequado a ser realizado para sua reutilização (MELO, 2018).

Devido à grande necessidade ambiental, a água cinza precisa ser tratada a fim de diminuir a carga de poluição ambiental gerada por esses efluentes e, conseqüentemente, reduzir riscos à saúde, principalmente em locais periféricos sem condições mínimas de saneamento (ABU GHUNMI *et al.*, 2008).

Para utilizar a água cinza, faz-se necessário identificar a carga de compostos presentes nelas antes de seu lançamento a que for destinado, pois, de acordo com tais concentrações, tais compostos podem atuar como fertilizantes e nutrientes ou como poluentes em uma larga escala de tempo (DÍAZ *et al.*, 2016).

Nessa perspectiva, buscar maneiras de minimizar a poluição e fazer o reuso desses efluentes, realizando técnicas com os devidos tratamentos na origem da sua produção, é primordial para prevenir o lançamento e aumentar a carga de poluentes no ambiente (DÍAZ *et al.*, 2016).

### 2.1.1 Caracterização de Água Cinza

A água cinza apresenta elevados teores de sais, principalmente sulfatos como também matéria orgânica e turbidez. Em relação a matéria orgânica, pode-se destacar que, mesmo sem contribuição do vaso sanitário, a concentração de matéria orgânica e inorgânica é bastante significativa, em virtude de resíduos alimentares, corporais seja oriundo de higiene pessoal ou da lavagem de roupas (FEITOSA *et al.*, 2011).

As águas cinzas originadas em uma casa residencial são provenientes principalmente de lavagem de roupa, banheiros (chuveiros e pias) e pia de cozinha. De acordo com trabalhos realizados é possível constatar que estas águas diferem em sua constituição, de acordo com sua origem (RAPOPORT, 2004).

A água cinza composta por efluentes provenientes de tanques, banheiras, chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupas (água cinza clara), apresenta melhor qualidade do que a água proveniente de bacias sanitárias (águas negras) e as de pias de cozinha (água cinza escura) (MAY, 2008).

A composição das águas cinzas varia de acordo com os pontos de coleta escolhidos, o estilo da residência, instalações e a quantidade de produtos químicos utilizado, sendo possível segregar os efluentes de um conjunto de aparelhos sanitários, de acordo com as características físico-químicas e biológicas de seus efluentes em função dos usos pretendidos (MARINOSKI E ANDRADE, 2010).

As águas cinzas podem apresentar características, as quais estão relacionadas ao costume ou rotina das pessoas em suas respectivas residências, podendo provocar a elevação das concentrações da Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO e da Demanda Química de Oxigênio-DQO (HALALSHEH *et al.*, 2008).

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas cinzas variam por diversos fatores, entre eles estão a qualidade da água de abastecimento, o uso de produtos de limpeza, a localidade, a faixa etária dos usuários, a classe social, a fonte de água cinza utilizada, entre outros (RAMPEOLLO, 2014).

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 (RAPOPORT, 2004).

Segundo Rampeollo (2014) os parâmetros físicos mais relevantes são temperatura, cor, turbidez e o conteúdo de sólidos suspensos. Altas temperaturas favorecem o crescimento de microrganismos, enquanto a turbidez e elevados teores de sólidos podem provocar entupimentos das tubulações, ocasionando problemas futuros na rede coletora de águas residuárias domésticas.

Donner *et al.* (2010) apresentaram valores de sólidos suspensos totais (SST) variando de 7 a 207mg L<sup>-1</sup> em água proveniente do chuveiro e 235 a 720 mg L<sup>-1</sup> do efluente da pia da cozinha.

Em relação a turbidez, Gilboa e Friedler (2008) encontraram uma variação de 15 a 240 Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) para efluentes do chuveiro e da pia do banheiro, denotando a grande variabilidade dos dados, em virtude dos hábitos da população.

Quanto aos parâmetros químicos, as águas cinzas possuem o pH próximo à neutralidade, assim como os esgotos sanitários domésticos tradicionais. O que pode provocar um aumento desse valor é a presença de sabões nas máquinas de lavar e tanques. Níveis de pH fora da neutralidade podem provocar corrosão e também dificultar o tratamento de água (RAMPEOLLO, 2014).

O pH da água cinza pode variar entre 6,7 e 8,5, tal variação se dá devido aos produtos de limpeza com características alcalinas, já a condutividade elétrica varia em torno de 0,19 a 3,0 dS m<sup>-1</sup>, a turbidez de 19 a 440 UNT e os SST de 35 a 315 mg L<sup>-1</sup> (BOYJOO *et al.* 2013).

Segundo Rapoport (2004) a água cinza proveniente de cozinha apresenta partículas de comida, óleo, gordura e altas concentrações de coliforme termotolerantes (2x10<sup>9</sup> UFC/100 ml)

bem como alta concentração de detergentes que podem torná-la alcalina. Essas águas possuem uma alta concentração de produtos químicos devido aos sabões empregados que contém sódio, fosfato, boro, surfactantes, amônia e nitrogênio (SILVA, 2017).

As águas cinzas provenientes da lavagem de roupas podem apresentar concentrações que variam de  $10^7$  UFC/100ml (primeira lavagem), até apenas 25 UFC/100ml (no caso de segunda lavagem de máquina de lavar) de coliforme termotolerante. A concentração de produtos químicos é alta devido aos sabões empregados que também contém sódio, fosfato, boro, surfactantes, amônia e nitrogênio (RAPOPORT, 2004).

Pode-se concluir que a água cinza, ao ser destinada para reúso, necessita de tratamento. Diversos tipos de tratamento vêm sendo propostos por muitos autores, sendo que a escolha do sistema a ser utilizado depende das características do efluente, da finalidade do tratamento, da disponibilidade financeira e da área superficial disponível (MONTEIRO, SEZERINO E PHILIPPI, 2015).

## 2.2 REÚSO DE ÁGUA CINZA

A reutilização, reúso de água ou o uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação (CETESB, 2017).

O reúso de água é parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de resíduos e do consumo de água (BARROS *et al.*, 2015).

Segundo a lei brasileira 9.433/1997, a água é um recurso natural finito, que possui valor econômico, e deve ser mantida em qualidade e quantidade para a geração atual e também para as futuras gerações (BRASIL, 1997). A referida lei enfatiza a necessidade da racionalização no uso, como forma de reduzir os custos com a água.

Além disso, o crescimento populacional, o uso irracional da água, o desperdício, a poluição de rios e mananciais e a má gestão da captação, conservação e uso da água são fatores que contribuem para a escassez hídrica (FONSECA, NASCENTES E CAIXETA, 2018).

No Brasil, dentre os principais fatores que contribuem para o aumento do reúso de água encontra-se a escassez de recursos hídricos, o avanço do conhecimento técnico-científico, a legislação ambiental mais rigorosa e atuante e o maior controle da poluição ambiental, dentre outros (BARROS *et al.*, 2015).

A prática de reúso de água é um fator primordial na gestão hídrica de áreas com baixa disponibilidade de água ou insuficiência em recursos hídricos, como nas regiões áridas e semi-áridas onde a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento dos setores industriais, urbano e principalmente agrícola (SOUZA, 2019).

O reúso de água ganha destaque na Agenda 21, documento fruto de um acordo internacional, que propõe ações nas esferas internacional e nacional, comprometendo governos e a coletividade planetária em torno de uma agenda para o século XXI, e tem em seus princípios a reutilização de água (MACHADO, 2007).

O reúso de água é uma alternativa para racionalização e conservação da água, esta alternativa promove a redução de efluente em corpos receptores, contribuindo para a redução dos custos de tratamento dos recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade (BRASIL, 2005). O reúso pode ser definido como uso de água residuária ou água de qualidade inferior tratada ou não.

Em média, 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis. Desta forma, estabelecendo uma rede dupla de abastecimento de água, uma potável e outra de reúso, a conservação da água, através da redução do consumo de água potável, seria garantida (GONÇALVES, 2006).

A Resolução n° 54/2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), define água residuária como esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não, e o reúso de água compreende a utilização de água que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas (BRASIL, 2005).

O reúso de água é uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água. Esta prática vem sendo utilizada em diferentes atividades, seja na indústria ou na agricultura (RAYIS, 2018).

Rodrigues (2005) afirma que o reúso de água atua em dois aspectos: (I) instrumento para redução do consumo de água (controle de demanda) e (II) recurso hídrico complementar. Além disso, o aproveitamento de água cinza também atua na minimização da produção de efluentes e redução da necessidade de tratamento de esgotos. Porém, a quantidade de água cinza gerada depende se a edificação possui equipamentos economizadores de água, bem como dos hábitos dos ocupantes.



A Organização Mundial de Saúde – OMS classifica o reúso de água em diferentes modalidades, de acordo com o uso e finalidade, tais como (WHO, 1973):

**Reúso indireto:** a água já usada uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída.

**Reúso direto:** é o uso planejado e deliberado de efluentes tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável.

**Reciclagem interna:** é o reúso da água internamente a instalações industriais e/ou domésticas, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

A classificação acima ainda pode ser subdividida em usos potáveis e não potáveis. Segundo Mancuso e Santos (2003) e Moruzzi (2008) em relação a reúso não potável, pode-se ter o seu uso para as seguintes finalidades: agrícolas, industriais, recreacionais e domésticas. Já em relação aos usos potáveis, Metcalf e Eddy (2003) definem tais reúso:

**Reúso potável direto,** quando há lançamento de efluente tratado diretamente no sistema de distribuição de água potável a jusante da estação de tratamento de água de abastecimento, ou na entrada do sistema de tratamento de água de abastecimento, juntamente com a água bruta.

**Reúso potável indireto,** que é a incorporação planejada de efluente tratado nos mananciais de água que são utilizados para abastecimento, superficial ou subterrâneo, resultando na mistura, diluição e assimilação de eventuais contaminantes, atuando como um tampão ambiental.

O tratamento necessário para produzir uma água de reúso dependerá de fatores como a característica da água residuária a ser tratada e o uso ao qual esta água de reúso será submetida. Deve-se considerar também a viabilidade técnica e econômica da alternativa de tratamento escolhida (RAYIS, 2018).

A Agência Nacional das Águas - ANA propõe e incentiva o reúso de água, pois é uma opção economicamente viável e ambientalmente sustentável, dentre elas, tem-se o reúso de águas cinzas para fins agrícolas.

Existem várias classificações para o reúso de água no Brasil dentre elas tem-se a classificação a partir de parâmetros físico-químicos de qualidade e, por consequência a adequada aplicação, estabelecido na ABNT NBR 13.969/97, conforme exposto na tabela 1.

**Tabela 1** – Classificação de água de reúso.

<b>Água de Reúso</b>	<b>Padrões de Qualidade</b>	<b>Aplicações</b>
<b>Classe 1</b>	Turbidez <5uT Coliformes Termotolerantes < 200NMP/100ml Sólidos Dissolvidos totais < 200mg/L pH entre 6 e 8 Cloro residual entre 0,5 a 1,5 mg/L	Lavagens de carros e outros usos com contato direto com o usuário.
<b>Classe 2</b>	Turbidez <5uT Coliformes Termotolerantes < 500NMP/100ml Cloro residual superior a 0,5 mg/L	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins.
<b>Classe 3</b>	Turbidez <10uT Coliformes Termotolerantes < 500NMP/100ml	Descargas em vasos sanitários.
<b>Classe 4</b>	Coliformes Termotolerantes < 500NMP/100ml Oxigênio dissolvido >2,0mg/L	Irrigação de pomares, cereais, pastagens para gado e cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Fonte: ABNT NBR 13.969/97.

A Resolução CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA n. 357/2005 estabelecendo que devem ser buscadas práticas de gestão de efluentes visando o uso eficiente da água, à redução da geração de efluentes e à melhoria da qualidade do efluente gerado, além de sempre que possível e adequado, proceder à reutilização.

A Resolução nº54 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2005) define as modalidades de reúso: reúso para fins urbanos; para fins agrícolas e florestais; para fins ambientais; reúso para fins industriais e reúso na aquicultura.

As águas cinzas são as mais adequadas para reúso por sua baixa carga orgânica. O tratamento e desinfecção das mesmas são importantes para a utilização segura e esteticamente adequada da água de reúso (GIDEON *et al.*, 2008).

### 2.2.1 Reúso de Água na Agricultura

O reúso de água na agricultura irrigada pode contribuir para suprir a necessidade hídrica das culturas, disponibilizar nutrientes além de economizar recursos hídricos, além disso é uma alternativa sustentável para a agricultura, pois economiza as águas superficiais não poluídas, mantendo a qualidade ambiental e servindo como fonte nutritiva às plantas (FRANCO *et al.*, 2019; NOBRE *et al.*, 2010).

A maior aplicação para o reúso é a agricultura irrigada tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento, por que esse tipo de aplicação não exige tratamentos muito sofisticados do efluente (SCHAER-BARBOSA, 2012).

Na Europa, águas servidas tratadas já eram usadas na agricultura irrigada, entre diversos outros usos não potáveis, em cerca de 700 projetos, principalmente no sul da Europa, como França, Grécia, Itália, Portugal e Espanha. Entretanto, países do norte da Europa, inclusive Holanda, Reino Unido e Suécia também vêm adotando esta prática (MONTE, 2007).

Na China, pelo menos 1,33 milhões de hectares localizados à jusante de grandes cidades são irrigados com águas servidas, uma vez que apenas cerca de 30% dos esgotos neste país são tratados. No Oriente Médio, onde a água é muito escassa, o reúso é considerado uma fonte alternativa e viável de água. Na região, boa parte da água consumida vem de aquíferos não recarregáveis ou da dessalinização direta da água do mar (USEPA, 2004).

Em Israel, o reúso de águas servidas é uma prioridade nacional. Esta situação é devida à combinação de condições climáticas severas, poluição e uma população concentrada em áreas urbanas (FRIEDLER, 2001).

O reúso em Israel é, basicamente, para a agricultura irrigada, ocorrendo em sistemas de grande escala, mais de 65% de todos os esgotos municipais eram usados na agricultura, havendo planos de se chegar a 90% na década seguinte. Essa é a única maneira efetiva desse país lidar com um balanço de água que tende ao negativo (SCHAER-BARBOSA, 2012).

O reúso de água integra a gestão de recursos hídricos de tal modo que efluentes tratados são armazenados em reservatórios superficiais a fim de suprir o déficit de água dos períodos secos. Essa prática tem a vantagem de contribuir para a melhoria de qualidade do efluente (FRIEDLER, 2001).

O reúso de água no México é uma prática centenária. O reúso dos esgotos produzidos na Cidade do México gerou uma vazão constante de água e nutrientes que não apenas contribuiu para o crescimento da agricultura, mas também se apresentou como uma alternativa barata de disposição desses efluentes gerados (SCHAER-BARBOSA, 2012).

O reúso de águas residuárias na agricultura fornece opções inovadoras e alternativas sustentáveis de produção agrícola, mas é importante a adoção de um projeto de proteção à saúde pública e emprego de tecnologias apropriadas de tratamento que propicie a retirada de poluentes das substâncias de interesse e ainda devem ser avaliadas algumas variáveis, tais como toxicidade, excesso de nutrientes e aspectos sanitários (CHINELATO *et al.* 2015).

O reúso de água na agricultura propicia a reciclagem dos nutrientes presentes no esgoto

doméstico, a redução do uso dos fertilizantes comerciais e minimiza os impactos ambientais pela não deposição das águas residuárias nas calhas dos rios (FREITAS *et al.* 2012).

Utilizar água residuária tratada na agricultura irrigada representa metodologia efetiva e sustentável, cuja aplicação da água de esgotamento doméstico tratada no solo é uma forma eficaz de controle da poluição, principalmente porque “evita a descarga de esgotos em corpos de água; permite a conservação do solo, através da acumulação de húmus e aumenta a resistência a erosão (HESPANHOL, 2002 e 2003).

O reúso de água residuária na irrigação pode reduzir os custos de fertilização das culturas, tal como o nível requerido de purificação do efluente e, em contrapartida, e, os custos de seu tratamento já que as águas residuárias contêm nutrientes e o solo e as culturas se comportam como biofiltros naturais (BRANDÃO *et al.*, 2002).

### 2.3 TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA

Tratamento de água cinza é primordial para a sua reutilização e, de acordo com a finalidade de uso, é escolhido o melhor tipo de tratamento, soma-se a isso a origem da água cinza que também é primordial para a escolha do tipo de tratamento (MANFRIN *et al.*, 2019).

O tratamento das águas cinzas está diretamente ligado à qualidade de água e sua finalidade de uso, pois para poder aliar o reúso e a destinação adequada do efluente tratado no ambiente há a necessidade de promover o tratamento deste de maneira adequada, que visam necessidades específicas de qualidade e suas respectivas finalidades de reutilização (MELO 2018; ORTIZ E AMÉRICO-PINHEIRO, 2016).

Para Carvalho *et al.* (2014), um sistema de tratamento de águas cinzas é o conjunto de processos unitários de tratamento que funcionam de forma organizada objetivando remover poluentes (impurezas, contaminantes, energia, etc.) devendo atender às condições e padrões de lançamento em corpos d'água e de qualidade das águas receptoras, conforme sua classe.

Os sistemas de tratamento de água cinza variam de alguns de baixa complexidade até outros extremamente complexos. Enquanto os de baixa complexidade separam o efluente para reúso direto, os sistemas complexos combinam processos de tratamento tais como primário, secundário e desinfecção, associando diferentes processos físicos, químicos e biológicos (CINTRA, 2019).

Para Couto *et al.* (2015) o reúso só é possível, quando são aplicados processos físicos, químicos e/ou biológico para tratamento da água.

O processo químico é utilizado para a remoção de material coloidal, cor, turbidez, odor, metais pesados, óleos, bem como para neutralizar ácidos e bases. Neste processo ocorre a adição de reagentes químicos, não só para a proteção do corpo hídrico receptor, mas também para a proteção dos tratamentos a jusante do lançamento (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

O processo físico tem como objetivo a remoção de sólidos flutuantes de grandes dimensões, sólidos em suspensão, areias, óleos e gorduras, geralmente neste método utiliza-se instrumentos como grades, peneiras, decantadores, filtros, tanques para remoção de óleo e graxas (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Já os biológicos são os métodos que utilizam microrganismos aeróbios ou anaeróbios para estabilizar os despejos (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Os sistemas de tratamento químico de águas cinzas mais utilizados são coagulação, eletrocoagulação, adsorção utilizando carvão ativado granular, zeólitas naturais, carvão ativado em pó e processos oxidativos avançados. Os processos físicos de tratamento de água cinza não envolvem a utilização de produtos químicos ou atividade biológica, sendo os mais comumente empregados o peneiramento, a sedimentação, a flotação e a filtração (BOYJOO *et al.*, 2013).

Os processos biológicos, no tratamento de água cinza, apresentam como vantagens a elevada remoção de compostos orgânicos, o reduzido consumo de energia, o reduzido custo com manutenção e operação e o impacto visual positivo do sistema devido ao uso de plantas (CINTRA, 2019).

Condicionar as águas cinzas a tratamentos químicos, físicos ou biológicos, são necessários para evitar riscos à saúde humana e os efeitos estéticos negativo e ambientais. Entre os principais contaminantes a serem reduzidos no tratamento de água cinza a fim de atender aos padrões são: matéria orgânica, sólidos em suspensão e microrganismos (KNUPP, 2013).

O tratamento físico-químico tem um custo mais elevado devido a aquisição, transporte, armazenamento dos produtos químicos utilizados nos processos. O tratamento biológico apresenta um custo menor por utilizar micro-organismos como bactérias e o processo anaeróbico comparado ao aeróbico são mais viáveis, pois não necessita de energia para a produção de oxigênio consumido pelos micro-organismos (AMARAL E SANTOS, 2018).

De acordo com Nuvolari e Costa (2010), o tratamento de água cinza tem como objetivo a remoção dos poluentes, para isso, tendo como base os parâmetros normatizados que variam de acordo com o volume a ser tratado, finalidade, nível de processamento, qualidades originais e pretendidas e local de lançamento ou de utilização.

O tratamento das águas cinzas para reúso, devido à grande variabilidade tanto da fonte quanto da própria finalidade a que se destina o efluente tratado ou o tipo de reúso pretendido, requer uma gama de sistemas ou sequências de processos passíveis de serem empregados (MANCUSO e SANTOS, 2003).

Os sistemas de tratamento de água cinza variam em sua complexidade e tamanho, desde pequenos sistemas com tratamento muito simples até sistemas de grande porte com complexos processos de tratamento, de acordo com a quantidade de água e o seu uso final (ENVIRONMENT AGENCY, 2011).

### 2.3.1 Coagulação/Floculação

Os principais tratamentos químicos em águas cinzas são trocas iônicas, coagulação e floculação (LI; WICHMANN; OTTERPOHL, 2009). A coagulação é um processo físico-químico que promove a redução do potencial repulsivo da dupla camada elétrica de coloides por meio da aplicação de coagulantes (SILVA *et al.* 2020).

O processo de coagulação é utilizado para reduzir a concentração de sólidos em suspensão, partículas coloidais e patógenos em suspensão, diminuindo a turbidez e a cor, e, conseqüentemente, melhorando a qualidade da água (CHEN *et al.*, 2018 e MEGERSA *et al.*, 2019).

A coagulação consiste no processo de desestabilização das partículas coloidais suspensas, o processo é realizado pela atuação em conjunto das ações físicas e químicas. Neste processo ocorre a formação de coágulos, promovendo um estado de equilíbrio eletrostaticamente instáveis entre as partículas contidas na solução de água e sedimentos (CARARD, 2018; SOUTO *et al.*, 2020).

O processo de coagulação ocorre com a adição de um coagulante químico que retira as cargas eletrostáticas negativas dos coloides, diminuindo o seu potencial repulsivo e aglutinando-os (SILVA *et al.*, 2019).

Para o processo de coagulação são necessárias duas etapas: a mistura rápida e a mistura lenta. O processo de mistura rápida tem por objetivo dissipar o coagulante visando o maior aproveitamento possível, desde que já tenha ocorrido a verificação de parâmetros como o pH, fator que interfere diretamente na formação dos coágulos. Neste processo ocorre a formação de coágulos, promovendo um estado de equilíbrio eletrostaticamente instável entre as partículas contidas na solução de água e sedimentos (CARARD, 2018).

Este processo é essencialmente químico e muito rápido, variando desde décimos de segundo a cerca de 100 segundos (coagulação), consiste nas reações do coagulante com a água e

na formação de espécies hidrolisadas com cargas positivas e depende da concentração do coagulante e pH final da mistura (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Após a desestabilização das partículas ocorre o agrupamento das partículas instáveis, formando outras partículas maiores (coágulos), que são facilmente removidas por decantação e filtração (SOUTO *et al.*, 2020).

Para Di Bernardo e Dantas (2005), tal processo é necessariamente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que ocorra contato entre as impurezas presentes na água, formando partículas maiores, denominadas de flocos (floculação), as quais podem ser removidas por sedimentação, flotação ou filtração rápida.

Conforme afirmam Ribeiro (2015) e Sillanpaa *et al.* (2018), no processo de floculação as micropartículas coloidais começam a se aglomerar e a formar flocos maiores, passíveis de sedimentação. Esse fenômeno de aglomeração inclui vários mecanismos, como neutralização de carga, aprisionamento, adsorção e complexação com os íons metálicos do coagulante em agregados insolúveis

O processo de coagulação é afetado por propriedades da água, tais como temperatura, alcalinidade, COT (carbono orgânico total) e pH, por parâmetros operacionais que afetam as condições hidrodinâmicas do meio e pela presença e natureza do agente coagulante e sua dosagem (GUEDES *et al.*, 2004; CHEN *et al.*, 2018).

Em relação ao coagulante utilizado, sua escolha está diretamente relacionada com as características da água bruta. A característica básica para o coagulante ser escolhido constitui-se na capacidade de produzir espécies hidrolisadas e precipitados dissociados em água, capazes de desestabilizarem ou aprisionar partículas coloidais e suspensas presentes na água (CINTRA, 2019).

Em relação ao efeito da dosagem de coagulantes, determinar a quantidade "correta" é um pré-requisito para uma eficiência otimizada. Assim, a superdosagem do coagulante resulta em um aumento substancial na quantidade de lodo gerado e uma diminuição no pH, enquanto uma dose mais baixa é geralmente a causa dos metais residuais restantes na água tratada, daí a necessidade de processos de coagulação aprimorados (SILLANPÄÄ, *et al.*, 2018).

Na prática, o tratamento da água por coagulação é realizado pela adição de uma determinada quantidade de coagulantes, geralmente inorgânicos, como sais de alumínio ou ferro, que, em solução são dissociados em sua forma iônica trivalente ( $Al^{3+}$  e  $Fe^{3+}$ ), hidrolisados e acabam formando complexos carregados positivamente altamente interativos com os coloides com carga negativa (SILLANPÄÄ *et al.*, 2018).

A adição de agentes coagulantes (sais de ferro ou alumínio) é muito utilizada, sendo também eficaz para a remoção de fósforo, tendo como desvantagens o custo dos produtos químicos e o maior volume de lodo formado. As grandes vantagens são a praticidade e a boa qualidade dos efluentes obtidos (SILVA, 2018).

#### 2.4 COAGULANTE QUÍMICO - SULFATO DE ALUMÍNIO

O alumínio, devido à alta afinidade pelo oxigênio, não é encontrado na forma elementar na natureza, mas sim como íon  $Al^{+3}$ , na forma combinada em rochas e minerais (CONSTANTINO *et al.*, 2002).

O sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) é o coagulante químico mais usado no Brasil no tratamento de água, em razão da alta eficiência na remoção de sólidos em suspensão e pelo relativo baixo custo para sua aquisição (LEMONS, AGUIAR FILHO E CAVALLINI, 2020).

A maior aplicação, praticamente 2/3 da produção, é destinada ao tratamento de água, agindo como agente coagulante (PAULA, 2014). O Sulfato de Alumínio está disponível em forma de sólido cristalino de cor branca-acinzentada, contendo aproximadamente 17% de  $Al_2O_3$  solúvel em água, é possível encontrá-lo em pedra, em pó ou em soluções concentradas (PAULA, 2014).

O sulfato de alumínio reage com a alcalinidade natural ou adicionada a água, produzindo o polímero insolúvel hidróxido de alumínio que possui carga positiva, neutralizando assim as cargas das impurezas incorporando-as à sua superfície, formando flocos densos que irão decantar (MENEZES, 2018).

Campos e Di Bernardo (1975) consideram que o pH é um importante parâmetro a ser controlado no tratamento de água, pois o alumínio é um elemento anfótero (solubiliza-se tanto em soluções ácidas quanto em soluções básicas), mas não é solúvel em solução neutra.

A água cinza coagulada tende a formar flocos através de uma leve agitação, e esse fenômeno é denominado floculação. Os flocos formados são pequenas partículas sólidas mais densas que a água, que podem ser separadas, por exemplo, em sedimentadores. Nestes processos, consegue-se uma boa clarificação da água, uma vez que mesmo as menores partículas em suspensão conseguem flocular e sedimentar (MENDONÇA, 2019).

Almeida *et al.* (2013) propuseram o tratamento de água cinza de lavanderia, com floculação de sulfato de alumínio a 1% e a 2% e obtiveram bons resultados, obtendo redução de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), poucas alterações de pH e Oxigênio Dissolvido (OD) próximos aos valores de água potável.



Antonopoulou, Kirkou e Stasinakis (2013) observaram que a presença de água cinza da máquina de lavar na água cinza total resultou em uma menor eficiência do processo de coagulação, provavelmente devido ao menor tamanho das partículas e maior índice de sólidos totais existentes. Os autores testaram o sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) para remoção da DQO e do SST, chegando a índices de remoção de 38% e 61%, respectivamente, com dosagens de 500 e 800 mg L<sup>-1</sup>.

Benazzi (2013) no seu estudo com tratamento de efluente sintético de laticínio utilizando sulfato de alumínio a uma concentração 10% obteve resultados de remoções de cor que chegaram a 98,8% de remoção e de turbidez de 99,4%.

Ghaitidak e Yadav (2013) com a dosagem ótima de 204 mg L<sup>-1</sup> obtiveram índices de remoção de turbidez de 92%, utilizando o sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) para águas cinzas oriundas do banheiro.

Paula e Fernandes (2018) empregaram um processo de coagulação-floculação, usando o sulfato de alumínio, e constataram melhora significativa na qualidade da água residuária, alcançando os limites necessários para o reúso em atividades que não exigem água potável.

Rodrigues (2019) avaliou o tratamento da água cinza, proveniente da máquina de lavar roupas, por meio de soluções de sulfato de alumínio e concluiu que a remoção de turbidez para valores superiores a 98% ocorre com dosagens a partir de 3 ml L<sup>-1</sup>; e o valor do pH destas amostras caiu para valores inferiores a 5,0 para dosagens superiores a 6 ml L<sup>-1</sup>.

## 2.5 COAGULANTE DE ORIGEM BIOLÓGICA - *MORINGA OLEÍFERA*

A moringa (*Moringa oleífera*) é uma espécie perene pertencente à família *moringaceae*, proveniente do noroeste indiano, Etiópia, Sudão, e muitos países da Ásia (ALMEIDA, 2018).

A moringa vem sendo cultivada e difundida em toda a área do nordeste do Brasil, denominada “polígono das secas”. É uma planta que se adapta a diversas condições climáticas, tanto em áreas irrigadas quanto às de sequeiro, pouco exigente em solos e fertilizantes, é possível realizar o plantio de até 4.000 plantas de moringa por hectare. Ela se encontra disseminada na região nordeste (ALMEIDA, 2018).

Possui ao menos 13 variedades de espécies, sendo a *Moringa oleífera* a espécie que mais se destaca. No Brasil essa espécie é conhecida como lírio branco e também como quiabo-de-quina (SILVA, MATOS, 2008).

A árvore da *Moringa oleífera* pode atingir até 10 metros de altura. Seu caule é grosso e possui uma casca clara, é caducifólia, e suas folhas são bipinadas com até 3 centímetros de

diâmetro. As flores são brancas ou creme e os frutos (vagens) passam de verde claro para marrom, quando atingida a maturidade fisiológica (CARMO, 2014).

Em relação as sementes de *Moringa oleífera*, a produção é de 3 kg por planta, e elas contêm proteínas com baixo peso molecular que servem como agente clarificador e desestabiliza as partículas presentes na água (ALMEIDA,2018). Além de serem utilizados como coagulantes, as sementes de moringa apresentam atividade antimicrobiana (SILVA et al, 2020).

Quando o pó da semente de *Moringa oleífera* é usado, ao misturar-se com a solução a ser tratada, produz proteínas solúveis em água, que possuem carga líquida positiva. A solução age como um polieletrólito catiônico natural que se liga às partículas predominantemente carregadas negativamente (silte, argila, bactérias e outras suspensas em uma forma coloidal), formando flocos densos, que sedimentam (VUNAIM, 2019).

A matéria orgânica da *Moringa oleífera* é composta por seis elementos principais: carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), Nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S). (NDABIGENSERE, NARASIAH e TALBOT, 1995).

Devido à presença de proteínas solúveis em água, as sementes da *Moringa oleífera* servem como clarificador para obtenção de água potável (SILVA, 2019). Geralmente, as sementes são aplicadas, nos estudos, com e sem cascas, pois estas apresentam diferentes composições, como pode-se observar na Tabela 2.

Tabela 2- Composição das sementes de *Moringa oleífera*.

Preparo das sementes de <i>Moringa oleífera</i>		Proteína (%)	Lipídeos (%)	Carboidratos (%)
Com casca	Pó	36,7	34,6	5,0
	Solução	0,9	0,8	--
Sem casca	Pó	27,1	21,1	5,5
	Solução	0,3	0,4	--

Fonte: Ndabigensere; Narasiah e Talbot (1995).

Paterniani, Mantovani e Sant'anna (2009) afirmaram que o coagulante à base de sementes de moringa, por ser de origem natural, possui significativa vantagem, quando comparado ao coagulante químico, sulfato de alumínio, principalmente para pequenas comunidades uma vez que pode ser preparado no próprio local.

Segundo Ribeiro (2010), a semente da *Moringa oleífera* pode ser utilizada não só como coagulante no tratamento de águas, mas também como adsorvente no tratamento de coagulação-floculação de águas industriais a fim de remover diversas classes de poluentes, tais como metais pesados, BTEX e isopropilbenzeno.

Lima (2015) destaca que a *Moringa oleífera* vem sendo utilizada como auxiliar de floculação no tratamento de água desde a década de 50, quando o governo do Maranhão a trouxe das Filipinas, tendo sido a partir de então difundida em todo o semiárido nordestino. Os polímeros naturais propiciam a formação de flocos mais densos e mais resistentes às forças de cisalhamento que podem promover a ruptura dos flocos (ABREU LIMA, 2007).

Estudos com uso de *Moringa oleífera* têm mostrado que esta constitui uma alternativa em potencial bastante promissora para remoções de impurezas presentes na água (THEODORO *et al.*, 2015).

A *Moringa* já foi testada em tratamento de efluentes de laticínios, em que foi verificada uma eficiência de remoção de até 98% para cor e turbidez, mantendo sua capacidade de adsorção em uma faixa de pH que varia entre 5 a 8. Como a água residuária de laticínio apresenta pH próximo de 7,2, não houve necessidade de correção desse parâmetro (VIEIRA *et al.*, 2010).

Kazi e Virupakshi (2013) compararam a remoção de turbidez e DQO da água residuária de curtume tratada com três coagulantes naturais: *Cicer arietinum*; Semente de *Moringa oleífera* e *Cactus opuntia ficus*. A maior redução da turbidez foi encontrada para a *Moringa* com 82,02%, já para a DQO foi, a *Cicer arietinum* com 90%.

Rorato (2013) obteve bons resultados em termos de remoção de cor e turbidez, 70,6% e 97,3% respectivamente, quando utilizando *Moringa oleífera* como auxiliar de coagulação, tendo sido percebida uma redução do coagulante químico (PAC), evidenciando que quando adiciona-se uma solução de *Moringa oleífera* ao processo ocorre uma diminuição do consumo de coagulante químico.

Albuquerque (2016) estudou o potencial da *Moringa oleífera* como coagulante natural no tratamento de água de abastecimento da UFCG- campus Pombal e constatou que o pó triturado de *M. oleífera* demonstrou-se eficiente para o tratamento de água, principalmente na remoção de turbidez.

Guimarães (2020) avaliou o uso de sementes de *Moringa oleífera Lam* como auxiliar de coagulação no tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades e concluiu que a *Moringa oleífera* apresentou remoção da turbidez e cor.

Silva *et al.* (2020) buscaram avaliar a aplicabilidade de sementes de moringa (*Moringa oleífera*) no processo de clarificação do efluente proveniente da lavagem de automóveis, e constataram que houve redução (94%) da turbidez, além da vantagem de ser um produto natural de baixo custo e sem promover alterações significativas no pH e na condutividade das amostras estudadas.

Santana *et al.* (2020) buscaram avaliar o desempenho e viabilidade da aplicação da semente de *Moringa oleífera* como agente coagulador-floculador no tratamento do efluente de uma indústria de tintas e foi possível concluir que a semente de *Moringa oleífera* é eficiente como agente clarificador de efluentes de alta complexidade, sendo uma alternativa sustentável e economicamente viável devido à facilidade de seu cultivo em regiões áridas e tropicais.

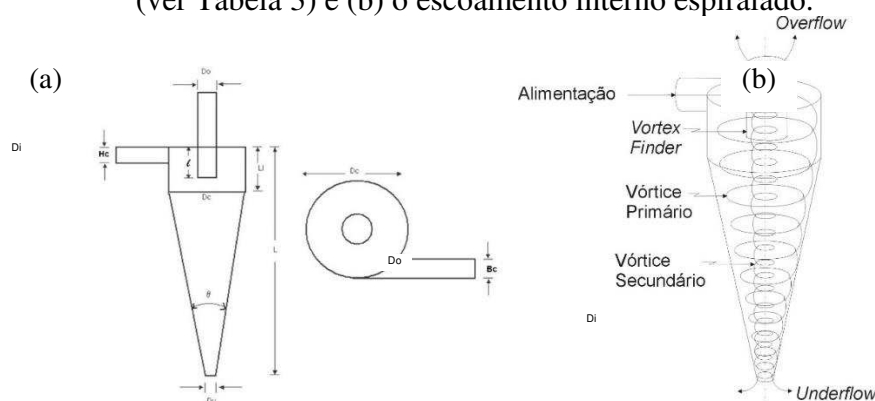
## 2.6 HIDROCICLONE

Hidrociclones são equipamentos que têm sua separação baseada na ação de um campo centrífugo formado em seu interior, podendo ser empregados em separações sólido-líquido, líquido-líquido, gás-líquido ou sólido-sólido (ANJOS, MEDRONHO, KLEIN, 2021).

Chaves (2012) afirmam que o hidrociclone não tem partes móveis e consiste em uma parte cônica ligada a uma parte cilíndrica. A entrada da alimentação é tangencial à porção superior da parte cilíndrica do ciclone.

Uma das aberturas de saída situa-se na extremidade superior da porção cônica e é chamada de tubo de *overflow*, por onde a suspensão diluída é descarregada. Este tubo se projeta para o interior do hidrociclone, sendo esta projeção chamada de *vortex finder* e a outra abertura de saída é o *apex* que descarrega a suspensão concentrada (*underflow*). (CHAVES, 2012), conforme exposto na figura 2.

Figura 2 - Desenho esquemático de um hidrociclone mostrando (a) suas variáveis geométricas (ver Tabela 3) e (b) o escoamento interno espiralado.



Fonte: Adaptado de Medronho, 2003.

Ao entrar no hidrociclone, a suspensão é introduzida tangencialmente pelo tubo de alimentação com certa velocidade, fazendo com que a fase mais densa seja direcionada contra as paredes internas do equipamento e, posteriormente, seguindo o vórtice primário, saia pelo tubo

de *underflow*, a fase mais leve, ou menos densa, será carregada para o orifício de *overflow* devido à geração de um vórtice ascendente (secundário).

O campo centrífugo gerado no interior do hidrociclone é alguns milhares de vezes superior à força da gravidade (KHAROUA *et al.*, 2010).

Uma importante configuração a ser observada no projeto de hidrociclones é a forma tangencial com que o fluido é introduzido na seção de entrada do aparelho. Por atuar com diferentes tipos de materiais nas mais diversas aplicações, a configuração de entrada de um hidrociclone pode sofrer alteração mediante sua empregabilidade (QUINTINO, 2019).

Existem diferentes configurações da seção transversal de entrada, podendo ser circular ou retangular (com o lado mais comprido paralelo ao eixo do aparelho), sendo esta última, ligeiramente melhor, pois, para a mesma área de escoamento, aproxima as partículas da parede na entrada (ALDRICH, 2015).

No hidrociclone atuam dois mecanismos diferentes sobre as partículas. Um deles é a sedimentação em campo centrífugo, devido à componente tangencial do vetor velocidade, através do qual, no caso do material particulado ser mais denso que a fase contínua, as partículas mais pesadas deslocam-se em direção às paredes. O outro mecanismo é o arraste atuando sobre as partículas devido à componente radial da velocidade (CHAVES, 2012).

Keller e Bliesner (1990) afirmam que bacias de sedimentação e hidrociclones separadores de areia, podem ser utilizados para reduzir as dimensões e o custo dos sistemas de filtragem, especialmente quando se utiliza filtro de areia, pois separadores, como os hidrociclones, desempenham importante papel, sendo caracterizados por significativo poder de separação de partículas presentes na água, mantendo constante a perda de carga ao longo do tempo.

O diâmetro da porção cilíndrica do hidrociclone é o parâmetro geométrico de efeito prático mais importante, pois as demais dimensões são usualmente fornecidas como uma fração deste diâmetro. O tamanho de dada geometria de hidrociclone determina tanto seu poder de separação quanto a vazão que o equipamento é capaz de tratar (os diâmetros de saída também afetam essas propriedades) (CHAVES, 2012; RIETEMA, 1961 e MATTA e MEDRONHO, 2000).

Enquanto que, para ciclones a gás, existem várias famílias de ciclones geometricamente similares, para hidrociclones existem apenas duas: os hidrociclones de Rietama e de Bradley, cujas proporções geométricas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3-Proporções geométricas dos hidrociclones de Rietema e de Bradley (ver Figura 2).

Prop. Geom.	Rietema	Bradley
$D_i / D_c$	0,28	0,14
$D_o / D_c$	0,34	0,20
$L / D_c$	5,00	-----
$L_l / D_c$	-----	0,50
$l / D_c$	0,40	0,33
$\theta$	10° a 20°	9°

$D_c$ : Diâmetro do hidrociclone,  $D_i$ : Diâmetro da entrada de alimentação,  $D_o$ : Diâmetro do *overflow*,  $D_u$ : Diâmetro do *underflow*,  $l$ : Comprimento do *vortex finder*,  $L$ : Comprimento do hidrociclone,  $L_l$ : Altura da parte cilíndrica do hidrociclone,  $\theta$ : Ângulo do cone do hidrociclone

O hidrociclone pode ser utilizado como equipamento de desaguamento. Isto é feito variando o diâmetro do orifício de *underflow*: conforme ela diminui (dentro de limites adequados) aumenta a concentração de sólidos no *underflow*. Quando existe interesse em manter controle estreito sobre este parâmetro, os hidrociclones podem ser equipados com dispositivo para regulação contínua do diâmetro do *underflow*. Em outros casos, usa-se um sistema para inserir peças com o diâmetro desejado na parte inferior do equipamento (CHAVES *et al.* 1996).

Os hidrociclones apresentam grandes vantagens em relação a outros equipamentos de separação. Dentre elas, pode-se destacar a grande versatilidade em aplicações, o baixo custo de fabricação, a facilidade de sua instalação, a pouca manutenção requerida, a total ausência de partes móveis, seu tamanho reduzido em relação a outros separadores, as elevadas capacidades e a simplicidade de operação (SVAROVSKY, 2000).

O projeto de hidrociclones, em geral, é baseado em correlações empíricas ou semi-empíricas para dada geometria. Isto é aceitável para determinadas geometrias e/ou aplicações, pois é um método útil para os fabricantes de hidrociclones validarem o desempenho de seus produtos (CHEN *et al.*, 2000). Existem também correlações, a princípio, aplicáveis a qualquer geometria (LYNCH e RAO, 1975; PLITT, 1976; COELHO e MEDRONHO, 2001), mas estas têm acurácia limitada.

Hidrociclones têm sido utilizados em plataformas marítimas de produção de petróleo para a separação do óleo residual contido na água proveniente do separador trifásico gravitacional (BRAGA *et al.*, 2015). Pesquisas mais recentes têm sido realizadas visando substituir estes separadores trifásicos gravitacionais por hidrociclones (ARAÚJO *et al.*, 2020a).

Soccol (2003) avaliou o desempenho de um hidrociclone, do tipo Rietema, para a pré-filtragem da água de irrigação agrícola e pôde concluir que este equipamento desempenha um

alto poder de separação, além de ser compacto sendo recomendado para utilização na irrigação. Cruz (2008) corrobora com esta recomendação, já que, ao avaliar a eficiência de separação de um hidrociclone de geometria “Rietema”, concluiu que este equipamento é eficiente na remoção de partículas sólidas, notadamente para água contendo suspensões de areia, podendo ser utilizado como pré-filtro em sistemas de irrigação.

Cruz e Zanini (2010) avaliaram o desempenho de hidrociclone para pré-separação de partículas sólidas, oriundas dos processos erosivos e do assoreamento dos recursos hídricos. Eles concluíram que o hidrociclone é eficiente em sistemas de irrigação agrícola, com atuação equivalente a filtros de areia.

Tonin (2012) ao avaliar o uso de hidrociclones na irrigação, concluiu que esses equipamentos são recomendados para a irrigação, uma vez que são fáceis de serem construídos, requerem pouca manutenção e apresentam um baixo custo, sendo uma alternativa viável para a irrigação agrícola.

A Estação de Tratamento de Água Actiflo® no município de Ponta Grossa, Paraná, utiliza hidrociclones para a separação de microareia presente na água (WAGNER, WIECHTECH E SZÉLIGA, 2019).

A Equação de Stokes (equação 1) fornece a velocidade terminal de sedimentação ( $v_t$ ) de uma partícula esférica, sedimentando no regime de Stokes (laminar) (CASTILHO E MEDRONHO, 2008):

$$v_t = \frac{(\rho_s - \rho) b d^2}{18 \mu} \quad (1)$$

Onde:

$b$  é a intensidade do campo de forças, sendo  $b = g$  para campo gravitacional ou  $b = \omega^2 r$  para campo centrífugo (caso de hidrociclones);

$\rho_s$  e  $\rho$  são, respectivamente, a densidade da partícula e a densidade do líquido;

$d$  é o diâmetro da partícula;  $\mu$  é a viscosidade do fluido;

$g$  é a aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m s}^{-2}$ );  $\omega$  é a velocidade angular da partícula e

$r$  é a distância radial da partícula em relação ao eixo de rotação.

### 2.6.1 Eficiência de Separação em Hidrociclones

A eficiência total ou global de separação produzida por hidrociclones é dada por (CASTILHO E MEDRONHO, 2008):

$$E_T = \frac{W_{su}}{W_s} \quad (2)$$

O *underflow* do hidrociclone permite a saída de uma fração do fluido que entra pela alimentação, que é conhecida como razão de fluido ( $R_f$ ) e é dada por:

$$R_f = \frac{W_{fu}}{W_f} \quad (3)$$

A Equação 2 considera todas as partículas que deixaram o equipamento pelo *underflow*, mesmo aquelas que lá chegaram somente devido ao efeito de divisão de vazões. Então, para o cálculo da eficiência centrífuga de separação (ou eficiência total reduzida,  $E'_T$ ) deve-se descontar as partículas que são carregadas pelo fluido que deixa o equipamento pelo *underflow*. (Equação 4).

$$E'_T = \frac{E_T - R_f}{1 - R_f} \quad (4)$$

Onde  $E_T$  e  $E'_T$  são as eficiências total e total reduzida,  $W_{su}$  e  $W_s$  são as vazões mássicas de sólidos no *underflow* e na alimentação,  $R_f$  é a razão de fluido e  $W_{fu}$  e  $W_f$  são as vazões mássicas de fluido no *underflow* e na alimentação, respectivamente.

Pode-se definir a eficiência granulométrica  $G$  (Equação 5) como a eficiência de separação calculada para um dado tamanho de partícula (note que a eficiência total,  $E_T$ , é a eficiência global para uma dada distribuição de tamanhos de partículas, considerando, portanto, todos os tamanhos de partículas presentes na distribuição).

A eficiência granulométrica reduzida,  $G'$  (Equação 6), é a eficiência granulométrica corrigida com a razão de fluido,  $R_f$ , à semelhança da correção que gerou  $E'_T$ .

$$G = \frac{W_{su|d}}{W_{s|d}} \quad (5)$$

$$G' = \frac{G - R_f}{1 - R_f} \quad (6)$$



Para o cálculo da eficiência total reduzida através de dados de eficiência granulométrica reduzida é necessário conhecer a distribuição granulométrica das partículas que se deseja separar. Esses dados são usados para gerar uma equação de  $G'$  em função de  $y$  (distribuição cumulativa de partículas menores que dado diâmetro), necessária para integrar-se a Equação 7.

$$E'_T = \int_0^1 G' dy \quad (7)$$

A distribuição cumulativa de partículas menores que dado diâmetro ( $y$ ) pode ser representada, por exemplo, pela equação de Rosin-Rammler (Equação 8) e a eficiência granulométrica reduzida  $G'$  pode ser representada por uma modificação desta mesma equação (Equação 9):

$$y = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{d}{k} \right)^m \right] \quad (8)$$

$$G' = 1 - \exp \left[ -0.693 \cdot \left( \frac{d}{d'_{50}} \right)^n \right] \quad (9)$$

Onde  $k$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros dos modelos,  $d$  é o diâmetro da partícula e  $d'_{50}$  é o diâmetro de corte reduzido, obtido da curva  $G'$  versus  $d$ , para  $G' = 50\%$ .

O expoente  $n$  na Equação 9 é igual a 3,0 para partículas mais densas que o fluido (COELHO E MEDRONHO, 2001).

### 2.6.2 Perfil de Velocidade em Hidrociclones

O vetor velocidade no interior do hidrociclone pode ser decomposto em três componentes: radial, tangencial e axial.

Velocidade Tangencial (Figura 3) inicialmente (próximo à parede) aumenta com o decréscimo do raio, numa relação dada pela Equação 10.

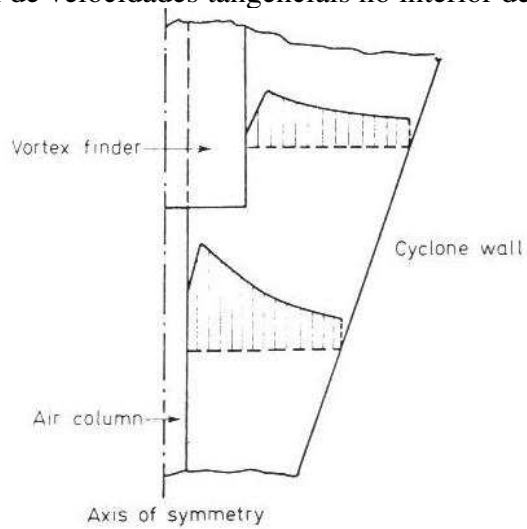
A Velocidade tangencial então passa por um máximo, decrescendo na direção do núcleo central de gás, que surge naturalmente na operação com hidrociclones.

O perfil de velocidade tangencial é razoavelmente independentemente da posição vertical, mas sofre os efeitos do núcleo de gás, da parede e do *vortex finder*.

$$vr^n = \text{Constante} \quad (0.6 \leq n \leq 0.9) \quad (10)$$

Onde  $v$  é a velocidade tangencial e  $r$  é o módulo do vetor posição da partícula.

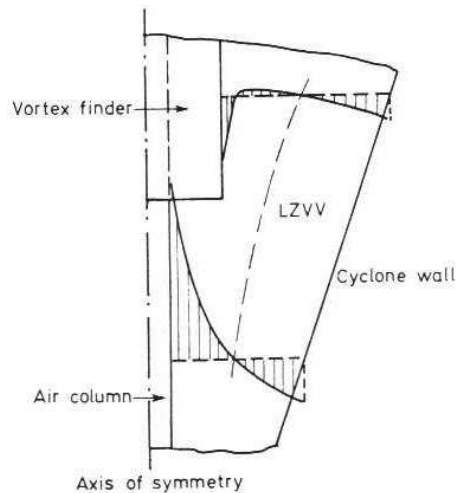
Figura 3 – Perfil de velocidades tangenciais no interior de um hidrociclone.



Fonte: Svarovsky, 1990.

Na velocidade Axial (Figura 4) tanto na porção cônica quanto na cilíndrica tem-se um fluxo descendente próximo à parede. Já na região central o fluxo é ascendente. Ao redor do *vortex finder* um fluxo descendente pode ser observado (*by-pass*).

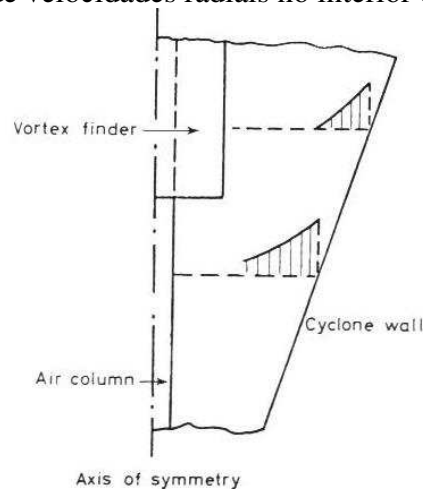
Figura 4– Perfil de velocidades axiais no interior de um hidrociclone.



Fonte: Svarovsky, 2000.

Velocidade Radial (Figura 5) – Seus componentes são muito menores que os dois outros acima e, por isso, é muito mais difícil de ser medida. A velocidade radial é decrescente com o decréscimo do raio, e acima da borda do *vortex finder* e próximo ao topo do hidrociclone há fortes velocidades radiais em direção ao centro e à base do *vortex finder*, causando um *by-pass*.

Figura 5 – Perfil de velocidades radiais no interior de um hidrociclone.



Fonte: Svarovsky, 2000.

Os perfis de velocidade em um hidrociclone são muito complexos, mesmo para a água que possui baixa densidade e viscosidade. Por isso, para hidrociclones com geometrias consideravelmente diferentes ou com líquidos de alta viscosidade pode ser incorreto assumir perfis precisamente similares aos descritos acima (SVAROVSKY, 2000).

Os grupos adimensionais utilizados no dimensionamento e otimização de hidrociclones podem ser encontrados em MEDRONHO, 1984; SVAROVSKY, 1984; CASTILHO E MEDRONHO, 2000.

## 2.7 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A água contém, geralmente, diversos componentes, os quais provêm do próprio ambiente natural ou foram introduzidos a partir de atividades humanas. Para caracterizar uma água são determinados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (SILVA *et al.*, 2011).

As fontes dos parâmetros de qualidade de água possuem características próprias quanto aos poluentes que elas carregam. Por exemplo, no caso dos esgotos domésticos, estes apresentam compostos orgânicos biodegradáveis, nutrientes e microrganismos patogênicos. Já para o caso dos efluentes industriais, há uma maior diversificação nos contaminantes lançados nos corpos de água, em função dos tipos de matérias-primas e processos industriais utilizados (GREGORIO, 2019).

De acordo com a legislação, a definição da qualidade da água faz referência ao tipo de

uso ao qual se destina, e estipula os padrões de qualidade na resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2005 e suas modificações nas resoluções 410 de 2009 e 430 de 2011. Os parâmetros são definidos em limites aceitáveis das substâncias presentes de acordo com o uso da água.

Os parâmetros utilizados para analisar a qualidade de água são diferenciados em físicos, químicos e biológicos e, para cada tipo de amostra, os parâmetros devem estar nos padrões estabelecidos pelas normas vigentes.

Dentre os parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente as águas naturais, estão a cor, a turbidez, os níveis de sólidos em suas diversas frações, a temperatura, o sabor e o odor. Tais parâmetros são determinantes para a caracterização e controle de qualidade de águas para abastecimento público e residuária e tornam as características físicas indispensáveis à maioria dos trabalhos envolvendo qualidade de águas (PIVELI E KATO, 2006).

Os parâmetros químicos envolvem o potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido, fósforo, demanda bioquímica de oxigênio, dentre outros. Estes são os parâmetros mais utilizados para caracterizar a qualidade da água, onde são avaliados o conteúdo orgânico, a força iônica, nutrientes, presença de compostos orgânicos sintéticos, dentre outros.

## **2.7.1 Parâmetros Físicos**

### **2.7.1.1 Turbidez**

Este parâmetro pode ser definido como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre da presença de material em suspensão, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (uT) (APHA, 2005; BRASIL, 2005).

A turbidez indica o grau de atenuação da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a superfície da água, sendo influenciado pelas partículas em suspensão existentes na água que, dependendo do grau de turbidez, vão desde suspensões grosseiras até os coloides (PIVELLI E KATO, 2006).

Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Uma alta turbidez reduz a capacidade de fotossíntese da vegetação submersa, podendo influenciar a produtividade das comunidades aquáticas (GREGORIO, 2019).

### 2.6.1.2 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água indica sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a oportunidade para a ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica (BRASIL, 2006).

Enquanto as águas naturais têm condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem variar de 100 a 10.000  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (BRASIL, 2006; RICHTER E AZEVEDO NETO, 1991).

Segundo Almeida (2010) o padrão de água para irrigação deve apresentar um intervalo de condutividade elétrica de 0-3  $\text{dS.m}^{-1}$  (0 a 3.000  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ).

## 2.6.2 Parâmetros Químicos

### 2.6.2.1 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por meio de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, (demanda bioquímica de oxigênio) sendo o teste realizado num prazo menor e em primeiro lugar, orientando o teste da DBO.

Nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, a DQO é um parâmetro indispensável. Como na DBO<sub>5,20</sub> (quantidade consumida de oxigênio durante 5 dias em uma temperatura de 20°C) mede-se apenas a fração biodegradável, quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais facilmente biodegradável será o efluente (GREGORIO, 2019).

A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes ou não a deterioração biológica. O aumento da concentração da DQO num corpo de água se deve principalmente a despejos de origem industrial e a presença de esgotos domésticos (GREGORIO, 2019).

### 2.6.2.2 - Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (íons g/L) tem como finalidade expressar a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução, definindo o caráter ácido, básico ou neutro da água, sendo importante para a avaliação de sua qualidade, uma vez que pode alterar o sabor e acarretar problemas à vida aquática (BRASIL, 2006).

Valores abaixo de 7 indicam uma água ácida, já valores altos caracterizam águas alcalinas. Água com pH mais ácido pode ser ruim para a utilização industrial, provocando corrosão nas tubulações (SILVA *et al.*, 2011).

Almeida (2010) afirma que o valor do pH da água permitido para uso na irrigação agrícola deve estar entre 6 - 8,5.

Geralmente, a alteração dos valores de pH da água está associada à presença de despejos industriais. Assim a alcalinidade pode ser entendida como a capacidade que tem a água de neutralizar o ácido, já a acidez neutraliza as bases (MAGNAN, 2010).

### 3 METODOLOGIA

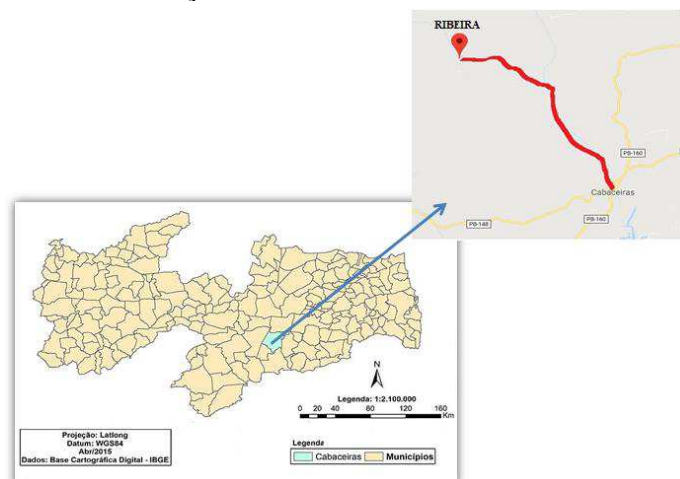
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida nas instalações da lavanderia pública da comunidade rural de Ribeira, localizada no município de Cabaceiras, estado da Paraíba, na microrregião do Cariri Oriental, possuindo coordenadas geográficas (7° 29' 21" Sul, 36° 17' 18" Oeste e altitude 382m acima do nível do mar) inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, na área mais baixa do Planalto da Borborema, na região dos Cariris Velhos.

De acordo com a classificação Köppen, o clima no município de Cabaceiras é do tipo Bsh-árido quente com chuvas de inverno e é caracterizado por climatologia de chuvas anuais de 333,6 mm por ano (AESAs, 2021), com uma grande irregularidade na distribuição temporal das chuvas (FRANCISCO *et al.*, 2015).

O distrito de Ribeira fica a uma distância de 14 km de Cabaceiras (Figura 6) e o acesso à região é via estrada não pavimentada. O município de Cabaceiras possui cerca de 5.611 habitantes, destes aproximadamente 1.000 habitantes moram no distrito em estudo. O Índice de Desenvolvimento Humano é considerado em nível médio (0,61), a pecuária (bovina, caprina e ovina) se constitui na principal base da economia, onde o curtume e o artesanato em couro, o ecoturismo e a caprinocultura também ocupam lugar de destaque (IBGE, 2019).

Figura 6 – Localização do distrito de Ribeira em Cabaceiras, PB.



**Fonte:** Adaptado de Medeiros e Medeiros (2016).

A lavanderia pública possui 10 tanques de alvenaria, como exibido na Figura 7, atendendo a todos os moradores da região e funcionando todos os dias da semana, com uma produção de água cinza de aproximadamente 126m<sup>3</sup>/semana.

Figura 7 – Lavanderia pública de Ribeira em Cabaceiras, PB.



Fonte: Autoria Própria (2021).

A água que abastece a lavanderia pública em estudo é oriunda de um poço próximo à lavanderia e apresenta os parâmetros expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Análise da água que abastece a lavanderia em estudo.

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>
pH	8,5
Turbidez (NTU)	319,0
C.E (dS.m <sup>-1</sup> )	2,13
DQO (mg/L)	47,62

Fonte: Autoria Própria (2021).

Na lavagem das roupas, são utilizadas peças como blusas, camisas, calças e shorts, roupas de cama, mesa e banho de coloração variadas de homens, mulheres, crianças e idosos. Na lavagem, as lavadeiras utilizam os seguintes produtos: sabão em pó ou líquido, amaciante e alvejante líquidos, todos de marcas nacionais.

### 3.2 COLETA DAS AMOSTRAS

A água cinza coletada foi retirada da caixa d'água instalada na lavanderia pública em estudo. As coletas foram realizadas em recipientes plásticos de 5 L, que foram lavados três vezes com a água cinza a ser coletada, sendo inicialmente feita uma homogeneização da água armazenada na caixa d'água e em seguida retiradas as amostras da água cinza.

Para cada repetição do experimento foi realizada uma coleta de amostras, em recipientes plásticos de 5 L de volume, desinfetado previamente com hipoclorito de sódio 1%, conforme método utilizado por Paula e Fernandes (2018).



### 3.3 TRATAMENTOS DA ÁGUA CINZA GERADA NA LAVANDERIA EM ESTUDO

Nessa pesquisa foram empregados três tipos de processos de tratamento de águas cinza:

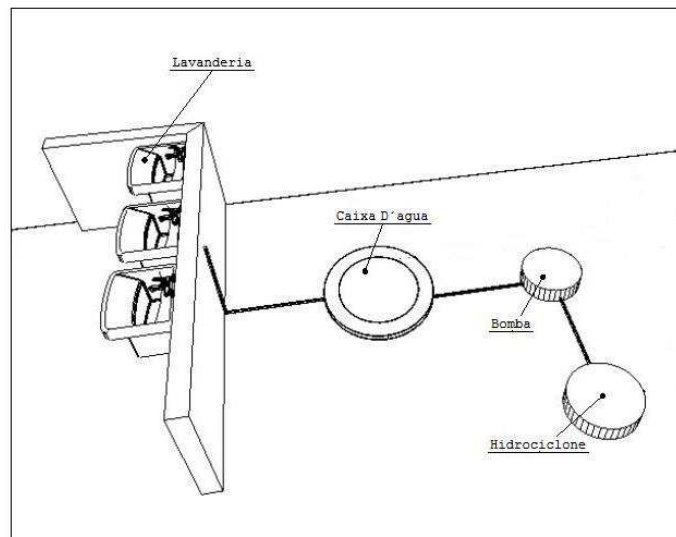
- a) Processo 1: Separação com hidrociclone;
- b) Processo 2: Coagulação, com coagulante químico, Sulfato de Alumínio;
- c) Processo 3: Coagulação, com coagulante biológico, *Moringa oleífera*.

O processo 1 é caracterizado pelo tratamento físico da água cinza, com separação por meio do hidrociclone; no processo 2, foi realizado o tratamento químico, com coagulação utilizando o coagulante químico, Sulfato de Alumínio. Já o processo 3, foi realizado o tratamento biológico, utilizando a *Moringa oleífera* como coagulante biológico. Todos os processos ocorreram no mesmo ambiente em que a água cinza era produzida, evitando assim alterações nas condições ambientais.

#### 3.3.1 Tratamento Físico

O tratamento físico foi realizado nas instalações da própria lavanderia, conforme exposto na Figura 8.

Figura 8 - Planta baixa do sistema de tratamento físico do efluente.



fonte: Autoria própria (2021).

A água cinza produzida na lavanderia pública, foi coletada em uma caixa d'água de 1000L de polietileno, esta foi conectada a uma bomba centrífuga monofásica 2 cv, em que a água cinza era homogeneizada e em seguida bombeada para o hidrociclone, conforme exposto na Figura 8.

Foi instalado um manômetro para controle da pressão localizado próximo da entrada do hidrociclone. A vazão de água cinza na alimentação durante o funcionamento do hidrociclone

foi de 3,02 L/min. A água cinza tratada foi coletada no *overflow* do hidrociclone e em seguida foram realizadas as análises dos parâmetros físico-químicos.

A água que saiu no *underflow*, devido à alta concentração com partículas de maiores densidades (matéria orgânica) foi destinada a comunidade local para a realização de compostagem orgânica.

### 3.3.1.1 Hidrociclone

O hidrociclone utilizado nesta pesquisa é da marca Dorr-Oliver Inc., fabricado em aço inoxidável, com as dimensões dadas na Tabela 5 e apresentado na Figura 9. Uma particularidade deste hidrociclone é que seu duto de alimentação tem seção reta retangular ( $H_c \times D_c$ ) e não circular, como é mais comum.

Tabela 5 – Dimensões do hidrociclone Dorr-Oliver empregado neste trabalho. Todas as dimensões, exceto o grau do ângulo do cone, estão em mm,.

$D_c$	$H_c$	$B_c$	$D_o$	$D_u$	$\ell$	$L_1$	$L$	$\theta$
10	2,4	2,2	2,5	2,3	2,5	7,5	78,3	6°

$D_c$ : Diâmetro do hidrociclone,  $H_c$ : e  $B_c$ : altura e largura do duto de alimentação, respectivamente,  $D_o$ : Diâmetro do *overflow*,  $D_u$ : Diâmetro do *underflow*,  $\ell$ : Comprimento do *vortex finder*,  $L$ : Comprimento do hidrociclone,  $L_1$ : Altura da parte cilíndrica do hidrociclone,  $\theta$ : Ângulo do cone do hidrociclone

Figura 9 – Hidrociclone utilizado nesta pesquisa.



Fonte: Autoria Própria (2021).

### 3.3.1.2 Eficiência do hidrociclone

Para calcular a eficiência total ou global de separação produzida no hidrociclones utilizou-se a seguinte equação (CASTILHO E MEDRONHO, 2008):

$$E_T = \frac{W_{su}}{W_s}$$

A razão de fluído foi calculada por:

$$R_f = \frac{W_{fu}}{W_f}$$

Onde  $E_T$  é a eficiência total,  $W_{su}$  e  $W_s$  são as vazões mássicas de sólidos no *underflow* e na alimentação,  $R_f$  é a razão de fluído e  $W_{fu}$  e  $W_f$  são as vazões mássicas de fluído no *underflow* e na alimentação, respectivamente.

Já a distribuição cumulativa de partículas, foram ajustados pela equação de Rosin-Rammler.

$$y = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{d}{k} \right)^m \right]$$

Onde  $k$  e  $m$  são parâmetros dos modelos,  $d$  é o diâmetro da partícula.

### 3.3.2 Tratamento Químico e Biológico

O tratamento químico consistiu no tratamento da água cinza gerada na lavanderia com o coagulante químico Sulfato de Alumínio.

Para a determinação das concentrações do sulfato de alumínio tomou-se como base a metodologia utilizada por Paula e Fernandes (2018) que utilizaram este coagulante para tratamento de água cinza proveniente de lavatório e chuveiro de uma residência unifamiliar.

O sulfato de alumínio utilizado nesta pesquisa foi adquirido por meio de compra direta, em uma loja localizada no município de Campina Grande, PB. As concentrações de sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$  empregadas foram de 1,0; 3,0 e 5,0 g/L.

O tratamento biológico da água cinza gerada na lavanderia foi realizado com o coagulante biológico proveniente das sementes da *Moringa oleífera*. Seguindo as recomendações de Lo Monaco *et al.* (2012) e Rodrigues (2019) para água residuária, a concentração do coagulante *Moringa oleífera* utilizada foi de 1,0, 3,0 e 5,0 g/L da farinha de Moringa.

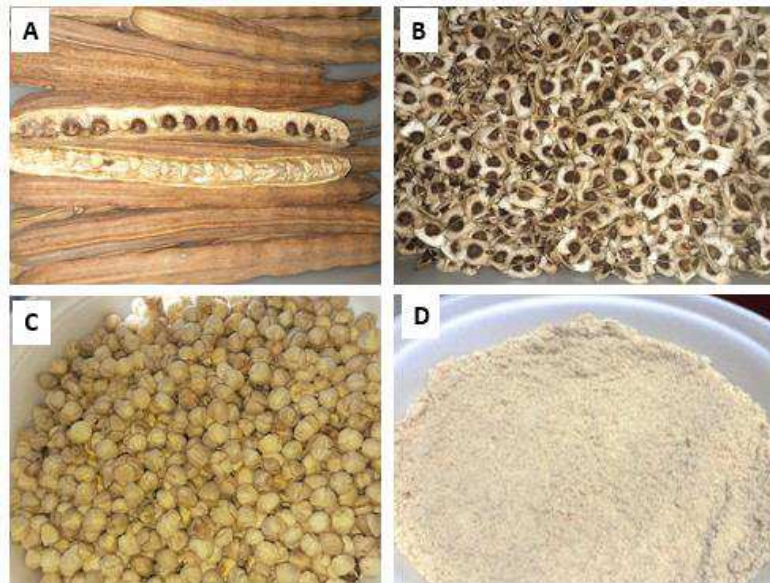
#### 3.3.2.1- Preparo da Farinha de Moringa oleífera

Para o preparo da farinha de *Moringa oleífera* seguiu-se a metodologia utilizada por Rodrigues (2019).

As sementes de *Moringa oleífera* foram colhidas nos arredores da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Pombal e para a obtenção do coagulante em pó de Moringa,

foram retiradas as sementes de dentro da vargem, em seguida as sementes foram previamente descascadas de forma manual com o auxílio de um amassador de alho, secas ao abrigo da luz do sol, trituradas em um liquidificador, peneiradas em malha de 0,8 mm, obtendo-se assim, a farinha da semente de moringa, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10- Vagem da *Moringa oleífera* (A), sementes da Moringa com cascas (B), sem cascas (C) e farinha da Moringa (D).



Fonte: Autoria Própria (2021).

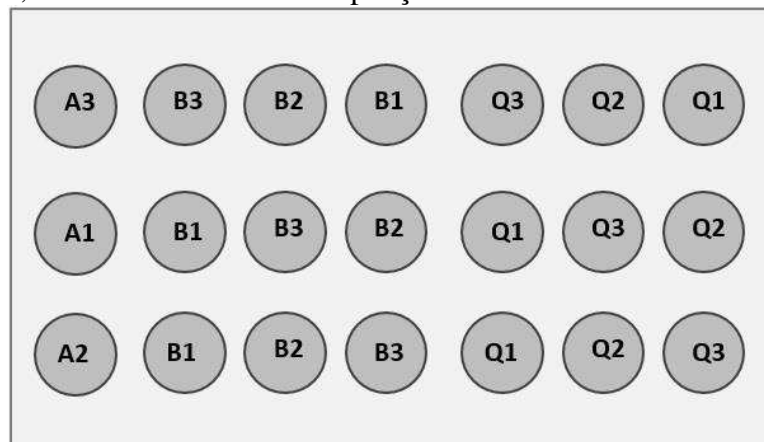
Para este trabalho foi utilizada as sementes descascadas e trituradas, em que Wendling (2019) afirma ser a forma mais simples de produção e esta apresenta-se tão eficiente quanto as outras. O autor ainda explica que a implantação de sistema de tratamento de água em residências isoladas ou comunidades longínquas deve primar pela simplicidade de produção e utilização das sementes como coagulante, o que corrobora com o objetivo deste trabalho que é o tratamento de água cinza para uso na agricultura familiar.

### 3.3.2.2- Condução do Experimento

Os experimentos químico e biológico ocorreram “in loco e consistiu em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), dividido em duas partes, sendo uma parte responsável pelo tratamento químico e a outra pelo tratamento biológico, cada tratamento foi realizado com três repetições.

Estes tratamentos ocorreram de acordo com a aleatorização do croqui (Figura 14), sendo o A representando água cinza bruta; B -tratamento biológico; Q- tratamento químico e os números representam as repetições.

Figura 11 – Croqui do experimento em um delineamento inteiramente casualizado com a água cinza bruta, seis tratamentos e três repetições.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Para o tratamento químico foi utilizado as concentrações de 1, 3, e 5 g/L de sulfato de alumínio, e para o tratamento biológico foram utilizadas as concentrações de 1, 3 e 5g/L da farinha de *Moringa oleífera*.

A água cinza coletada foi colocada em recipientes pet, previamente higienizados, com volume de 1 litro para cada repetição e em seguida foi adicionado o coagulante químico, sulfato de alumínio e o coagulante biológico a farinha de *Moringa oleífera*.

Cada solução foi homogeneizada com auxílio de uma vareta por três minutos até à sua total homogeneização e depois ficaram em repouso por 72 horas, conforme sugerido por Franco *et al.* (2017) de que se deve utilizar a moringa como coagulante no prazo máximo de três dias, uma vez que sua eficiência como coagulante guarda relação direta com o tempo de armazenamento (OKUDA *et al.*, 2001; CARDOSO *et al.*, 2008; VALVERDE *et al.*, 2013 e KATAYON *et al.*, 2006).

Vale ressaltar que, após o preparo da farinha da Moringa esta foi adicionada imediatamente nas amostras de água cinza a ser tratada. Após o período de repouso das amostras foram realizadas as análises dos parâmetros físico-químicos.

### 3.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

As variáveis analisadas na pesquisa foram pH, Turbidez (NTU), Condutividade Elétrica ( $\text{dS.m}^{-1}$ ) e Demanda Química de Oxigênio DQO ( $\text{mg/L}$ ). Toda obtenção das variáveis em estudo seguiram as instruções do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA *et al.*, 2005), de acordo com o apresentado no Tabela 6.

Tabela 6- Metodologias empregadas nas análises dos parâmetros estudados.

<b>Parâmetro Analisado</b>	<b>Unidade</b>	<b>Metodologia</b>
pH	-	pHmetro
Turbidez	NTU	Turbidímetro
Condutividade Elétrica	dS.m <sup>-1</sup>	Condutivímetro
DQO	mg/L	Frascos Padrão

**Fonte:** APHA *et al.* (2005).

As análises dos parâmetros pH, Turbidez e Condutividade Elétrica foram realizados *in loco*, após cada tratamento com o pHmetro, Turbidímetro e Condutivímetro, respectivamente. Já o parâmetro DQO foi analisado no Laboratório de Referência em Dessalinização da Universidade Federal de Campina Grande/LABDES, Campus Sede, e as amostras foram acondicionadas em um isopor e levadas imediatamente ao LABDES.

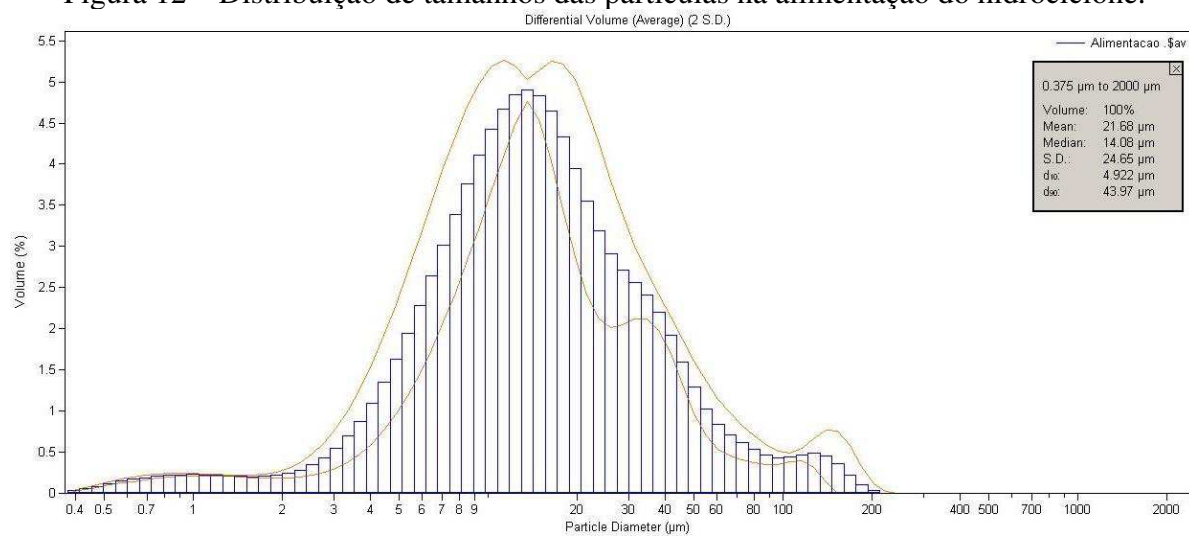
As análises estatísticas dos dados foram realizadas no software R, por meio de técnicas de estatística descritiva, teste t e análise de variância (ANOVA), além do teste de Tukey, representado pelas letras “a”, “b”, “c” e “d” nas tabelas em que são apresentados os resultados, havendo letras iguais significa que elas são estatisticamente iguais, sendo os testes não paramétricos de Kruskal-Willis e Wilcox utilizados quando as suposições do teste de ANOVA não foram concretizadas. O nível de significância considerado foi de 5%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 HIDROCICLONE

A seguir, tem-se os resultados da separação de partículas realizada pelo hidrociclone para a alimentação e *overflow* (diluído). Os resultados foram obtidos a partir da frequência relativa em tabela de dados. A Figura 12 apresenta o volume (%) versus o diâmetro de partículas ( $\mu\text{m}$ ) da alimentação.

Figura 12 – Distribuição de tamanhos das partículas na alimentação do hidrociclone.



Fonte: Autoria Própria (2021).

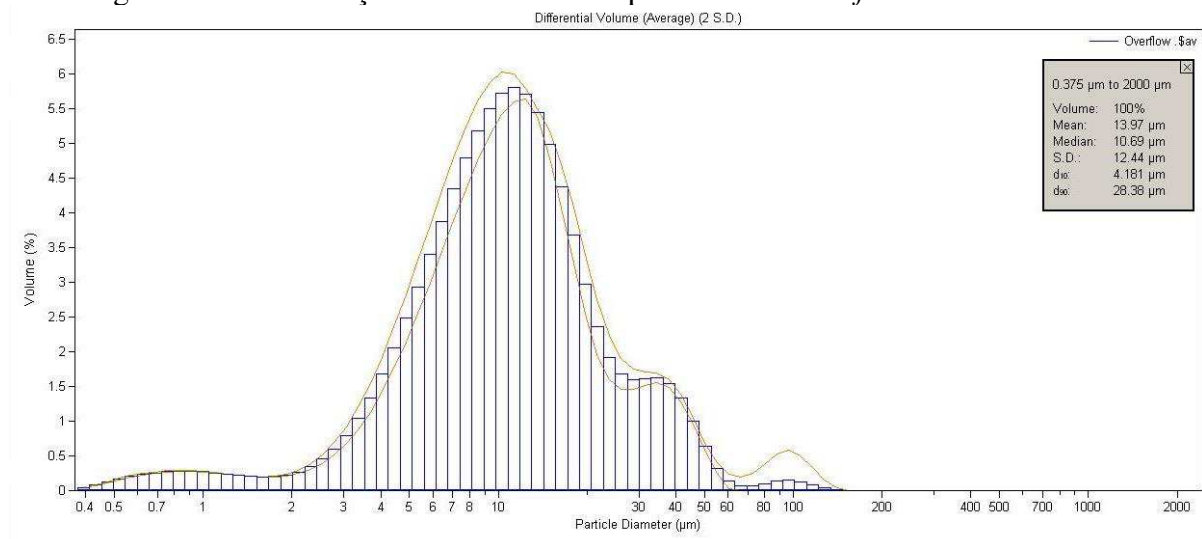
Na alimentação, a vazão foi de 3,02 L/min e o diâmetro médio das partículas correspondentes às porcentagens passantes acumulativas de 10, 50, e 90 % foram de 5,0 mm, 14,1 mm e 44,0  $\mu\text{m}$ , respectivamente. O  $[d]_{50\%} = 14,1 \text{ mm}$  representa que, 50 % das partículas, que se encontram na alimentação do hidrociclone, têm um diâmetro  $\leq 14,1 \mu\text{m}$ .

Por outro lado, 75 % das partículas apresentam-se com tamanho menor que 24,8  $\mu\text{m}$ , o que corrobora com os dados de Santana (2017), que trabalhando com classificação de partículas em hidrociclone para beneficiamento de caulim na Região do Junco do Seridó/PB, encontrou valores de  $[d]_{10\%}$ ,  $[d]_{50\%}$  e  $[d]_{90\%}$  iguais a 1,6 mm, 7,7 mm e 60,0  $\mu\text{m}$ . Naquele trabalho, o tipo de partícula mais encontrado teve cerca de 15  $\mu\text{m}$  de diâmetro, onde partículas de vários outros tamanhos também são encontradas, mas elas aparecem em menor proporção e isso se dá devido a presença de alguns tipos de matéria orgânica presente na água cinza, bem como alguns sabões utilizados na lavagem das roupas.

A Figura 13 apresenta o volume (%) versus o diâmetro de partículas ( $\mu\text{m}$ ) do *Overflow*. Os ensaios foram realizados à pressão constante de 4 bar (400 kPa) e a vazão foi de 1,49 L/min.

Observa-se que no *overflow*, o diâmetro médio das partículas correspondente às porcentagens passantes acumulativas de 10, 50, e 90 % ( $[d]_{10\%}$ ,  $[d]_{50\%}$  e  $[d]_{90\%}$ ) foram de 4,2 mm, 10,7 mm e 28,4  $\mu\text{m}$ , logo, verifica-se que os valores de  $[d]_{10\%}$ ,  $[d]_{50\%}$  e  $[d]_{90\%}$  foram todos menores que os valores correspondentes na alimentação, além disso, as partículas de tamanho maior que aproximadamente 134  $\mu\text{m}$ , praticamente desapareceram nas amostras do *overflow*, evidenciando assim que o hidrociclone está direcionado as maiores partículas para o *underflow*, deixando, portanto, a água que sai pelo *overflow* com melhor qualidade, além de evitar o entupimento das tubulações utilizadas na irrigação.

Figura 13 – Distribuição de tamanhos das partículas no *overflow* do hidrociclone.



Fonte: Autoria Própria (2021).

A razão de fluido neste trabalho foi de 50,66% e verifica-se uma eficiência de remoção do hidrociclone de 80,77%, valor que corrobora com a pesquisa realizada por Quintino (2019) que realizou a separação de partículas em soluções de sacarose e obteve uma eficiência de separação de 73,1 a 93,3%, ao variar a pressão.

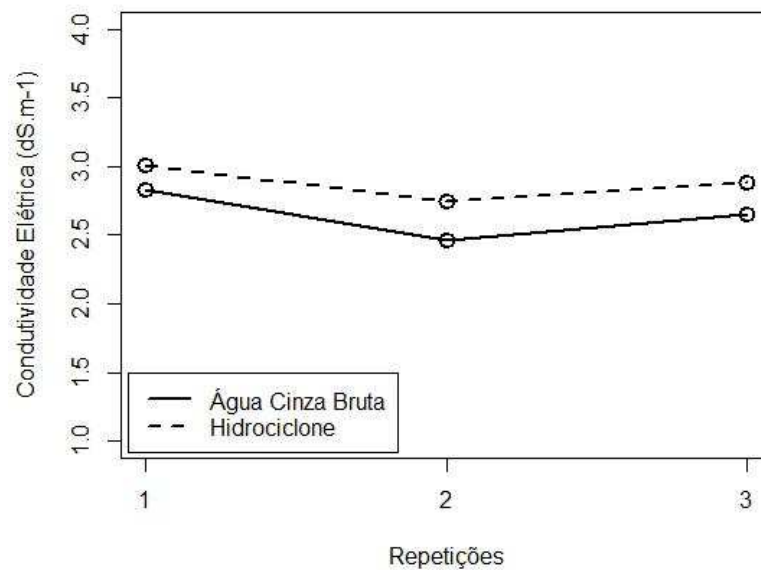
Socool (2003) obteve uma eficiência acima de 90%, ao avaliar o uso de hidrociclone atuando como pré-filtro da água de irrigação. Cruz e Zanini (2010) obteve uma eficiência total de remoção do hidrociclone de 92,31% ao avaliar a capacidade do hidrociclone em separar partículas sólidas presentes na água de irrigação.



## 4.2 TRATAMENTO FÍSICO

O tratamento físico foi realizado com o hidrociclone e, conforme se pode observar na Figura 14, a condutividade elétrica foi maior para a água tratada, em todas as repetições do experimento. A água cinza bruta obteve um valor médio de  $2,65 \text{ dS m}^{-1}$  já a água tratada obteve uma média de  $2,88 \text{ dS m}^{-1}$ .

Figura 14 - Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) da água cinza bruta e do tratamento físico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

O teste t realizado para comparar as médias dos dois grupos (água cinza bruta e hidrociclone) foi significativo ( $p\text{-valor}=0,0090$ ), e comprovou a diferença entre a água cinza bruta e a água tratada, confirmando que estatisticamente a condutividade elétrica da água tratada foi maior.

Os valores encontrados nesta pesquisa para a CE estão de acordo com os resultados encontrados na pesquisa de Sousa *et al.* (2020), em que analisou o tratamento de água cinza com filtração por areia e brita e obteve um aumento da condutividade elétrica que era de  $1,20 \text{ dS m}^{-1}$  e passou para  $1,52 \text{ dS m}^{-1}$ .

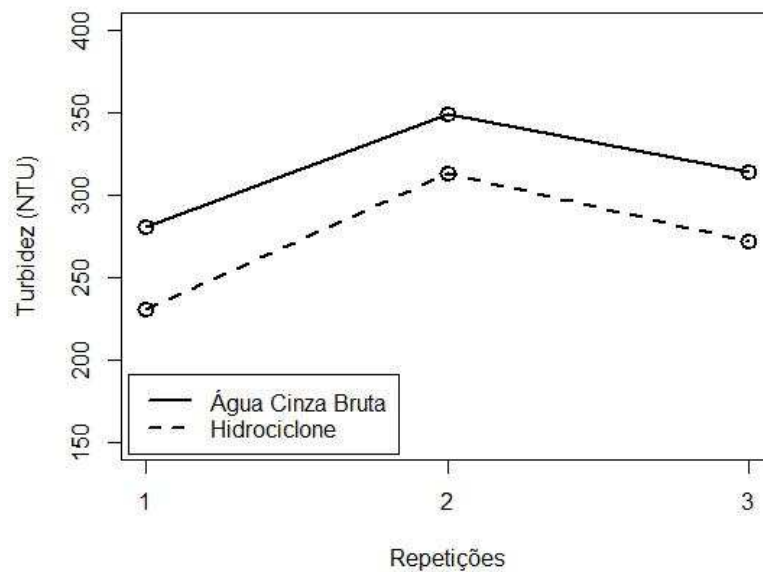
Pode-se associar que o aumento da CE é consequência do aumento da salinidade da água, visto que as partículas de maiores densidades foram retiradas através do *underflow* ficando a água tratada com maior concentração de íons dissolvidos. Além disso, a água que abastece a lavanderia já apresenta uma CE elevada em torno de  $2,13 \text{ dS m}^{-1}$ .

Tais resultados diferem dos valores obtidos na pesquisa de Sousa *et al.*, (2020) que usou uma camada vegetal associada a um tratamento de filtração e obteve uma diminuição na CE,

devido à absorção da água pela camada vegetal, reduzindo a quantidade de íons presentes na água.

Quanto à turbidez, pode-se observar na Figura 15 que houve uma diminuição no valor da turbidez. Na água cinza bruta era de 314,5 NTU e, após o tratamento no hidrociclone, este valor foi reduzido para 217,6 NTU, o que foi comprovado no teste t ( $p$ -valor=0,0045).

Figura 15 – Turbidez (NTU) da água cinza bruta e do tratamento físico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Os resultados da presente pesquisa concordam com os da pesquisa de Takassugui, Arantes e Jesus (2019) que ao utilizarem filtro de areia conseguiram diminuir a turbidez da água de 8,71 para 1,23 NUT. Vieira (2020) ao realizar tratamento de água cinza em *wetlands* também obteve uma diminuição na turbidez passando de 65,4 para 5,06 NUT.

Oliveira (2019) ao avaliar o tratamento de água cinza com um sistema de wetland construídos (SWC) com filtros de areia e brita e plantas locais (macrófitas) obteve redução de 70% da turbidez.

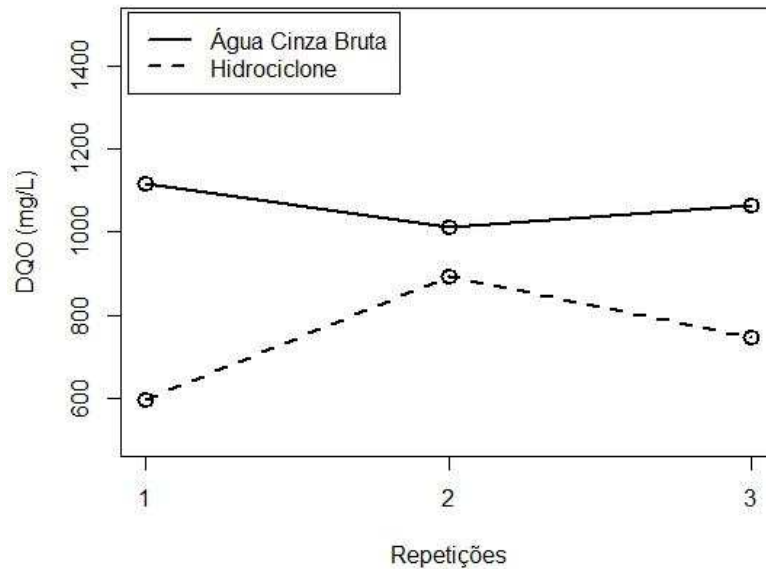
O pH da água cinza e o da água tratada foram de 8,8 (pH básico), justifica-se esses valores pois o tratamento físico retirou partículas em suspensão presentes na água.

Estes resultados concordam com o da pesquisa de Dombroski *et al.* (2019) que utilizando filtros, como areia, brita e seixo para o tratamento de água cinza em residências rurais localizadas em região semiárida do nordeste brasileiro não obteve alteração no pH da água cinza.

Quanto ao parâmetro de DQO (Figura 16), foi possível identificar uma redução em todas

as repetições. A água cinza bruta apresentou 1.065 mg/L e, após passar pelo hidrociclone teve seu valor diminuído para 595,2 mg/L em consonância com a separação de partículas realizada pelo hidrociclone.

Figura 16- DQO (mg/L) da água cinza bruta e do tratamento físico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Porém no teste t a diferença entre as médias não foi significativa ( $p$ -valor = 0,0551), sendo assim, a DQO da água cinza bruta foi estatisticamente igual à DQO do hidrociclone.

Pereira *et al.* (2019), ao avaliarem o tratamento das águas cinza empregando filtros de esterco e carvão, obtiveram uma diminuição da DQO em que de 482 mg/L da água cinza bruta passou a 601 mg/L, com filtro de esterco, e 263 mg/L para filtro de carvão vegetal, a diferença de valores deve-se ao fato de que o esterco incorporou carga orgânica ao efluente tratado.

Knupp (2013) utilizando *wetlands* de fluxo horizontal para o tratamento de águas cinzas obteve uma eficiência de remoção de 81% de DQO. Essa variação nos resultados comprova que as águas residuárias dependem de sua origem e das condições de uso.

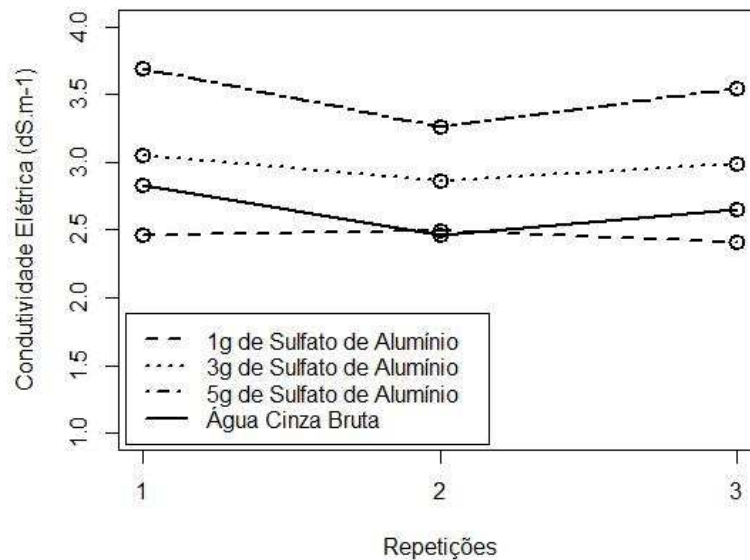
#### 4.3 TRATAMENTO QUÍMICO

Conforme se observa na Figura 17, o nível de tratamento com 5g/L de Sulfato de alumínio apresentou maior condutividade elétrica do que os demais tratamentos, seguido pelo 3g/L.

O aumento da condutividade elétrica nas águas tratadas, justifica-se, devido ao processo de coagulação em que quando o agente coagulante é adicionado na água ocorre uma série de reações de hidrólise que proporcionam o aumento do teor de íons hidrogênio (H+).

Estes valores corroboram com o da pesquisa de Silva *et al.* (2020) que utilizando o sulfato de alumínio em pó para tratamento de água no município de Sumé-PB obteve uma condutividade elétrica de  $3,26 \text{ dS m}^{-1}$  para uma água bruta com  $3,07 \text{ dS m}^{-1}$ .

Figura 17- Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) na água cinza bruta e após tratamento químico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

E são superiores ao da pesquisa de Silva (2019) que avaliou o tratamento de água cinza no Município de Sumé-PB com o coagulante sulfato de alumínio em solução (20g/L) e obteve uma variação da condutividade elétrica entre  $1,01 \text{ dS m}^{-1}$  e  $1,48 \text{ dS m}^{-1}$  para uma condutividade elétrica da água bruta igual a  $1,68 \text{ dS m}^{-1}$ , verificando-se poucas alterações para este parâmetro.

Na tabela 7, verificamos que houve diferença significativa ( $p\text{-valor} = 0,0002$ ) entre os tratamentos, ou seja, estaticamente os tratamentos foram diferentes, em que água tratada a uma concentração de 5g/L obteve maior média ( $3,5 \text{ dS.m}^{-1}$ ), seguido por 3g/L ( $2,97 \text{ dS.m}^{-1}$ ), água cinza bruta ( $2,65 \text{ dS.m}^{-1}$ ) e 1g/L ( $2,45 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Já o tratamento com 1g/L de sulfato de alumínio apresentou condutividade elétrica estatisticamente igual a água cinza bruta.

Tabela 7 - Análise da condutividade elétrica, em  $\text{dS m}^{-1}$ , para tratamento químico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey.

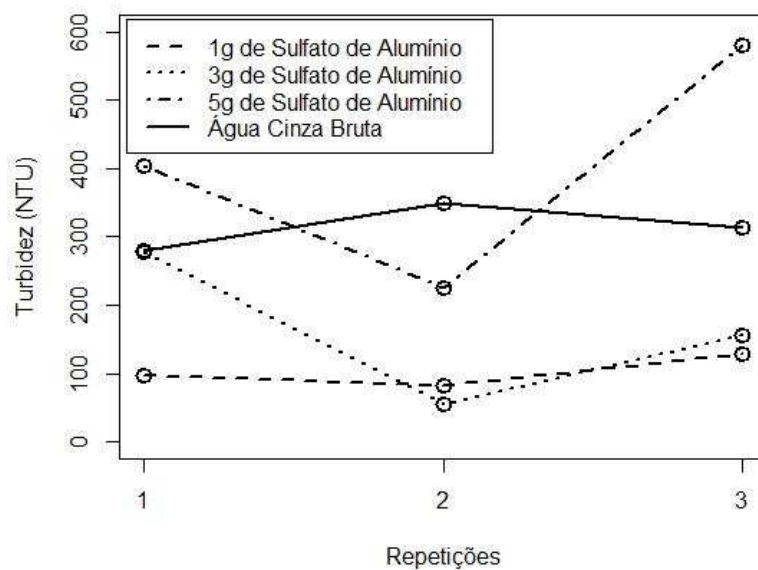
Tratamento	Média	P-valor
1g Sulfato de Alumínio	$2,45^c$	0,0002
3g Sulfato de Alumínio	$2,97^b$	
5g Sulfato de Alumínio	$3,5^a$	
Água Cinza Bruta	$2,65^{bc}$	

Fonte: Autoria Própria (2021)

Em relação á turbidez, houve redução deste parâmetro na água tratada, conforme pode-se observar na Figura 18. A turbidez apresentou uma variação média de 102 NTU a 403 NTU (Tabela 8), para as diferentes concentrações.

A menor concentração de sulfato utilizada (1g/L) foi a que apresentou maior redução na turbidez.

Figura 18- Turbidez (NTU) da água cinza bruta e após o tratamento químico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

O valor encontrado para a turbidez está dentro da faixa reportada por Ghaitidak e Yadav (2013) que foi de 14-440 NTU e Boyjoo, Pareek e Ang (2013) que obteve 328-444 NTU e maior que o valor obtido por Rodrigues (2019) que foi de 73,2-99,1 NTU, sendo que todos realizaram tratamento de água cinza proveniente de lavanderias e máquinas de lavar roupas.

Realizando a análise de variância (Tabela 1), confirma-se que houve diferença significativa ( $p$ -valor 0,0307) entre os tratamentos, sendo o nível de 5g/L estatisticamente diferente de 1g/L, porém igual aos níveis 3g/L e água cinza bruta.

Tabela 8- Análise da Turbidez, em NTU, para tratamento químico expressa pela média, P-valor da análise de variância e Teste de Tukey.

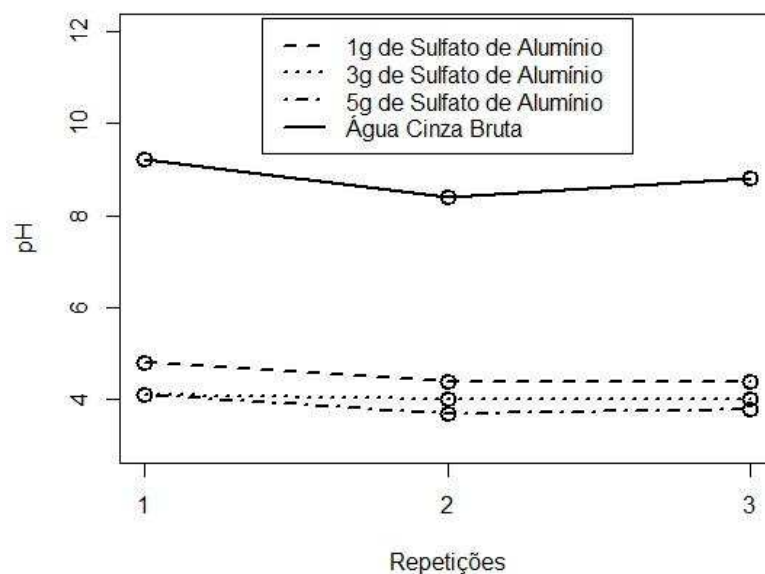
Tratamento	Média	P-valor
1g Sulfato de Alumínio	102,13 <sup>b</sup>	0,0307
3g Sulfato de Alumínio	162,23 <sup>ab</sup>	
5g Sulfato de Alumínio	403,33 <sup>a</sup>	
Água Cinza Bruta	314,5 <sup>ab</sup>	

Fonte: Autoria Própria (2021).

Para o pH, a água cinza bruta estudada apresentou um pH médio de 8,80, básico (Tabela 12). Em pesquisa realizada por Silva (2019), no município de Sumé-PB, a água cinza bruta proveniente de máquina de lavar roupas apresentou um pH de 10,04. Já Monteiro, Sezerino e Philippi (2015), observaram em sua pesquisa um pH de 8,3 para amostras de águas cinzas.

Observa-se na Figura 19 que após o tratamento com o sulfato de alumínio, o pH diminuiu consideravelmente, apresentando-se ácido, com médias (Tabela 9) aproximadamente de 4,5; 4,0 e 3,9 para concentrações de 1g/L, 3g/L e 5g/L.

Figura 19- pH da água cinza bruta e após tratamento químico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Quanto maior a concentração do coagulante, menor foi o pH da água, por exemplo, para a concentração de 5g/l de sulfato de alumínio o pH foi de 3,9.

Os valores dessa pesquisa foram maiores do que os valores obtidos na pesquisa de Silva (2019) que tratou águas cinza com sulfato de alumínio e obteve os valores de pH entre 2,06 e 2,72.

Cunha *et al.* (2019) afirmam que o pH ácido se deve a influência do caráter ácido do sulfato de alumínio.

A análise de variância (Tabela 9), apresentou-se significativa ( $p$ -valor < 0,01), ou seja, houve diferença no pH entre as concentrações utilizadas, de acordo com o teste Tukey, a água cinza bruta apresentou maior pH sendo estatisticamente diferente da água tratada com sulfato de alumínio.

Tabela 9- Análise do pH para o tratamento químico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey.

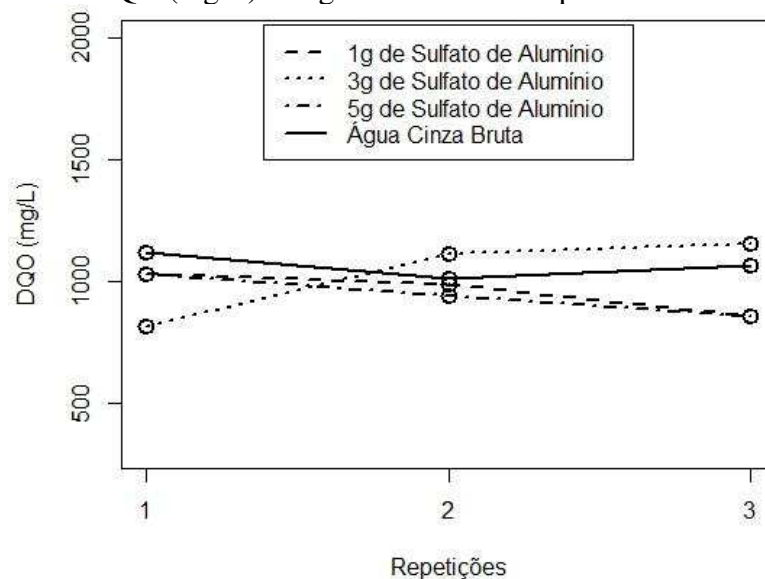
Tratamento	Média	P-valor
1g Sulfato de Alumínio	4,53 <sup>b</sup>	< 0,01
3g Sulfato de Alumínio	4,03 <sup>bc</sup>	
5g Sulfato de Alumínio	3,87 <sup>c</sup>	
Água Cinza Bruta	8,80 <sup>a</sup>	

Fonte: Autoria Própria (2021).

A concentração de 1g/L de sulfato de alumínio foi estatisticamente igual a concentração de 3g/L, porém diferente da de 5g/L. As concentrações de 3g/L e 5g/L apresentaram pH estatisticamente iguais.

O valor do parâmetro de DQO da água cinza bruta obtida nesta pesquisa foi de 1065 mg/L, associa-se esses valores aos produtos utilizados na lavagem das roupas, como sabão e amaciante, como pelo reduzido consumo de água per capita, como relatam Halalsheh *et al.* (2008), como pode-se observar na Figura 20 houve uma leve redução para este parâmetro.

Figura 20- DQO (mg/L) da água cinza bruta e após o tratamento químico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Após os tratamentos, a variável DQO teve uma leve redução para 954 mg/L; 1026 mg/L; 940 mg/L para as concentrações de 1, 3 e 5 g/L de sulfato de alumínio, respectivamente, com redução de aproximadamente 12 % na DQO com uso da maior concentração de sulfato de alumínio, tendo havido, conseqüentemente, redução da matéria orgânica no efluente tratado.

A taxa de redução de DQO pode ser influenciada pelo tempo e pela concentração do coagulante, sendo indicado a aplicação de 5g/L para as condições desta pesquisa

Conforme pode observar na Tabela 10 confirma-se, pela análise de variância, que não houve diferença significativa na DQO entre os tratamentos.

Tabela 10- Análise da DQO, em mg/L, para tratamento químico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey.

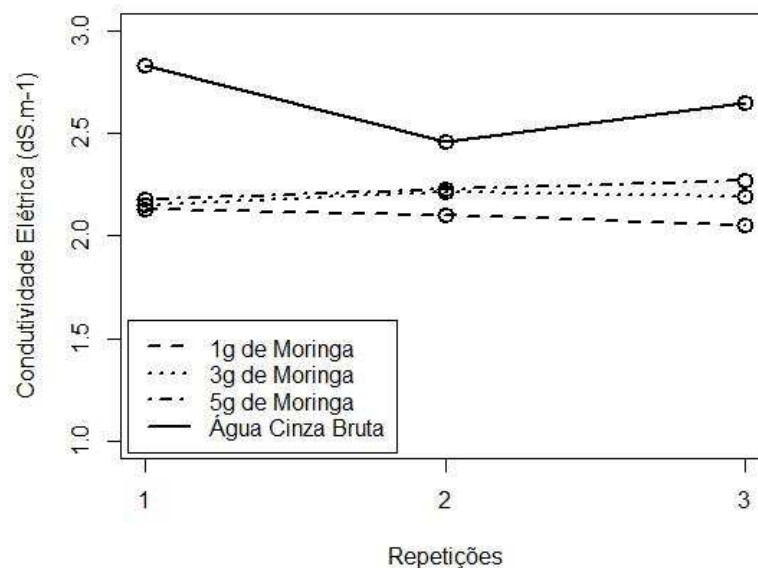
Tratamento	Média	P-valor
1g Sulfato de Alumínio	954	0,53
3g Sulfato de Alumínio	1026	
5g Sulfato de Alumínio	940	
Água Cinza Bruta	1065	

Fonte: Autoria Própria (2021)

#### 4.4 TRATAMENTO BIOLÓGICO

Como pode-se observar na Figura 21 a condutividade elétrica teve uma pequena variação. A água tratada com 1 g/L, 3 g/L e 5 g/L de *Moringa oleífera* apresentou valores respectivamente de 2,10 dS m<sup>-1</sup>; 2,18 dS m<sup>-1</sup> e 2,23 dS m<sup>-1</sup>.

Figura 21-Conductividade elétrica (dS m<sup>-1</sup>) da água cinza bruta e após o tratamento biológico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Os valores encontrados nesta pesquisa estão acima dos valores encontrados por Silva (2019) que realizou o tratamento de água cinza utilizando sementes de Moringa em solução (20g/L de água destilada) e obteve valores para a condutividade elétrica entre 1,68 dS m<sup>-1</sup> e 1,76 dS m<sup>-1</sup>. Silva *et al* (2020) trabalharam com uma água cinza bruta com CE de 1,61 dS m<sup>-1</sup> e ao aplicar o tratamento com sementes de Moringa obteve 1,55 dS m<sup>-1</sup>.

Corroborando com os resultados da pesquisa de Junho *et al.* (2020) que tratou água



cinza proveniente de máquinas de lavar com sementes de Moringa e obtiveram uma condutividade elétrica de  $1,79 \text{ dS m}^{-1}$  com uma água cinza bruta de  $1,75 \text{ dS m}^{-1}$ .

Ao realizar a análise de variância verificou-se que houve diferença entre as concentrações ( $p\text{-valor}=0,0006$ ). Além disso, de acordo com a Tabela 11, é possível identificar pelo teste de Tukey que a água cinza bruta apresentou condutividade elétrica diferente das três concentrações, sendo que as dosagens de  $1\text{g/L}$ ,  $3\text{g/L}$  e  $5\text{g/L}$  de moringa apresentaram condutividade elétrica estatisticamente iguais.

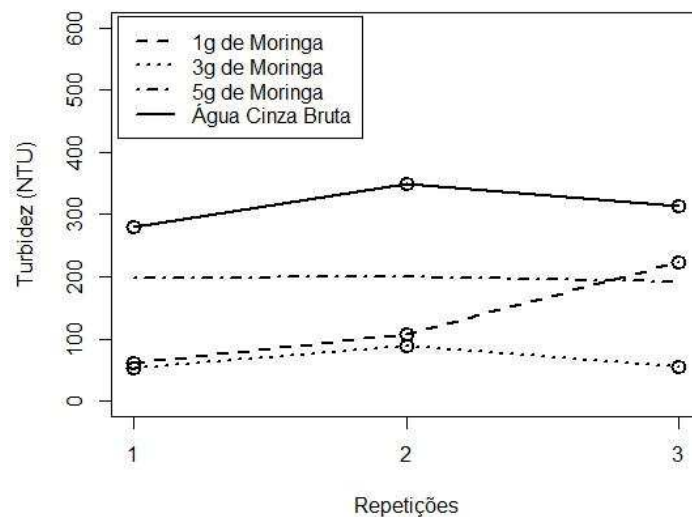
Tabela 11- Análise da condutividade elétrica, em  $\text{dS m}^{-1}$ , para tratamento biológico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey.

Tratamentos	Média	P-valor
1g Moringa	2,09 <sup>b</sup>	0,0006
3g Moringa	2,18 <sup>b</sup>	
5g Moringa	2,23 <sup>b</sup>	
Água Cinza Bruta	2,65 <sup>a</sup>	

Fonte: Autoria Própria (2021)

Na Figura 22, tem-se a turbidez do tratamento biológico e observa-se, para as três concentrações de Moringa utilizada, que houve diminuição da turbidez.

Figura 22- Turbidez (NTU) da água cinza e após o tratamento biológico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

A concentração de Moringa que mais reduziu a turbidez foi a de  $3\text{g/L}$  obtendo um resultado de  $66 \text{ NTU}$ . Esses valores estão em conformidade com a pesquisa de Silva (2019) que ao estudar o tratamento de água cinza com sementes de Moringa tinha uma turbidez inicial da água bruta de  $233 \text{ NTU}$  e após o tratamento chegou a obter  $21 \text{ NTU}$ .

O teste para comparar o tratamento com as diferentes concentrações mostrou-se significativo (Tabela 12), no qual a água cinza bruta é estatisticamente diferente da água tratada. Além disso, o tratamento com 1g/L de moringa apresentou-se igual ao tratamento com 3g/L e 5g/L, mas os tratamentos com 3g/L e 5g/L são estatisticamente diferentes.

Tabela 12- Análise da Turbidez, em NTU, para tratamento biológico expressada pela média, P-valor do teste de Kruskal-Wallis e Teste de Wilcox.

Tratamento	Média	P-valor
1g Moringa	130 <sup>bc</sup>	0,0301
3g Moringa	66 <sup>c</sup>	
5g Moringa	196 <sup>b</sup>	
Água Cinza Bruta	315 <sup>a</sup>	

**Fonte:** Aatoria Própria (2021).

Os valores do presente estudo estão um pouco superiores que os de Junho *et al.* (2020). Estes autores avaliaram o tratamento da água cinza proveniente de máquina de lavar utilizando sementes de Moringa e obtiveram 178 NTU para a água tratada, enquanto a água bruta possuía 210 NTU.

Já Santana *et al.* (2020) ao avaliarem o desempenho e viabilidade da aplicação da semente de *Moringa oleífera* como agente coagulador-floculador no tratamento de efluente obteve uma eficiência de 97%.

A eficiência do tratamento por coagulação na remoção de turbidez também foi avaliada por Noutsopoulos *et al.* (2018) que empregou diversos tipos de tratamento para água cinza, sendo que nos sistemas de tratamento onde foi incluída a etapa de coagulação, chegou-se à maior eficácia na remoção de turbidez.

Keogh *et al.* (2017) buscando reduzir a turbidez da água utilizou como coagulante a Moringa em forma de pó e alcançaram 85% de redução da turbidez de amostras de água bruta, para um tempo de 24 horas.

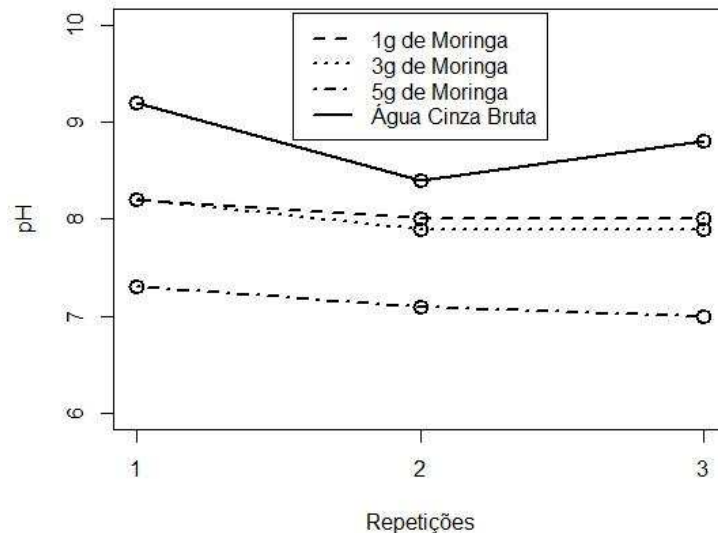
Paula, Ilha e Andrade (2014), também aplicaram as sementes de moringa no tratamento de amostras de água bruta e afirmaram que um tempo de tratamento mais prolongado se faz necessário para que ocorra a liberação das proteínas catiônicas ativas responsáveis pelo efeito do coagulante, porém este período não pode ultrapassar 72 h pois conforme Franco *et al.* (2017).

A redução da turbidez se deve ao fato de que as sementes de *Moringa oleífera* contêm proteínas com baixo peso molecular, que serve como agente clarificador e desestabiliza as partículas presentes na água (ALMEIDA, 2018).

Para o parâmetro de pH, o da água bruta obteve média de 8,8 (Tabela 16). Apresentaram valores na mesma faixa as pesquisas de Edwin, Gopalsamy e Muthu (2014) e Bazzarella (2005). Já nos estudos de Manouchehri e Kargari (2017) o pH da água bruta variou de 9,3-10,0.

A água tratada com as concentrações de 1g/L; 3g/L e 5g/L de Moringa apresentaram uma média aproximada de 8,1, 8,0 e 7,1, respectivamente, corroborando com os valores da pesquisa de Silva (2020) que utilizando sementes de Moringa em águas cinza obteve um pH variando entre 7,8 e 8,8. Como observa-se na Figura 23, a água cinza bruta apresentou pH maior do que a água tratada com processo biológico.

Figura 23- pH da água cinza bruta e após o tratamento biológico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Os dados da Figura 23 podem ser confirmados na Tabela 13, em que o teste de análise de variância foi significativo ( $p$ -valor = 0,0002), sendo que o teste Tukey confirmou que o pH da água cinza bruta foi estatisticamente diferente dos demais, o nível 5g/L de moringa também foi diferente dos demais. Já os tratamentos com 1g/L e 3g/L são considerados estatisticamente iguais.

Tabela 13- Análise do pH para tratamento biológico expressada pela média, P-valor da análise de variância e Teste Tukey.

Tratamento	Média	P-valor
1g Moringa	8,1 <sup>b</sup>	0,0002
3g Moringa	8,0 <sup>b</sup>	
5g Moringa	7,1 <sup>c</sup>	
Água Cinza Bruta	8,8 <sup>a</sup>	

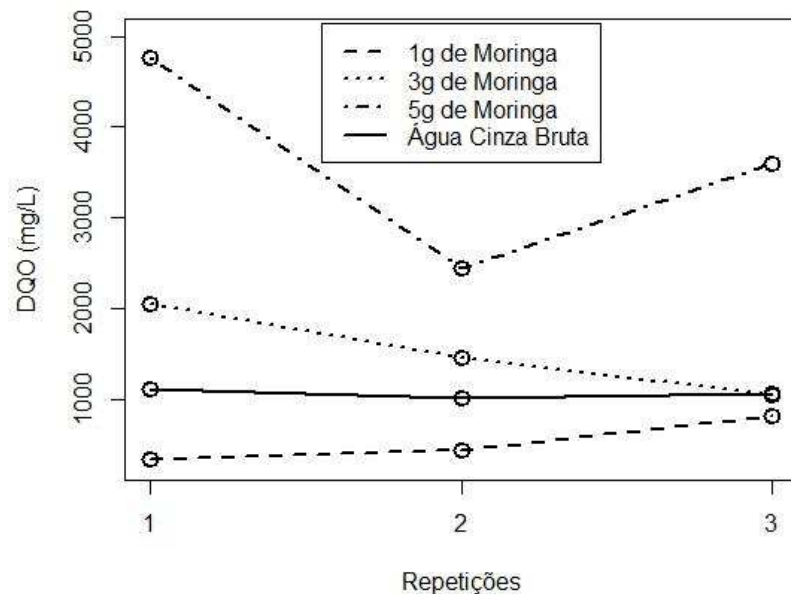
Fonte: Autoria Própria (2021).

Araújo *et al.* (2020b) ao avaliarem a eficiência da MO no tratamento de efluente de usina de concreto observaram que ocorreram pequenas reduções dos valores de pH. Já Valverde *et al.* (2014), ao estudarem o uso da *M. Oleífera*, não observaram variações significativas no pH da água bruta.

Bazzarella (2005) afirma que o pH da água depende basicamente da água de abastecimento, mas alguns produtos químicos podem contribuir para o seu aumento, e como exemplo cita o uso de sabão em pó e de amaciante contribuindo para o pH alcalino das amostras de água cinza.

Analisando a variável DQO temos, na Figura 24, que ao se utilizar a concentração de 1g/L de Moringa houve redução da DQO, comparado com a água cinza bruta que obteve média de 1065 mg/L e passou a ter média de 527 mg/L.

Figura 24- DQO (mg/L) da água cinza bruta e após o tratamento biológico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Corroborando com os resultados de Janz (2020) que, ao aplicar o coagulante extraído da semente de *Moringa oleífera*, obteve redução da DQO passando de 736 mg/L para 586 mg/L.

De acordo com o teste de Kruskal-wallis (Tabela 14) há diferença no DQO nos diferentes níveis de moringa testados, sendo o nível 1g/L o de menor DQO seguido de 3g/L e 5g/L. A água cinza bruta foi estatisticamente igual a dosagem de 3g, porém diferente das demais dosagens. As altas concentrações de DQO em água cinza são provenientes de uma elevada carga de compostos orgânicos presentes nas roupas (KUNZ *et al.* 2002).

Tabela 14- Análise do DQO, em mg/L, para tratamento biológico expressada pela média, P-valor do teste de Kruskal-Wallis e Teste de Wilcox.

Tratamento	Média	P-valor
1g Moringa	527 <sup>a</sup>	0,0216
3g Moringa	1517 <sup>b</sup>	
5g Moringa	3597 <sup>c</sup>	
Água Cinza Bruta	1065 <sup>bd</sup>	

Fonte: Autoria Própria (2021).

Para as concentrações de 3 g/L e 5 g/L o valor da DQO aumentou em média para 1517 mg/L e 3597 mg/L respectivamente, corroborando com os resultados de Junho *et al.* (2020), o autor afirma que o fato do coagulante ser um coagulante natural, ocasiona o aumento da demanda de oxigênio, devido ao aumento concomitante de matéria orgânica presente na amostra.

Ndabigengesere e Narasiah (1998) afirmam que o extrato de semente de *Moringa oleifera* cru sem casca preparada em água apresenta uma DQO de 9630 mg/L, fato este que colaborou para o aumento da DQO, ao aumentar a concentração de coagulante.

#### 4.5 EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS PARA USO NA AGRICULTURA

Dentre os tratamentos realizados neste estudo, a condutividade elétrica apresentou uma variação, de 2,10 dS m<sup>-1</sup> a 3,50 dS m<sup>-1</sup>. Almeida (2010) afirma que o padrão de água para irrigação deve apresentar um intervalo de condutividade de 0-3 dS m<sup>-1</sup>. Neste caso, a água tratada com sulfato de alumínio a uma concentração de 5g/L está com valor acima do permitido (3,5 dS m<sup>-1</sup>) e não se recomenda utilizar na agricultura.

Em relação a turbidez, o tratamento com Moringa (3 g/L) e o sulfato de alumínio (1 g/L) foram os que apresentaram os menores valores para este parâmetro e não apresentam problemas para utilizar a água tratada para irrigação.

Almeida (2010) afirma que o valor do pH permitido para irrigação é entre 6-8,5, portanto o tratamento realizado neste trabalho com *Moringa oleifera* em diferentes concentrações é o que está dentro do padrão.

Mendonça (2019) obteve um pH igual a 7,5 para água cinza proveniente de máquinas de lavar roupas, já Silva (2019) trabalhando com água cinza de lavagem de roupas encontrou 10,04 de pH da água cinza bruta.

Evidenciando assim que o pH da água cinza depende basicamente do pH da água de abastecimento, dos produtos químicos utilizados durante a lavagem de roupas, tais como sabão em barra, em pó, amaciante e alvejante.

Em relação a DQO, matéria orgânica carbonácea, o tratamento que apresentou maior redução para este parâmetro foi o tratamento com Moringa na concentração de 1g/L.

Salomão (2012) afirma que a adubação química, pode ser substituída pela irrigação com água cinza, devido à sua carga orgânica, ratificando Melo *et al.* (2020) asseguram que a irrigação com águas cinzas é adequada para irrigação não causando impacto negativo no solo.

Ferreira (2013) avaliando unidades de produção agrícola controladas UPAC's com águas cinza da lavanderia do distrito de Ribeira de Cabaceiras, PB identificou que as culturas mucuna preta e capim elefante roxo tiveram um bom crescimento.

Queiroga (2020) avaliou a produção de capim Tifton em ambientes impermeabilizados irrigados com água cinza, de abastecimento e salina e concluiu que irrigação com água cinza foi a que apresentou as maiores médias de altura de planta.

De acordo com as normas técnicas sobre água de reúso em nível nacional, apresentada na ABNT NBR 13.969/97, as águas tratadas neste trabalho estão em conformidade para serem aplicadas em irrigação de campos para cultivos, tais como plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, além da irrigação paisagística, como parques, cinturões verdes e gramados residenciais.

A lavanderia em estudo produz aproximadamente 126 m<sup>3</sup>/ semana de água cinza, com o tratamento físico será reutilizada uma parte da água cinza, visto que a água que sai pelo *underflow* descartada, podendo ser destinada a compostagem, neste caso não reutilizada na irrigação. Já com os tratamentos químicos e físicos a água cinza produzida será reutilizada na irrigação em maior quantidade, pois as partículas que sedimentam são desprezadas.

Os tratamentos propostos neste trabalho apresentam custos diferentes. Ao utilizar o hidrociclone o produtor precisa de uma bomba centrífuga e de tubulações, além disso existe o custo para aquisição do hidrociclone, que pode variar de acordo com o tamanho, por não apresentar partes móveis, não há custo com manutenção. O desembolso ocorre também com o pagamento da energia, pois este equipamento só funciona acoplado a uma bomba centrífuga.

O tratamento com sulfato de alumínio apresenta um pequeno custo que é com a aquisição do coagulante, que pode variar de região para região, em Campina Grande, PB este produto foi adquirido por R\$ 5,50/Kg.

Já o tratamento com a *Moringa oleífera* não apresentou custo, visto que as sementes da Moringa foram colhidas nos arredores da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Pombal, não havendo custo e em relação ao preparo da farinha este trabalho foi todo manual.

## 5 CONCLUSÕES

Os parâmetros físico-químicos apresentados pela água cinza proveniente da lavanderia pública do Distrito de Ribeira de Cabaceiras, PB foi: CE 2,65 dS m<sup>-1</sup>; Turbidez 314 NTU; pH 8,8 e DQO 1065 mg/L.

Após o tratamento físico a água tratada apresentou redução de 30% da turbidez e 44 % da Demanda Química de Oxigênio (DQO). Já o pH não apresentou alteração. O tratamento químico reduziu 67% e 48% da turbidez, respectivamente para as concentrações (1g/L e 3 g/L) e a Condutividade Elétrica (CE) aumentou 32%. Houve uma pequena redução de 12% na DQO com a concentração de 5g/L e o pH apresentou-se ácido (4,5-3,8) para todas as concentrações. Já o tratamento biológico reduziu 21% da CE com a concentração de (1g/L) e 79% da turbidez com concentração de 3g/L, o pH apresentou pouca variação e em relação à DQO, a concentração de 1g/L de *Moringa oleífera* reduziu 50%.

A concentração que apresentou melhor resultado para o tratamento da água cinza em estudo foi 1 g/L de sulfato de alumínio e 1 g/L de *Moringa oleífera* sendo as concentrações que apresentaram maior redução para os parâmetros estudados.

O tratamento químico, apresentou uma água com pH ácido (4,5-3,8), portanto, não recomendado para irrigação agrícola. Já os tratamentos químicos e físicos resultaram em uma água cinza que se enquadra nos parâmetros para uso na irrigação da agricultura familiar, e a concentração mais recomendada é a de 1 g/L de *Moringa oleífera*.

Recomenda-se para trabalhos futuros à utilização de águas provenientes de tratamento como estes na produção agrícola e avaliação de parâmetros de pH, condutividade elétrica, turbidez e demanda química de oxigênio, visto que em muitos tratamentos ocorre a fitorremediação por meio das plantas.

## REFERÊNCIAS

- ABREU LIMA, Guilherme J., **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- ABU GHUNMI, L., ZEEMAN, G., VAN LIER, J., FAYYAD, M. Quantitative and qualitative characteristics of grey water for reuse requirements and treatment alternatives: the case of Jordan. **Water Science and Technology** v.58, p. 1385–1396. 2008.
- AESA-Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2021. disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 06/01/2021.
- AHMAD, A. L.; WONG, S.; TENG, T. T.; ZUHAIRI, A. Optimization of coagulation–flocculation process for pulp and paper mill effluent by response surface methodological analysis. **Journal of Hazardous Materials**, v. 145, n. 1–2, p. 162–168, 2007.
- ALBUQUERQUE, W. G. *et al.* Verificação do Potencial da Semente de *Moringa oleífera* Como Coagulante Natural no Tratamento de Água. **In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC – 2016**. Foz do Iguaçu-PR. Anais... ISSN 2358117-4, Ano 2, volume 1. 2016.
- ALDRICH, C. Progress in Filtration and Separation, **Academic Press**, Estados Unidos da América, 1 ed, 698p, 2015.
- ALMEIDA, Gleidiane Nascimento. **Utilização de água residuária no desenvolvimento de *Moringa oleífera Lam.*** Monografia (Graduação). Engenharia Florestal. Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró. RN. 2018.
- ALMEIDA, J. S. M.; ROCHA, N. R. A. F.; FRANCO Jr., M. R. Tratamento de água cinza para redução da contaminação de corpos d'água. **II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo**, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), São Paulo-SP, 2013.
- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- AMARAL, L.O.; SANTOS, S. S. A. Proposta de Tratamento e Controle de Efluentes de Uma Indústria Alimentícia. **Revista Científico**, v. 18, n. 38, p. 11-24, 2018.
- ANJOS, R. P.; MEDRONHO, R. A.; KLEIN, T. S. Assessment of turbulence models for single phase CFD computations of a liquid-liquid hydrocyclone using OpenFOAM, **Journal of Turbulence**, v. 22, n.2, p. 79-113, 2021. DOI: 10.1080/14685248.2020.1846050
- ANTONOPOULOU, G.; KIRKOU, A.; STASINAKIS, A. S. Quantitative and qualitative greywater characterization in greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods. **Science of the Total Environment**, v. 454, p. 426–432, 2013.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st ed. Washington, 2005.



ARAÚJO, C.A.O., SCHEID, C.M., LOUREIRO, J.B.R., KLEIN, T.S., MEDRONHO, R.A., Hydrocyclone for oil-water separations with high oil content: Comparison between CFD simulations and experimental data, **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 187, 2020a.

ARAÚJO, G. S.; SANTOS, Y. P.; DE OLIVEIRA, A. G. Avaliação do uso da *Moringa oleífera* no tratamento de efluente proveniente de usina de concreto/Evaluation of the use of moringa oleifera in the treatment of wastewater from a concrete plant. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 32822-32835, 2020b.

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.

BAER, Werner. **The Brazilian Economy: Growth and Development**, 6th ed Boulder, Lyann-Rienner Publishers, 2008.

BANI-MELHEM, K.; AL-QODAH, Z.; AL-SHANNAG, M.; QASAIMAH, A.; QTAISHAT, M. R.; ALKASRAWI, M. On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. **Journal of Membrane Science**, v. 476, p. 40-49, 2015.

BARROS, H. M. M., VERIATO, M. K. L., SOUZA, L. P., CHICÓ, L. R., & BAROSI, K. X. L. (2015). Reúso de água na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Vol. 10. Nº 5 (especial), p. 11 - 16, Dez., 2015.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. Dissertação (mestrado) – Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 165, 2005.

BENAZZI, L.T. **Otimização de um sistema de eletrofloculação em fluxo contínuo para o tratamento de efluentes líquidos das indústrias de laticínios**. (Tese de Doutorado). Erechim: Universidade regional integrada do alto Uruguai e das missões - URI - campus Erechim. 2013.

BOYJOO, Y.; PAREEK, V. K.; ANG, M. A review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science & Technology**. n. 7, p. 1403-1424, 2013.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB, 1993.

BRAGA, E. R.; HUZIWARA, W. K.; MARTIGNONI, W. P.; SCHEID, C. M.; MEDRONHO, R. A. Improving hydrocyclone geometry for oil/water separation. **Brazilian Journal of Petroleum and Gas**, v.9, p.115-123, 2015.

BRANDAO, L. P.; MOTA, S.; MAIA, L. F. Perspectivas do Uso de Efluentes de Lagoas de Estabilização em Irrigação. **In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2002, Vitória, ES. Anais do VI SIBESA. Rio de Janeiro: ABES, 2002.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (Ana). Plano Nacional de Segurança Hídrica (2019). Disponível em <https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf> . Acessado em 25 de abril de 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.787**, de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nos 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nos 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/lei/112787.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112787.htm). Acesso em: 14 nov. 2019.

BRASIL. Resolução **CONAMA Nº 430** de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano nacional para o controle integrado das DCNT** - promoção da saúde, vigilância, prevenção e assistência. Brasília, 2006.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº54 e nº 357 /2005, de 17 de março de 2005. **Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acessado em 25 de julho de 2018.

BRASIL, **Lei Federal n.º 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art.21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº7.990, de 28 de dezembro de 1989. Conjunto de normas legais: recursos hídricos: 6 ed., Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de recursos Hídricos e Ambiente Urbano, 2008.

CAMPOS, J. R.; DI BERNARDO, L. Ensaio de floculação. São Carlos-SP, SHS - EESC. **In: 6º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária**, Salvador-BA, 1975.

CARRASQUEIRA, L. S. *et al.* Reúso de águas cinzas em empreendimentos comerciais: um estudo de caso em edifício hoteleiro de Belo Horizonte/Reuse of gray water in commercial projects: a case study in a hotel building in Belo Horizonte. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 10028-10035, 2019.

CARDOSO, K.C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E.S.; MORAES, L.C.K. Otimização dos Tempos de Mistura e Decantação no Processo de Coagulação/Floculação da Água Bruta por Meio Da Moringa Oleifera Lam. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.30, n. 2, p. 193-198. 2008.

CARMO, S. N. C. **Extração seletiva de Mn (II) utilizando sementes de Moringa oleifera como bioadsorvente**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Química- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2014.

CARVALHO, N. L., HENTZ, P., SILVA, J. M., BARCELLOS, A. L. Reutilização de águas residuárias. **Revista Monografias Ambientais**, 13(2), p. 3164-3171. 2014.

- CASTILHO, L. R.; MEDRONHO, R. A. Animal Cell Separation, In: Moraes, A. M.; Augusto, E. F. P.; Castilho, L. R. (eds.), **Animal Cell Culture Technology: from Biopharmaceuticals to Gene Therapy**. New York: Taylor & Francis Group, cap. 11, p. 273-293, 2008.
- CASTILHO, L. R.; MEDRONHO, R. A. A simple procedure for design and performance prediction of Bradley and Rietema hydrocyclones. **Minerals Engineering**, v. 13, n.2, p. 183-191, 2000.
- CARARD, R. F. **Tratamento de lixiviado de aterro por ozonização fotocatalítica com TiO<sub>2</sub>**. 2018. 164 f. Dissertação (Mestrado em Inovações Tecnológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.
- CETESB. **Reúso de água**. 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>> Acesso em: 8 de maio de 2019.
- CHANAKYA, H.N. KHUNTIA, H. K. Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers. **Process Safety and Environmental Protection**, Oxford, v 92, n. 2, p. 186-192, 2014.
- CHAVES, A. P. (organizador). **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**, Vol. 1 – 4ª edição. Signus Editora LTDA. São Paulo, 2012. 304p
- CHAVES, A. P. (organizador). **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**, Vol. 1 – 1ª edição. Signus Editora LTDA. São Paulo, 1996. 267p
- CHEN, S., YUAN, Z., HANIGAN, D., WESTERHOFF, P., ZHAO, H., & NI, J. Coagulation behaviors of new covalently bound hybrid coagulants (CBHyC) in surface water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 192, ps. 322–328, 2018.
- CHEN, W.; ZYDEK, N.; PARMA, F. Evaluation of hydrocyclone models for practical applications. **Chemical Engineering Journal**, vol. 80 (1–3), p. 295–303, 2000.
- CHINELATTO, M. R., GREVE, L. F., PELEGRINI, R. T., & DE BRITO, N. N. (2015). Tratamento Fotoquímico de Percolado de Aterro Sanitário Visando Reúso na Agricultura. **Eclética Química**, 40, 141-154. 2015.
- CINTRA, T. S. **Tratamento de Água Cinza Clara de Edifício Comercial por Flotação por Ar Dissolvido para Reúso em Descargas de Bacias Sanitárias**. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2019.
- COELHO, M. A. Z.; MEDRONHO, R. A. A model for performance prediction of hydrocyclones. **Chemical Engineering Journal**, v.84, p.7 - 14, 2001.
- CONSTANTINO, V.R. L.; ARAKI, K. ; SILVA, D.O. e OLIVEIRA, W.de. **Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático**. *Quím. Nova* [online]. 2002, vol.25, n.3, p. 490-498. 2002.

COUTO, E.A.; CALIJURI, M.L.; ASSEMAN, P.; SANTIAGO, A.F.; LOPES, L.S. Grey-water treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 372-379. 2015.

CRUZ, N. B., JESUS, J. G., BACHA, C. J. C. & COSTA, E. M. (2021). Acesso da agricultura familiar ao crédito e à assistência técnica no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 59(3), e226850. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.226850>. 2021.

CRUZ, O. C. da; ZANINI, J. R. Eficiência de um hidrociclone de geometria rietema para pré-filtragem de água para irrigação. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.30, n.4, p.637-645, jul./ago. 2010.

CRUZ, O. C. da. **Desempenho de um Hidrociclone de Geometria Rietema como Pré Filtro para Sistemas de Irrigação**. 2008. viii, 66 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

CUNHA, A. L. X. *et al.* Tratamento físico-químicos de efluente têxtil utilizando Sulfato de Alumínio, Carvão Ativado e Moringa Oleífera. *Revista Geama*, v. 5, n. 3, p. 47-55, 2019.

DANTAS, Paulo Ricardo *et al.* Reúso de água cinza tratada em sistema de alagado construído com resíduos da construção civil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 62-68, 2019.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Ed. Rima, 2ª Edição. P. 1510 - 1535 São Carlos, SP, 2005.

DÍAZ, P.; STANEK, P.; FRANTZESKAKI, N.; YEH, D. H. Shifting paradigms, changing waters: Transitioning to integrated urban water management in the coastal city of Dunedin, USA. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p. 555-567, 2016.

DOMBROSKI, S. A. G. *et al.* Sistema Simplificado Para Tratamento De Água Cinza Em Escala Familiar. **In: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2019.

DONNER, Reik V. *et al.* Redes de recorrência - um novo paradigma para análise não linear de séries temporais. **New Journal of Physics** , v. 12, n. 3, pág. 033025, 2010.

EDWIN, G. A.; GOPALSAMY, P.; MUTHU, N. Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. **Applied Water Science**, v. 4, n. 1, p. 39-49, 2014.

EMBRAPA. **Impacto ambiental das atividades agrícolas**. CNPM/EMBRAPA. Jaguariúna, SP. 2002. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/cana/espec.html>>. Acessado em 12 de janeiro de 2019.

ENVIRONMENT AGENCY. **Greywater for domestic users: an information guide**. 2011. Disponível em: <http://cdn.environmentagency.gov.uk/geho0511btwc-e-e.pdf> acessado em 30 de maio de 2019.

EUROSTAT - **Water statistics. Eurostat – Statistics explained**. Disponível em [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Water_statistics), acessado em 5 de fevereiro de 2019.

FEITOSA, A. P.; LOPES, H. S. S.; BATISTA, R. O.; COSTA, M. S.; MOURA, F. N. Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, v. 8, p. 196-206, 2011.

FERREIRA, A. C., **Unidade de Produção Agrícola Irrigada com Águas Cinzas de Lavanderia Pública no Semiárido Paraibano**. 2013. (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2013.

FONSECA, V. L. A., NASCENTES, R., & CAIXETA, L. T. Técnicas de baixo custo para aproveitamento de água de chuva e reúso de água cinza: o início de uma cultura de conservação da água em Rio Paranaíba-MG. **Revista ELO–Diálogos em Extensão**. 2018.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D.; MATOS, R. M.; Classificação Climática De Köppen E Thornthwaite Para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira De Geografia Física**.v. 8, n. 4, p.1006-1016, 2015.

FRANCO, H. A. *et al.* Aspectos associados à degradação ambiental e ao uso de efluentes na agricultura do Brasil. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2019.

FRANCO, C. S. *et al.* Coagulação com semente de moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 781-788, 2017.

FREITAS, C. A. S. *et al.* Crescimento Vegetativo De Cana-De-Açúcar (*Saccharum Officinarum* L.) Irrigada Com Água De Esgoto Doméstico Tratado. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, Vol. 6, No. 1. 2012.

FRIEDLER, E. Water reuse an integral part of water resources management: Israel as a case study. **Water Policy**, v. 3, p. 29–39, 2001.

GHAITIDAK, D. M.; YADAV, K. D. Characteristics and treatment of greywater—a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, n. 5, p. 2795–2809, 2013.

GIDEON P. W., AVERY L. M., FRASER-WILLIAMS R., PIDOU M., JEFFREY P., STEPHENSON T., JEFFERSON B. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. **Ecological Engineering**, n. 32, p. 187-197. 2008.

GILBOA, Y. e FRIEDLER, E. UV disinfection of RBCtreated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. **Wat. Res.** 42(4–5), 1043–1050. 2008.

GONÇALVES, R. F. **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 352p.

GONÇALVES, R. F., KELLER, R., & FRANCI, T. K. Análise comparativa das práticas de reúso de água cinza em edificações urbanas na Alemanha e no Brasil. **Revista DAE**, 120-131. 2018.

GREGORIO, M. A. **Caracterização das águas dos escoamentos pluviais, por meio do modelo analítico probabilístico e da avaliação do índice de qualidade da água (IQA-AP): estudo de caso do Ribeirão das Anhumas- Campinas- SP**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 2019.

GUEDES, C. D. *et al.* Coagulação/floculação de suspensões ricas em óxidos de ferro por sulfato de alumínio. *Química Nova*, v. 27, n. 5, p. 715-719, 2004.

GUIMARÃES, Adriana. Avaliação do Uso de Moringa Como Auxiliar de Coagulação para o Tratamento de Águas de Reservatórios Eutrofizados. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 22-29, 2020.

HALALSHEH, M. *et al.* Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. **Bioresource technology**, v. 99, n. 14, p. 6635-6641, 2008.

HESPANHOL, I. **Potencial de Reúso de Água no Brasil–Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos**. Ivanhes@ usp. br. 2003.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 7, n. 4, p.75-95.2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados no Brasil. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/cabaceiras/panorama> Acessado em 13 de julho de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto – PIB. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php> Acessado em 25 de janeiro de 2021.

JANZ, F. J. L. *et al.* Comparação entre coagulantes orgânicos e sulfato de alumínio no pós tratamento do efluente de indústria cervejeira. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 25857-25864, 2020.

JUNHO, A. L. *et al.* Avaliação da eficiência do tratamento de águas cinzas utilizando sementes de *Moringa oleifera* sob diferentes metodologias de ensaio. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e8879118136-e8879118136, 2020.

KATAYON, S.M.J. *et al.* Effects Of Storage Conditions Of Moringa Oleifera Seeds On Its Performance in Coagulation. **Bioresource Technology**, Essex, n. 97, p. 1455-1460. 2006.

KAZI, T., & VIRUPAKSHI, A. Treatment of tannery wastewater using natural coagulants. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(8), p. 4061-4068.2013.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkler and trickle irrigation*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KHAROUA, N.; KHEZZAR, L.; NEMOUCHI, Z. Hydrocyclones for de-oiling applications—A review. **Petroleum Science and Technology**, v. 28, n. 7, p. 738-755, 2010.

KEOGH, M. B., ELMUSHARAF, K., BORDE, P., MCGUIGAN, K. G. Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. **Solar Energy** 158, p. 448-454, 2017.

KNUPP, A. M. Desempenho de um sistema composto por um filtro anaeróbio e um wetland horizontal na produção de água para reúso predial a partir de água cinza clara. 2013. 157 f. **Dissertação (Mestrado em Poluição do Ar, Recursos Hídricos, Saneamento Ambiental)** - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G. de & DURÁN, N. Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LEMONS, K. S.; DE AGUIAR FILHO, S. Q.; CAVALLINI, G. S. Avaliação comparativa entre os coagulantes sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo de viabilidade econômica. **DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. 1, p. 109-119, 2020.

LI, F.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 3439–3449, 2009.

LIMA N. M. **Aplicação da *Moringa oleifera* no Tratamento de Água com Turbidez**. 2015. 56p. Dissertação (Mestrado) Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais. Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco, 2015.

LO MONACO, Paola Alfonsa Vieira *et al.* Ação coagulante do extrato de sementes de moringa preparado em diferentes substâncias químicas. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 20, n. 5, p. 453-459, 2012.

LYNCH, A.J.; RAO, T.C. Modelling and scale-up of hydrocyclone classifiers, in: **Proceedings of the 11th International Mineral Processing Congress**, Cagliari, Italy, p. 1–25, 1975.

MAGALHÃES, L. **Meio Ambiente**. Agenda 2030. Amazonas, 2021

MACHADO, C. C. *et al.* A agenda 21 como um dos dispositivos da educação ambiental. **Revista Ambiente & Educação**, vol. 12, p. 99-113, 2007.

MAGNAN, R. B. Análise da viabilidade técnica e financeira da substituição do coagulante cloreto férrico por policloreto de alumínio durante o processo físico-químico no tratamento de efluente de abatedouro avícola. 2010. 54 p. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)–Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo**, 2010.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos S. (eds). **Reúso de Águas**. Barueri: Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informação em Saúde Ambiental, 2003.

- MANFRIN, J., FERREIRA, I. J. M., QUARESMA, L. S., MCCREANOR, P. T., & GONÇALVES Jr, A. C. Remediação de água cinza por meio de fitorremediação e tecnologias intermitentes de filtro de areia visando o reúso na irrigação de jardins. **Acta Iguazu**, vol 8, n. 2, p. 59-68. 2019.
- MANOUCHEHRI, M.; KARGARI, A.. Water recovery from laundry wastewater by the cross flow microfiltration process: A strategy for water recycling in residential buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 227-238, 2017.
- MARINOSKI, A. K.; ANDRADE, M. Componentes hidráulicos economizadores de água. **In: LAMBERTS *et al.* (Orgs). Casa eficiente: uso racional da água. Florianópolis: UFSC; LabEEE, 2010. p.27-32.**
- MATTA, V. M. da; MEDRONHO, R. de A. A new method for yeast recovery in batch ethanol fermentations. **Bioseparation**, v. 9, p.43 - 53, 2000.
- MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações.** Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- MEDEIROS, R. M.; DE MEDEIROS, B. C. Variabilidade de chuvas e demanda de água para o município de Cabaceiras–PB. **In: I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido. Campina Grande, Paraíba. 2016**
- MEDRONHO, R. A.; SCHUETZE, J.; DECKWER, Wolf-Dieter. Numerical simulation of hydrocyclones for cell separation. **Latin American Applied Research**, v.35, p.1 - 8, 2005.
- MEDRONHO, R. A. Solid-Liquid Separation. **In: HATTI-KAUL, R.; MATTIASSON, B. (eds.), Isolation and Purification of Proteins Marcel Dekker Inc., Cap. 5, 131-190, 2003.**
- MEDRONHO, R. A. **Scale-Up of Hydrocyclones at Low Feed Concentrations**, Tese de Doutorado (Ph.D.) University of Bradford, United Kingdom, 1984.
- MEGERSA, M., GACH, W., BEYENE, A., AMBELU, A., & TRIEST, L. Effect of salt solutions on coagulation performance of *Moringa stenopetala* and *Maerua subcordata* for turbid water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 221, p. 319–324, 2019.
- MENDONÇA, K. P. L. **Tratamento de águas cinza provenientes de lavanderias visando reúso.** 2019. 101f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2019.
- MELO, R. F. *et al.* Efeito da irrigação suplementar com águas cinzas nas características químicas de solos em quintais produtivos no município de Triunfo, PE. **In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.
- MELO, M. R.de S. **Estratégias de Aplicação de Efluente de Água Cinza no Cultivo do Girassol Ornamental.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2018.



MENEZES, P.H. N. **Estudo do Desempenho do Sulfato de Alumínio no Processo de Clarificação de Água de uma Refinaria e Avaliação do Tanfloc como Agente Coagulante Alternativo**. Dissertação (Mestrado - Engenharia Industrial) -- Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia, 2018.

METCALF E EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. Nova York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 2003.

MONTE, M. H. M. **Water Reuse in Europe**. E-Water Official Publication of the European Water Association (EWA). 2007.

MONTEIRO, V.R.C.; SEZERINO, P.H.; PHILIPPI, L.S. Caracterização e tratamento de água cinza residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 12, n. 2, 2015.

MORUZZI, B. M. Reúso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios, **OLAM-Ciência e Tecnologia**, Rio Claro, 2008.

MOULIN, M., MOSSOU, E., SIGNOR, L., KIEFFER-JAQUINOD, S., KWAAMBWA, H. M., NERMARK, F., ... RENNIE, A. R. (2019). Towards a molecular understanding of the water purification properties of Moringa seed proteins. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 554, p. 296 – 304, 2019.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S. Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds. **Water Research**, v.32, p.781-791, 1998.

NDABIGENGESERE A.; NARASIAH, K.S.; TALBOT, B.G. Active agentes and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. **Wat. Res.**, v.29, n.2, p. 703 – 710, Elsevier Science Ltda, 1995.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A.; ANDRADE, L. O. D.; NASCIMENTO, E. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 747-754, 2010.

NOUSOPOULOS C. *et al.* Greywater characterization and loadings–Physicochemical treatment to promote onsite reuse. **Journal of environmental management**, v. 216, p. 337-346, 2018.

NUVOLARI, A.; COSTA, R. H. P.. Tratamento de efluentes. **In: TELLES, Dirceu D'Alkmin; COSTA, Regina Helena Pacca (coord). Reúso da água: conceitos, teoria e práticas**. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, P. C. A. de. **Sistema compacto de wetland construído para tratamento de águas cinzas de chuveiros para reúso em bacias sanitárias**. 2019. 1 recurso online (79 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP.2019.

OKUDA, T.; BAES, A.U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Coagulation Mechanism of Salt Solution- Extracted Active Component in Moringa Oleifera Seeds. **Water Research**, Londres, v. 35, n. 3, p. 830-834. 2001.

ORTIZ, I. A. S; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Águas residuárias: fontes, constituição e tecnologias de tratamento. **IN:** Américo-Pinheiro, J. H. P.; Mirante, M. H. P.; Benini, S. M. (Organizadoras). Gestão e qualidade dos recursos hídricos: conceitos e experiências em bacias hidrográficas. Tupã: ANAP, 95p. cap.3. 2016.

PARDO, S. B.; MONCADA, D. K. V.; MARTINEZ, L. R.; AVALA, S. L. G.; Evaluación De Coagulantes Naturales en La Clarificación de Águas. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**. Bogotá - Colômbia, Vol. 11 No. 1: 105-116, enero - junio 2020.

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Uso de sementes de Moringa oleifera para tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.765-771, 2009.

PAULA, H. M. D., & FERNANDES, C. E. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23(5), p. 951-961.2018.

PAULA, H. M. de. ILHA, M. S. de O. ANDRADE, L. S. Concrete plant wastewater treatment process by coagulation combining aluminum sulfate and Moringa oleifera powder. **Journal of Cleaner Production**, v. 76, p. 125 - 130, 2014.

PAULA, H.M. **Uso de Suspensões Preparadas com Sementes de Moringa Oleifera Associada a Coagulantes Químicos no Tratamento da Água Residuária de Usinas de Concreto**. Tese - Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2014.

PEREIRA, W. S. *et al.* Tratamento de águas cinzas empregando filtro de carvão e esterco: escala de laboratório. **In:** Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Seminário Nacional Sobre Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto: Recuperação de Recursos em ETEs e Produção de Água para Reúso. 2019, Fortaleza. Anais... Belo Horizonte: INCT ETEs Sustentáveis: UFMG, 2019.

PESSOA, Juliana Gilbert. **Produção de ácidos orgânicos radiculares de cana-de-açúcar submetida ao estresse por alumínio**. Dissertação (mestrado) -Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras. 2019.

PIVELI, R. P., & KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. Editora ABES. São Paulo, 2006.

PLITT, L.R. A mathematical model of the hydrocyclone classifier, **CIM Bulletin**, v. 69, p. 114–123, 1976.

QUEIROGA, K. R. P. **Inovação Tecnológica para a Crise Hídrica da Agricultura Familiar do Semiárido**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar.2020

QUINTINO, Davi Batista. **Otimização geométrica e análise operacional em hidrociclones modulares utilizando fluidos newtonianos**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG. 2019.

RAMPEOLLO, G.; **Caracterização E Tratamento De Águas Cinzas Visando Reuso Doméstico**. 2014 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, RS. 2014.

RAPOPORT, B. **Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial**. 2004. 72 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Fundação Osvaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2004.

RAYIS, M. W. A. **Avaliação da viabilidade do reúso de água para recarga de aquíferos na região metropolitana de São Paulo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo. SP. 2018.

RIBEIRO, I. **Aplicação de Coagulantes e Floculantes Orgânicos Alternativos no Pós Tratamento de Efluente de Laticínio**. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira – PR, 2015.

RIBEIRO, A. T. A. **Aplicação da Moringa Oleifera no Tratamento de Água para Consumo Humano**. 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado, Curso de Engenharia do Ambiente), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

RICART, S.; RICO, A. M. Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck factor. **Agricultural Water Management**, v. 217, p. 426-439, 2019.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETO, Carlos A. **Tratamento de Água: tecnologia atualizada**. São Paulo. Edgard Blucher. 1991.

RIETEMA, K. Performance and design of hydrocyclones I: general considerations. **Chemical Engineering Science**, v.15, n.3/4, p.298-302, 1961.

RODRIGUES, K. C. **Otimização do Tratamento de Água Cinza Associando Soluções Aquosas de Moringa Oleifera e Sulfato de Alumínio**. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Modelagem e Otimização - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2019.

RODRIGUES, R.S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reúso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do Reúso no Brasil**, 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2005.

RORATO, W. R. **Utilização de Moringa oleifera lam como auxiliar no processo de coagulação/floculação/filtração para o tratamento de água de abastecimento**. 2013. 49p, TCC (Graduação) Curso Superior de Engenharia Ambiental do Departamento de Ambiental – CO-EAM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

SALOMÃO, L. C. **Calibração de tanques evaporímetros de baixo custo sob diferentes diâmetros em ambiente protegido.** Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.2012.

SANTANA, V. L. **Beneficiamento de caulim na região do Junco do Seridó/PB e Equador/RN através da classificação de partículas em hidrociclone.** 2017. 95 f. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2017.

SANTANA, G. B. *et al.* Aplicação da semente de moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante natural no tratamento de efluente de indústria de tintas no Ceará. **Revista Tecnologia**, v. 41, n. 1, 2020.

SANTOS, A.S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 50-68, 2020.

SCHAER-BARBOSA, M. **A Percepção De Agricultores Familiares E Formuladores De Políticas–O Reúso Da Água No Semiárido Baiano.** Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Escola de Administração, Salvador, 2012.

SILLANPÄÄ, M. *et al.* Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. **Chemosphere**, v. 190, p. 54-71, 2018.

SILVA, C. H. S.T. *et al.* Avaliação comparativa de agentes coagulantes químico e natural no tratamento do efluente da lavagem de veículos no município de Sumé-PB/Comparative evaluation of chemical and natural coagulant agents in the treatment of vehicle wash effluent in Sumé-PB city. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1670-1687, 2020.

SILVA, C. H. S. T. **Avaliação comparativa de agentes coagulantes químico e natural no processo de coagulação de águas servidas.** Monografia (Graduação em Engenharia de Biosistemas) - Universidade Federal de Campina Grande. 2019.

SILVA, L. D. *et al.* Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil. **Revista Geama**, v. 5, n. 1, p. 36-40, 2019.

SILVA, A.B. C. **Tratamento de lixiviado de um aterro sanitário por adsorção em cerâmica e processo Fenton.** Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018.

SILVA, A. L. S. **Aperfeiçoamento e monitoramento de estação para tratamento e uso agrícola de água cinza no semiárido brasileiro.** 2018. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) -Universidade Federal Rural do SemiÁrido. 2018.

SILVA, R.F.; **Avaliação da viabilidade de reúso da água cinza tratada em filtro biológico.** 2017. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, 2017.

SILVA, I.N.S *et al.* Qualidade De Água Na Irrigação. **ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.07, n 03 julho/setembro, p. 01 – 15, 2011.

SILVA, F.J.A.; MATOS, J.E.X. Sobre dispersões de *Moringa oleífera* para tratamento de água. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v.29, p.157-163, 2008.

SNIS - Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016. Publicação do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2016. Disponível em <http://www.snis.gov.br> acessado em 5 de novembro de 2020.

SOCCOL, O. J. **Construção e avaliação de hidrociclone para pré-filtragem da água de irrigação**. 2003. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 2003.

SOUTO, B. C. C. *et al.* Uso de sementes de moringa na sedimentação de resíduos em água de construção. **ACSA**, Patos-PB, v.16, n.1, p. 52-57, Janeiro-Março, 2020, ISSN: 1808-6845.2020.

SOUSA, B. A.A. *et al.* Implantação e avaliação de um sistema para tratamento de água cinza/Implementation and evaluation of a system for the treatment of gray water. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3531-3552, 2020.

SOUZA, E. B. D. **Viabilidade do uso de água residuária na agricultura irrigada na cultura do maxixe e aplicação como tema transversal no âmbito educacional**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2019.

SVAROVSKY, L., Hydrocyclones. In SVAROVSKY, L. (ed.) **Solid-Liquid Separation**, 4th Ed., L. Butterworths, London, Cap. 6, p. 191-245, 2000.

SVAROVSKY, L., Solid-Liquid Separation. Butterworths & Co. Ltd, 3ª Ed., Londres. 1990.

SVAROVSKY, L., Hydrocyclones, New York: Holt, Rinehart and Winston. 1984.

TAKASSUGUI, K. S.; ARANTES, C.C.; DE JESUS, T. A. Comparação da remoção de turbidez e cor aparente em filtros lentos de areia com e sem adição de proteína imobilizada de *Moringa oleífera*. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 2, p. 169-179, 2019.

THEODORO, J. D. P., *et al.* Estudo de extração salina da semente de Moringa oleifera Lam aplicado na remoção do parâmetro cor para o tratamento de água potável. **Revista Tecnológica**, p. 275-283. 2015.

TONIN, P.C. Otimização computacional de hidrociclone na irrigação pressurizada. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Guidelines for Water Reuse**. Washington: Office of Wastewater Enforcement and Compliance, Environmental Protection Agency. 2004.

VALVERDE, K.C.; COLDEBELLA, P.F.; NISHI, L.; MADRONA, G.S.; CAMACHO, F.P.; SANTOS, T.R.T.; SANTOS, O.A.A.; BERGAMASCO, R. Avaliação do Tempo de Degradação do Coagulante Natural Moringa Oleífera Lam em Pó no Tratamento de Água Superficial. **e-Xacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 75-82, 2014.

VALVERDE, K.C.; SANTOS, O.A.A.; BERGAMASCO, R. Avaliação do processo de clarificação da água bruta por meio de diagramas de coagulação, empregando a associação *Moringa oleífera Lam* e Cloreto Férrico. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 55-64, 2013.

VIEIRA, S. P.; DA SILVA, C. M.G.; CAVALCANTI, L. A. P. Redução de impactos ambientais pelo tratamento de águas cinzas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43258-43267, 2020.

VIEIRA, A. M. S.; *et al.* Use of *Moringa oleífera* seed as natural adsorbent for wastewater treatment. **Water Airf Soil Pollution**, Dordrecht, v. 206, p. 273-281, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VUNAIN, E., MASOAMPHAMBE, E. F., MPEKETULA, P. M. G., MONJEREZI, M., & ETALE, A. Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction capacity of *Moringa oleífera* seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, p. 103 – 118, 2019.

WAGNER, L. F.; WIECHETECH, G. K.; SZÉLIGA, M. R. Avaliação da estação de tratamento de águas residuais com reator anaeróbico recebendo lodo da estação de tratamento de água Actiflo®. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 709-717, 2019.

WENDLING, Caroline Schutz; MATIAS, Caroline Aparecida; DE CAMPOS, Roger Francisco Ferreira. DIFERENTES FORMAS DE UTILIZAÇÃO DA MORINGA OLEIFERA LAM NO TRATAMENTO DE ÁGUA. **Extensão em Foco (ISSN: 2317-9791)**, v. 7, n. 1, p. 73-78, 2019.

WHO. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.

WILDERER, Peter A. *et al.* Métodos científicos modernos e seu potencial em ciência e tecnologia de águas residuais. **Pesquisa da Água**, v. 36, n. 2, p. 370-393, 2002.