



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO
CURSO ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

CRISÓSTOMO HERMES SOARES TRAJANO DA SILVA

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE AGENTES COAGULANTES:
QUÍMICO E NATURAL NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO DE
ÁGUAS SERVIDAS**

**SUMÉ - PB
2019**

CRISÓSTOMO HERMES SOARES TRAJANO DA SILVA

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE AGENTES COAGULANTES
QUÍMICO E NATURAL NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO DE
ÁGUAS SERVIDAS**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.

**SUMÉ - PB
2019**

S586a Silva, Crisóstomo Hermes Soares Trajano da.
Avaliação comparativa de agentes coagulantes químico e natural
no processo de coagulação de águas servidas. / Crisóstomo Hermes
Soares Trajano da Silva. - Sumé - PB: [s.n], 2019.

39 f.

Orientador: Professor Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro
de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia
de Biosistemas.

1. Reutilização de águas. 2. Tratamento de efluentes. 3. Água de
reuso. 4. Coagulantes químicos – tratamento de efluentes. 5.
Coagulantes naturais – tratamento de efluentes. 6. Sulfato de alumínio
– tratamento de efluentes. 7. Moringa oleífera (sementes) – tratamento
de efluentes. 8. Planejamento Fatorial. 9. Turbidez – Água tratada de
efluentes. 10. Efluentes – lavagem de automóveis. 11. Efluentes –
lavagem de roupas. 12. Águas residuárias. 13. Reuso de efluentes. I.
Nunes, Bruno Rafael Pereira. II. Título.

CDU: 628.32(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

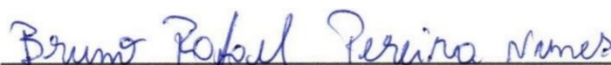
Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

CRISÓSTOMO HERMES SOARES TRAJANO DA SILVA

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE AGENTES COAGULANTES:
QUÍMICO E NATURAL NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO DE
ÁGUAS SERVIDAS**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

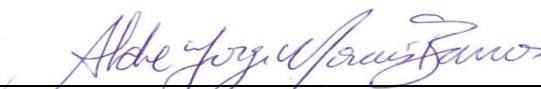
BANCA EXAMINADORA:



Professor Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes
Orientador - UAEB/CDSA/UFCG



Professora Dr^a. Ilza Maria do Nascimento Brasileiro
Examinadora I - UATEC/CDSA/UFCG



Professor Dr Aldre Jorge Morais Barros
Examinador II - UAEB/CDSA/UFCG

Aprovado em: 11 de dezembro de 2019.

*Não há plano espiritual que nos separe,
todo esse tempo eu sempre tive a certeza
que vocês estiveram comigo, sempre
me guardando e sendo meus anjos
da guarda. Carregarei sempre as mais
lindas lembranças do meu Avôhai (vovô
Chiquinho in memorian) e da minha rosa
favorita (vovó Rosa in memorian),
obrigado por cuidarem de mim!
Aos meus avós, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao Pai celestial, pelas bênçãos a mim concedidas durante minha caminhada pela vida acadêmica.

Aos meus pais José Trajano e Francisca Soares, por todo amor fraternal em mim depositado, pelas orações de todos os dias antes de ir dormir, pela dedicação em poder me ajudar todo esse tempo longe de casa, pelos “puxões de orelhas”, os quais levarei para minha vida.

À minha irmã Camila e meu cunhado Alex, por todo esse amor e carinho que me transmitiram, sempre me apoiando e acreditando em tudo que fiz, agradeço por esse amor de irmã.

Ao meu sobrinho Francisco Neto, por ser a razão de dias felizes, que mesmo sem poder acompanhar seu crescimento de perto, sempre me alegrarei em saber que está bem.

Aos meus avós maternos Francisco Sales e Anita Pedrosa, por sempre contribuir com amor e carinho e conselhos fundamentais ao me falarem pra ter sempre fé, que tudo na vida é questão de lutar.

À Demakson Leite e Maria do Socorro (Corrinha), por todo carinho, atenção e pela torcida, vocês foram pessoas essenciais e são pessoas especiais para mim.

À minha querida Professora do ensino fundamental Francisca Vidal de Moura, por me ensinar a ler e escrever, por toda sua dedicação em sala de aula e por esse exemplo de profissional apaixonada pela missão de ser professor.

À minhas tias Syrlandia, Sirleide, Verônica, Paula e Vileide, por todo carinho, afeto e pelos bons conselhos que me deram.

Aos meus amigos grandes amigos de infância Mike Sousa, Elvis Stanley e Janderlles, pelo companheirismo de tanto tempo, obrigado pela singularidade em nossas amizades.

Aos meus queridos Professores Ediomarques Felício (Lila) e Francisco Pereira (Tico) pela partilha de conhecimento, pela paciência enquanto ensino médio e pelos ensinamentos para a vida. Agradeço por serem meus professores favoritos os quais levo pra vida como exemplos.

Agradeço de forma especial a minha Tia Vera Lucia (Tia Verinha), por sempre acreditar de forma carinhosa nas minhas escolhas, agradeço por todo esse amor que sempre me confortou em momentos difíceis, sempre me arrancando um sorriso em meio a tantas dificuldades da vida longe de casa.

Aos amigos de graduação Renata Richelle, Shayene Medeiro, Jefferson Barros e Thiago Alves, que sempre mostraram uma verdadeira amizade, pelos bons conselhos, pelas brincadeiras, pelo companheirismo, vocês sempre estarão nas minhas melhores lembranças de Sumé.

As minhas amigas Raiana Almeida e Iara, pela amizade sincera que construímos pelas conversas e reflexões. Nunca esquecerei das noites de estudos intensivo que passamos sempre apoiando um ao outro.

Ao meu “quilombo”, Maxsuel (Max), Amannda Sousa, Emanuelle (Manu), Andreza Larissa e Caroline (Carol) meus amigos irmãos que a graduação me proporcionou, vocês sempre fizeram meus dias ficarem mais leve e iluminado, mesmo com tanto caos. Obrigado por tudo, Amo vocês!

Ao professor Adriano Barros, por proporcionar a experiência de trabalhar com o ensino da Física de uma forma tão dedicada, pela paciência e os ensinamentos.

Ao meu orientador Bruno Nunes, pela oportunidade que me concedeu em vivenciar uma vida acadêmica produtiva e harmoniosa. Guardarei com todo carinho os ensinamentos que o senhor transmitiu, além dos conselhos e motivação para continuar a caminhada.

Aos técnicos Osvaldo e Denílson e ao porteiro do laboratório Cristiano e Bethânia.

Ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - Universidade Federal de Campina Grande.

A todos, meus mais sinceros agradecimentos, sempre estarão guardados no peito, pois cada um contribuiu de forma significativa na minha caminhada. Obrigado!

RESUMO

A prática do reuso de efluentes vem sendo bastante estudada e tem como propósito reduzir a demanda sobre os mananciais, devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior. Dentre as atividades que mais utilizam água, gerando um efluente com elevadas cargas de sólidos totais, estão a lavagem de automóveis e de roupas. Uma das alternativas encontradas para o tratamento deste tipo de efluente é o uso de coagulantes. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi comparar a aplicabilidade do sulfato de alumínio e das sementes de *Moringa oleifera*, no processo de coagulação dos efluentes provenientes da lavagem de automóveis e de roupas. Amostras de 1,0 L de efluente, coletados em uma lava a jato e uma residência localizados no Município de Sumé-PB, foram utilizadas para realização dos testes, sendo aplicados como coagulantes o sulfato de alumínio e sementes de moringa pulverizadas em solução. Aplicou-se o planejamento fatorial 2^2 com três repetições no ponto central, para verificar a influência do tempo de tratamento e da quantidade dos coagulantes sobre a turbidez, o pH e a condutividade elétrica das amostras. Os resultados obtidos para o efluente de lava a jato permitiram verificar uma redução na turbidez de até 94%, quando se utilizou o coagulante obtido a partir da semente de moringa, e de até 96%, para o sulfato de alumínio, que também proporcionou a redução de pH e aumento da condutividade elétrica. A análise estatística indicou que, para um nível de confiança de 95%, o efeito do tempo foi significativo sobre a resposta turbidez, para os dois coagulantes utilizados. Analisando os resultados obtidos para o efluente de lavagem de roupas, verifica-se uma redução na turbidez de até 92%, quando se utilizou o coagulante obtido a partir da semente de moringa, e de até 70%, para o sulfato de alumínio, que também proporcionou a redução de pH. Os resultados da análise estatística, com um grau de confiança de 95%, permitiram verificar que, para a resposta turbidez, quando se utilizou o sulfato de alumínio, os dois fatores e a interação foram estatisticamente significativos, já para a Moringa, apenas o tempo apresentou efeito significativo. Para as condições estudadas, é possível afirmar que as sementes de Moringa podem ser aplicadas como coagulante no tratamento de águas servidas, reduzindo os teores de turbidez, com a vantagem de ser um produto natural de baixo custo e sem promover alterações significativas no pH e na condutividade elétrica das amostras.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*. Sulfato de alumínio. Turbidez. Reutilização. Planejamento fatorial.

ABSTRACT

The practice of wastewater reuse has been extensively studied and its purpose is to reduce the demand on springs due to the substitution of drinking water for lower quality water. Among the activities that use water the most, there are car and clothes washing which generate wastewater with high loads of suspended matter. One of the alternatives found for the treatment of this type of effluent is the use of coagulants. Thus, the aim of this work is to compare the applicability of aluminum sulfate and *Moringa oleifera* seeds in the process of coagulation wastewater from car and clothes washing. 1.0 L effluent samples were collected from a car wash and a residence located in the city of Sumé-PB and were used to perform the tests, being applied as coagulants aluminum sulfate and moringa seeds sprayed in solution. Factorial design 2^2 was applied with three repetitions at the central point to verify the influence of treatment time and amount of coagulants on turbidity, pH and electrical conductivity of the samples. The results obtained from the car wash effluent showed a reduction in turbidity of up to 94% when using coagulant obtained from moringa seed, and up to 96% for sulfate, which also provided a reduction in pH and increased electrical conductivity. Statistical analysis indicated that for a 95% confidence level, the effect of time was significant on turbidity response for both coagulants used. Analyzing the results obtained for the clothes washing effluent, there was a reduction in turbidity of up to 92% when using coagulant obtained from moringa seed, and up to 70% for sulfate, which also provided pH reduction. The statistical analysis results, with a confidence level of 95%, showed that, for the turbidity response, when sulfate was used, both factors and the interaction were statistically significant, while for the moringa only time had a significant effect. For the studied conditions, it is possible to state that moringa seeds can be applied as coagulant in wastewater treatment, reducing turbidity levels, with the advantage of being a low cost natural product and without promoting significant changes in pH and electrical conductivity of the samples.

Key words: *Moringa oleifera*. Aluminum sulfate. Turbidity. Reuse. Factorial design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sementes da Moringa oleifera antes da moagem.....	23
Figura 2	Sementes da Moringa oleifera após a moagem.....	24
Figura 3	Processo de coleta do efluente gerado na lavagem de automóveis.....	24
Figura 4	Ensaio de tratamento das amostras de 1 L de água residuária dos processos de lavagem de automóveis e de roupas.....	25
Figura 5	Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade elétrica (b) e turbidez (c), aplicando o coagulante natural.....	30
Figura 6	Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade elétrica (b) e turbidez (c), aplicando o sulfato de alumínio em solução.....	31
Figura 7	Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade elétrica (b) e turbidez (c), aplicando o coagulante natural.....	32
Figura 8	Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade elétrica (b) e turbidez (c), aplicando o sulfato de alumínio em solução.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Matriz de planejamento com níveis reais e codificados das variáveis independentes.....	26
Tabela 2	Resultados das análises obtidos antes e após a etapa de tratamento das amostras.....	27
Tabela 3	Resultados das análises obtidos antes e após a etapa de tratamento das amostras.....	29

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
IDEC	Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
IEA	Agência Internacional de Energia
ONU	Organização das Nações Unidas
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
NTU	Unidade de Turbidez Nefelométricas
mL	Mililitro
L	Litro
mg	Miligrama
g	Gramma
PB	Paraíba
cm	Centímetro
μS	Microsiemens
pH	Potencial Hidrogeniônico
CE	Condutividade Elétrica
°C	Celsius
Pt	Escala APHA- Hazen
LQA	Laboratório de Qualidade de Água
CDSA	Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1	ÁGUA: DISPONIBILIDADE E APLICAÇÕES.....	15
3.2	ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	16
3.2.1	Efluente da Lavagem de Automóveis.....	17
3.2.2	Efluente da Lavagem de Roupas – Águas Cinzas.....	17
3.3	REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA.....	18
3.4	TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS POR COAGULAÇÃO.....	19
3.4.1	Coagulantes Químicos.....	20
3.4.2	Coagulantes Naturais.....	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1	PREPARAÇÃO DO COAGULANTE NATURAL.....	23
4.2	COLETA DAS AMOSTRAS DO EFLUENTE DA LAVAGEM DE AUTOMÓVEIS...	24
4.3	COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS CINZAS.....	25
4.4	PROCESSO DE COAGULAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	25
4.5	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS AMOSTRAS ANTES E APÓS A ETAPA DE CLARIFICAÇÃO.....	27
5.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	30
6	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indissociável a vida humana, sendo finito e fundamental ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social, tendo uma infinidade de usos, dos mais simples aos mais complexos. O uso da água apresenta participação em diversas atividades, seja no uso direto ou na indústria, comércio, agricultura e todos os setores vinculados ao fornecimento de produtos e serviços.

A disponibilidade e a qualidade da água sempre foram essenciais para manter os ciclos de vida, a biodiversidade e a sobrevivência da espécie humana. Devido ao acelerado crescimento da população mundial, e em consequência, da demanda por alimentos, o uso dos recursos hídricos para a produção destes alimentos, bem como nas indústrias e para o próprio consumo humano, vem causando uma redução gradual da qualidade da água (REBOUÇAS, 2002; TUNDISI, 2003; MARINOSKI, 2007).

Vários estudos vêm sendo realizados com o objetivo de determinar métodos que sejam sustentáveis e eficazes no tratamento de águas residuárias e que possibilitem a sua reutilização (SANTANA, 2019). Enquadram-se nesse contexto as águas provenientes de lavagem de automóveis e a de chuveiros, pias de cozinha e máquina de lavar, denominadas águas cinzas, que podem atender demandas menos restritivas. O reúso deste tipo de água, após o tratamento, pode proporcionar a economia de grandes volumes de água potável, além gerar benefícios ambientais.

Entre as alternativas encontradas para minimizar o problema relativo à qualidade das águas residuárias, encontram-se diversas técnicas de tratamento que podem proporcionar o reúso. A adição de coagulantes junto ao efluente em que se busca um padrão aceitável ao consumidor tem sido bastante aplicada.

Os coagulantes têm como principal função desestabilizar as partículas suspensas, formando coágulos, facilitando o processo de sedimentação. De acordo com Magnan (2010), existem coagulantes do tipo metálico e polieletrólitos onde os mais comumente utilizados são os inorgânicos como o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o sulfato férrico. No entanto, apesar do baixo custo e da alta eficiência na remoção de impurezas, esses tipos de coagulantes apresentam algumas desvantagens, como propriedades corrosivas, quando o seu vapor entra em contato com os olhos, nariz e garganta podem ser irritantes e geram como rejeito grandes quantidades de lodo, que podem conter ácido clorídrico, um agente degradante do meio ambiente, acarretando prejuízos para a fauna local (PALEARI, 2014).

Em função da necessidade da obtenção de métodos alternativos, que também sejam baratos e eficazes para o tratamento da água, muitos estudos têm sido realizados aplicando coagulantes naturais. Dentre eles, a semente da *Moringa oleifera*, espécie que possui propriedades coagulantes e bactericidas (POUMAYE, 2012). De acordo com Amaglon & Benang (2009), quando dissolvidas na água as sementes da moringa adquirem cargas positivas, as quais atraem as cargas negativas presentes no meio, provenientes do material orgânico. Esse tipo de material se mostra mais vantajoso em relação aos coagulantes químicos, devido ao fato de serem biodegradáveis e por proporcionarem uma menor presença de metais na água tratada.

Dentro desse contexto, justifica-se o desenvolvimento do presente trabalho, uma vez que a prática do reúso deve ser estimulada e mais praticada, além da possibilidade da utilização de um coagulante natural de fácil acesso e baixo custo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o desempenho do coagulante natural com o alcançado quando se aplicou o coagulante químico sulfato de alumínio a partir de parâmetros físico-químicos pH, condutividade elétrica e turbidez.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Aplicar o planejamento fatorial, para avaliar se os fatores tempo de tratamento e quantidade de coagulante apresentam influência sobre as respostas pH, condutividade elétrica e turbidez das amostras.

Verificar a eficiência da semente da *Moringa oleifera* como coagulante na clarificação das águas oriundas da lavagem de automóveis e de roupas, no município de Sumé-PB.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ÁGUA: DISPONIBILIDADE E APLICAÇÕES

A água é um recurso de suma importância para a existência da vida no planeta. Não só por ser essencial para a hidratação, constituindo cerca de 70% do corpo humano, mas também pela sua importância no desenvolvimento de várias atividades antrópicas, como a agricultura e diversos processos industriais, além de promover a manutenção e o equilíbrio dos ecossistemas terrestres (CÂNDIDO, 2013). É um elemento vital para as atividades como abastecimento humano, abastecimento industrial, irrigação de plantações, geração de energia elétrica, navegação, assimilação e transporte de poluentes, aquicultura e recreação (VOET, 2014; VICENTE, 2013).

Das águas que constituem nosso planeta, cerca de 97,5% é salgada, estando concentrada nos mares e oceanos. Da parcela de água doce, que corresponde a 2,5%, nem tudo é potável, uma vez que, estão distribuídas em geleiras, calotas polares ou em regiões montanhosas. Dessa fração de água doce, parte ainda possui um difícil acesso, em que 29,9% encontram-se em mananciais subterrâneos, 0,99% compõe os pântanos e somente 0,3 % pode ser consumida, a qual constitui a porção superficial como rios, lagos e outras fontes naturais (CASTRO, 2012).

O Brasil é um país privilegiado quanto ao volume de recursos hídricos, pois abriga 12% da água doce do mundo. Entretanto, a disponibilidade desses recursos não é uniforme. Algumas regiões sofrem com a escassez de água devido à sua má distribuição, sendo que 81% do disponível encontra-se concentrado na região hidrográfica amazônica, onde está localizado o menor índice populacional, equivalente a apenas 5% da população nacional. Nas regiões hidrográficas onde se concentram cerca de 45% da população do país, estão disponíveis apenas 2,7% dos recursos hídricos (JACOBI & GRANDISOLI, 2017).

A qualidade da água para o consumo humano é condição indispensável para a sobrevivência e a falta de recursos hídricos provocados pela má distribuição natural no Brasil, bem como pela falta de investimento em saneamento básico, tem como consequência o surgimento de algumas dificuldades para a população brasileira, que vão desde a disponibilidade da água até a disponibilidade da água tratada. Os longos períodos de estiagem também são um fator marcante, gerando uma grande problemática, principalmente na região Nordeste, sendo esta castigada pela falta do recurso (AMORIM, 2001).

Além disso, a distribuição de água tratada é feita de forma não uniforme, sendo que na região Sudeste, cerca de 87% das residências são abastecidas por água tratada, enquanto no Nordeste este percentual cai para aproximadamente 59% (IDEC, 2005; BRASIL, 2017).

Associados a má distribuição, o aumento na demanda por este recurso, a sua qualidade e o uso inadequado também têm causado preocupação. O uso da água tem aumentado em todo o mundo em cerca de 1% ao ano desde os anos 80, impulsionado por uma combinação de crescimento populacional, desenvolvimento socioeconômico e mudanças nos padrões de consumo (ANA, 2017). Existe uma expectativa que a demanda global de água continue aumentando a uma taxa semelhante até 2050, representando um aumento de 20 a 30% acima do nível atual de uso da água (BUREK, 2016). Embora as projeções específicas possam variar um pouco, a análise atual sugere que grande parte desse crescimento será atribuída ao aumento da demanda dos setores industrial e doméstico (OCDE, 2011; BUREK *et al.*, 2016; IEA, 2016).

Segundo a Agência Nacional de Águas, o uso mais intenso de água, no Brasil, está relacionado à irrigação para produção de alimentos (cerca de 70% do consumo de água é destinado a essa finalidade). Quanto a esse aspecto, o abastecimento urbano representa 11%; a dessedentação animal, 11%; o uso industrial, 7%; e o abastecimento rural, 2%. A demanda de água corresponde à vazão de retirada, ou seja, à água captada (ANA, 2017).

Diante das problemáticas envolvendo a distribuição dos recursos hídricos, em regiões que enfrentam a escassez da água como o semiárido nordestino, a utilização de águas residuárias tratadas torna-se um benefício visando a solução de problemas ambientais, aumentando a disponibilidade deste recurso, liberando a água de melhor qualidade para fins mais nobre, tais como consumo humano, direcionando o efluente de qualidade inferior, para usos não potáveis (irrigação de jardins, lavagem de piso, etc), contribuindo assim para a gestão de recursos hídricos e ainda para a sustentabilidade (GIACOBBO, 2010).

3.2 ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Água residuária é um termo usado para caracterizar os efluentes provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, de estabelecimentos públicos, áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outros efluentes sanitários (REBÊLO, 2011).

3.2.1 Efluente da Lavagem de Automóveis

Dentre as atividades que, normalmente, utilizam uma elevada quantidade de água potável, para um fim que não necessita deste nível de qualidade, a lavagem de veículos tem se destacado, principalmente devido ao aumento da frota de automóveis no Brasil, o que torna a demanda para higienização destes bens, cada vez maior, principalmente nas áreas residenciais localizadas nas zonas urbanas (LAU; ISMAIL; FIRDAUS, 2013; BOLUARTE *et al.*, 2016).

Estima-se que no processo padrão para lavagem de um carro, dependendo do porte da empresa que efetua o serviço e do tamanho do veículo, produz-se, em média, entre 150 e 600 litros de efluente por veículo (GÖNDER, 2017). Tais processos, geram um efluente com elevado teor de carga orgânica que na maioria das vezes é descartado no meio ambiente de forma imprópria, sem nenhum tipo de tratamento. O efluente gerado nessa atividade pode conter quantidades significativas de matéria particulada, areia, óleos, graxas, metais pesados e surfactantes. Além disso, é possível verificar a presença de compostos fenólicos, que alteram as propriedades organolépticas da água, bem como uma grande quantidade de detergente (BOLUARTE, 2016).

Em algumas instalações de lavagem, o tratamento empregado consiste em uma caixa separadora de água, óleo e partículas sólidas que faz essa separação pelo processo de decantação. Entretanto, muitas vezes, este tipo de tratamento não tem sido eficiente, pois a maior parte dos efluentes tratados se encontram em desacordo com os padrões máximos permitidos para o lançamento de efluentes no ambiente (DORIGON; TESSARO, 2010).

3.2.2 Efluente da Lavagem de Roupas – Águas Cinzas

A definição de águas cinzas podem ser usada como sendo, água servida de origem residencial, correspondendo ao efluente produzido por meio da higiene pessoal e pela limpeza domiciliar. Essa definição relaciona a descentralização que propõe a separação do esgoto domésticos em águas negras (efluentes de bacias sanitárias) e águas cinzas, visando um tratamento mais específico para cada tipo de efluente, obtendo recursos que seriam desperdiçados. Portanto, trata-se, da água residuária proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinhas, máquinas de lavar roupas e tanques (HERMANDEZ LEAL, 2011).

Em geral, a água cinza é dividida em cinco categorias, de acordo com a origem, sendo observadas a de banheiro, lavanderia, cozinha, lavagem de utensílios domésticos e a mistura entre as categorias.

As águas cinzas possuem elementos variáveis de acordo com os pontos de contribuição e dependentes das atividades domésticas associadas. Águas cinzas de lavanderia contém sódio, fosfato, surfactantes, amônia, e nitrogénio a partir do sabão em pó e roupas sujas (características químicas), elevado teor de sólidos em suspensão, fiapos e turbidez, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) alta e cargas de coliformes termotolerantes variáveis (características microbiológicas) (DALLAS, 2015).

Condicionar as águas cinzas a tratamentos seja eles químicos, físicos ou biológicos, se faz 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 padrões são: matéria orgânica, sólidos em suspensão e microrganismos (KNUPP, 2013). Porém é importante salientar que, a qualidade da água utilizada e o objeto específico de reuso definirão os níveis de tratamento recomendado.

3.3 REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA

Vários estudos vêm sendo realizados objetivando a determinação de métodos que sejam sustentáveis e mais eficazes no tratamento de águas residuais para que essas possam ser reutilizadas. Com o tratamento, efluentes que inicialmente apresentam características que os tornam impróprios para o consumo humano, poderiam proporcionar a substituição de água potável por outra, de qualidade inferior, porém compatível com diversos usos (CARVALHO, 2014).

A reutilização, além de proporcionar a economia de grandes volumes de água potável, pode gerar benefícios ambientais como reduções nas descargas de águas residuais nos corpos d'água naturais, a diminuição dos impactos da proliferação de algas e eutrofização, reduções no uso de produtos químicos para tratamento, reduções nas emissões de gases de efeito estufa, quando a reutilização é uma alternativa à dessalinização, entre outros (DE GOIS; RIOS; COSTANZI, 2015; SANTANA, 2019).

Uma das alternativas encontrada para o tratamento de efluentes com elevadas cargas de matéria suspensa, como os provenientes da lavagem de veículos e de roupas, está no uso de coagulantes, sendo aplicadas técnicas básicas, como coagulação, floculação e a decantação para a remoção de partículas suspensas e da coloração aparente destes efluentes. Conseqüentemente,

o processo de coagulação pode ser visto como um dos tratamentos para fornecer um efluente final que possa ser reutilizado nas atividades de higienização e outras que requeiram um nível de pureza menor.

3.4 TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS POR COAGULAÇÃO

O processo de coagulação é geralmente usado em estações de tratamento de águas, visando reduzir a concentração de sólidos em suspensão, partículas coloidais não sedimentares e patógenos em suspensão, diminuindo a turbidez e a cor, e, conseqüentemente, melhorando a qualidade da água (CHEN, 2018; MEGERSA, 2019). A não remoção deste tipo de matéria pode causar problemas na aparência como cor, odor e turbidez (WAN, 2019). Estes aspectos visuais são perceptíveis e podem causar repulsa por parte dos usuários, que darão preferência a uma fonte de aspecto mais agradável (LIMA JR; ABREU, 2018). O odor está relacionado à matéria orgânica em decomposição, microrganismos e gases dissolvidos. Águas com odores fortes e/ou desagradáveis, também tendem a ser rejeitadas, por isso faz-se necessário que a água de reúso para qualquer aplicação apresente odor não ofensivo (REZENDE, 2016).

Além disso, os sólidos em suspensão totais e a turbidez são variáveis importantes pois interferem nos processos de desinfecção, podendo contribuir para a formação de aglomerados de contaminantes indesejados e sítios de proteção de patógenos causadores de doenças de veiculação hídrica (vírus, bactérias e protozoários), causando objeção à água de reúso além de problemas com a irrigação por aspersão (LIMA JR; ABREU, 2018; REZENDE, 2016).

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. Como resultado da ação destes materiais, ocorre a floculação, em que 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 (RIBEIRO, 2015; SILLANPÄÄ, 2018).

As reduções das partículas dependem do tipo e dosagem do coagulante, pH da água, temperatura, qualidade da água bruta e características das partículas (CHEN, 2018). Em relação ao efeito da dosagem de coagulantes, determinar a quantidade ideal 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, 2018).

3.4.1 Coagulantes Químicos

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 o colóides com carga negativa (SILLANPÄÄ, 2018).

Os coagulantes inorgânicos mais frequentemente utilizados são os sais de alumínio, policloreto ($Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$) e sulfato ($Al_2(SO_4)_3$), além dos sais de ferro, cloreto férrico ($FeCl_3$) e o sulfato ferroso ($FeSO_4$). Os sais de titânio também vêm sendo estudados como promissores agentes de tratamento de água devido à excelente capacidade de remoção de turbidez, remoção de matéria orgânica e propriedades de reutilização do lodo gerado durante o processo. Outros materiais que geralmente são aplicados para auxiliar a floculação são os polímeros sintéticos, que podem ser orgânicos ou inorgânicos, dentre os quais, destacam-se aqueles a base de poliacrilamida, ácido poliacrílico, poli (cloreto de dialil dimetil amônio) e poliamina (MEGERSA, 2019; WAN, 2019; LIMA JR. e ABREU, 2018).

Possíveis impactos ambientais são constantemente discutidos como consequências da utilização de coagulantes inorgânicos a base de alumínio e de ferro. Altos volumes de lodo, com teores de íons metálicos, inorgânicos, não biodegradáveis e tóxicos, são gerados, causando problemas na hora da destinação final, demandando tratamento posterior. Outro inconveniente é que geralmente coagulantes a base de alumínio, atuam em faixas de pH mais restritas, causando a necessidade da aplicação de produtos químicos para a correção deste parâmetro. Estes dois problemas geram a elevação do custo envolvido no processo. Além disso, vários estudos apontam para os danos causados pela exposição humana ao alumínio, correlacionando-o com doenças neurodegenerativas como Parkinson e Alzheimer (LIMA JR; ABREU, 2018; RIBEIRO, 2015).

Em relação ao uso de polímeros sintéticos, estes podem conter contaminantes do processo de produção, incluindo monômeros residuais e subprodutos da reação, que podem ser prejudiciais aos organismos vivos (SILLANPÄÄ, 2018). Além da preocupação com a toxicidade de monômeros em solução, faz-se necessário também uma análise de possíveis impactos ambientais das moléculas poliméricas (LIMA JR; ABREU, 2018).

Nesse contexto, torna-se interessante propor alternativas para reduzir os efeitos adversos causados pelos coagulantes químicos. Uma forma de mitigar as dificuldades existentes pode ser a utilização de coagulantes naturais que são rentáveis, podem reduzir os danos ao ambiente e à saúde humana e são tão eficazes como os coagulantes utilizados tradicionalmente (MEGERSA, 2019; VUNAIM, 2019).

3.4.2 Coagulantes Naturais

Vários estudos têm sido realizados visando a produção de coagulantes derivados de biomassa, a fim de desenvolver alternativas aos coagulantes convencionais. Foram investigados como coagulantes ou auxiliares de coagulação, biomateriais provenientes de plantas, espécies marinhas ou organismos microbianos. (SILLANPÄÄ, 2018). Alguns dos coagulantes à base de plantas estudados incluem *Moringa oleifera*, *Margaritarea discoidea*, *Maerua subcordata*, *Moringa stenopetala*, *Medicago sativa*, *Dolichos lablab*, *Pennistemon glaucum*, *Quercus robur* e *Opuntia ficus indica*. (MEGERSA, 2019).

A utilização de coagulantes naturais torna-se vantajosa, pois seu uso não gera subprodutos, os custos envolvidos tornam-se menores, e são materiais que não representam risco à saúde humana. Outras características que favorecem a aplicação deste tipo de material são a não exigência do controle e da correção de pH, o volume de lodo gerado é muito menor, sendo que o lodo produzido pode ser utilizado para a adubação, por possuir menores teores de substâncias tóxicas e metais, e além disso, a utilização de produtos naturais para a produção de coagulantes, geralmente, não compete com a produção de alimentos (RIBEIRO, 2015).

Com isso, houve um crescente interesse em biocoagulantes, dentre os quais destacam-se as sementes de *Moringa oleifera*, que têm sido aplicadas como coagulante de impurezas presentes na água e em águas residuais, sendo que há cerca de 40 anos estudos científicos vêm sendo realizados sobre o tema, (VUNAIM, 2019; MOULIN, 2019).

A semente de *Moringa oleifera* contém proteína solúvel que serve como agente clarificador e desestabiliza as partículas presentes na água. Quando o pó da semente de *Moringa oleifera* 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) que tornam as águas brutas turvas (ADESINA, 2019; VUNAIM, 2019). Além de serem utilizados como coagulantes, as sementes de moringa

apresentam atividade antimicrobiana. O pó obtido da semente pode remover mais de 90% da carga bacteriana de amostras de água bruta (MOULIN, 2019).

A agregação das impurezas particuladas é o primeiro passo na purificação da água, o que promove a redução de uma grande fração destas partículas e diminui a turbidez, sendo esta etapa essencial para os processos subsequentes de separação gravitacional e filtração. As proteínas das sementes são pequenas, catiônicas e são difíceis de desnaturar em solução, mostrando uma acentuada tendência de se auto associar em solução aquosa, caso a concentração não seja muito baixa. O mecanismo sugerido neste processo envolve a adsorção de proteínas a uma ampla gama de partículas diferentes e isso favorece a associação. Essencialmente, as fortes interações de atração entre as moléculas são transferidas para as partículas que são cobertas com proteínas. Isso permite a coagulação e heterocoagulação eficazes de uma ampla gama de impurezas particuladas (MOULIN, 2019).

A eficiência do coagulante natural obtido a partir das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de águas residuais depende do método aplicado em sua preparação. Em geral, estudos demonstraram que os coagulantes naturais preparados por fracionamento de proteínas exibem melhor desempenho, contudo, o pó obtido por meio da moagem das sementes apresenta uma maior facilidade na preparação e, portanto, passível de aplicação em diversos ambientes, sejam urbanos ou rurais (VUNAIM, 2019).

Assim, nas aplicações mais tradicionais, se emprega a forma pulverizada das sementes de moringa, e em alguns casos específicos, aplica-se o óleo extraído delas. Com isso, mesmo com a eficácia estabelecida em termos da redução de turbidez e de bactérias, as investigações sobre o desenvolvimento do processo, e otimização da quantidade do material necessário para o tratamento de água, são importantes e têm sido realizadas (MOULIN, 2019).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os experimentos de clarificação foram realizados no laboratório de Qualidade de Água (LQA) do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em Sumé-PB.

4.1 PREPARAÇÃO DO COAGULANTE NATURAL

Amostras das sementes de moringa (*Moringa oleifera*) foram coletadas nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Pombal-PB, e devidamente separadas das vagens (fruto), conforme apresentando na Figura 1.

Figura 1 - Sementes da *Moringa oleifera* antes da moagem.



Fonte: Autoria própria (2018).

Em seguida retiradas suas cascas e então pulverizadas em moinho de facas tipo Willey macro - Tn650/1 com peneira, gerando partículas com diâmetro entre de 0,25 e 0,53 μm , conforme apresentado na Figura 2. O processo de moagem das sementes foi realizado no Laboratório de Solos (LASOL), na UFCG, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), campus Sumé-PB.

Figura 2 - Sementes da *Moringa oleifera* após a moagem.

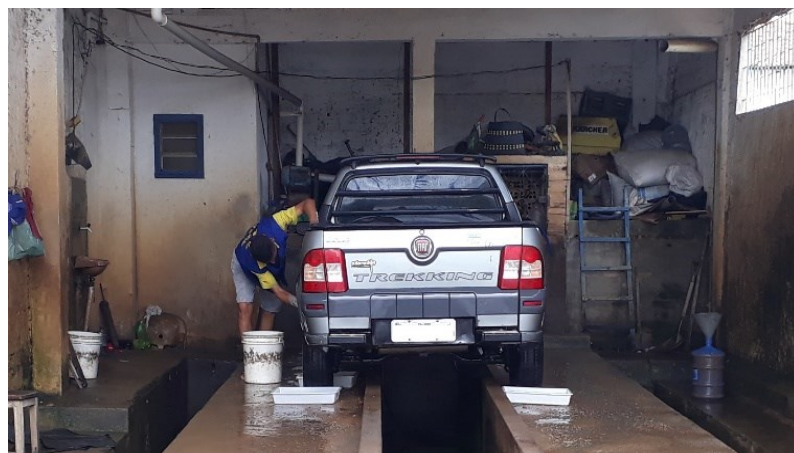


Fonte: Aatoria própria (2018).

4.2 COLETA DAS AMOSTRAS DO EFLUENTE DA LAVAGEM DE AUTOMÓVEIS

Amostras de água, provenientes da lavagem de automóveis, foram coletadas no Lavajato Sumeense, na cidade de Sumé-PB, conforme apresentado na Figura 3. Essas amostras foram armazenadas em galões de água mineral de 20 litros, previamente lavados, permitindo assim a preservação das propriedades físico-químicas das amostras que foram avaliadas em tempo de até 24 horas após a coleta, como estabelecido pelo protocolo de análises de águas, descrito por Oliveira e Silva (2006).

Figura 3 - Processo de coleta do efluente gerado na lavagem de automóveis.



Fonte: Aatoria própria (2019).

4.3 COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS CINZAS

Amostras de águas cinzas, provenientes da lavagem de roupas em máquina de lavar, foram coletadas em uma residência no Município de Sumé-PB. Vale salientar que a coleta foi realizada em dos ciclos de lavagem da máquina, entre o modo 1 e 2, que corresponde ao enxague (molho) e lavagem (água e sabão).

4.4 PROCESSO DE COAGULAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Os ensaios de clarificação dos efluentes foram conduzidos em garrafas PET, conforme apresentado na Figura 4, sendo utilizado como coagulante químico o Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) em solução diluída, e como coagulante natural sementes de moringa descascadas e trituradas em moinho de facas, na forma de solução preparada na proporção de 20 gramas (g) de sementes para 1 litro (L) de água destilada.

Figura 4 - Ensaios de tratamento das amostras de 1 L de água residuária dos processos de lavagem de automóveis e de roupas.



Fonte: Autoria própria (2019).

Para realização dos testes, aplicou-se o planejamento experimental com dois fatores e três repetições no ponto central, visando verificar a influência das variáveis de entrada, tempo de tratamento e quantidade de coagulante, sobre as respostas turbidez, pH e condutividade elétrica. Os fatores avaliados e seus respectivos níveis, reais e codificados, encontram-se dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz de planejamento com níveis reais e codificados das variáveis independentes.

Ensaio	Quantidade de coagulante			
	Tempo de processo		em solução	
	Codificado	Real	Codificado	Real
1	-1	30 min	-1	20 mL
2	+1	210 min	-1	20 mL
3	-1	30 min	+1	100 mL
4	+1	210 min	+1	100 mL
5	0	120 min	0	60 mL
6	0	120 min	0	60 mL
7	0	120 min	0	60 mL

4.5 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Alíquotas das amostras de água, antes e após os tratamentos, foram coletadas para realização das determinações físico químicas. As análises físico-químicas das amostras, foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água (LQA), no CDSA da UFCG.

Para determinar o pH, inicialmente realizou-se a calibração do pHmetro (Quimis-Q400 AS) com soluções tampão padrão de pH 4,0 e 7,0. Em seguida, os eletrodos foram inseridos nas amostras de água para leitura do pH e os dados foram registrados.

Para a determinação da condutividade elétrica das amostras de água, foi utilizado um condutivímetro (MS TECNOPON-mCA 150). Seus eletrodos foram devidamente lavados e após a calibração, foram imersos nas amostras de água, com isso os valores de condutividade foram coletados.

A turbidez foi medida através do turbidímetro (TECNOPON-CL800), comparando-se o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o espalhamento de um feixe de igual intensidade ao passar por uma suspensão padrão. Assim, coletou-se os dados referentes a este parâmetro para cada uma das amostras.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS AMOSTRAS ANTES E APÓS A ETAPA DE CLARIFICAÇÃO

Os resultados obtidos a partir das análises físico-químicas, na determinação do pH, condutividade elétrica (σ) e turbidez, das amostras de efluente de lava jato, antes (B) e após os ensaios de tratamento, com as duas formas de coagulantes aplicados, encontram-se disponíveis na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das análises obtidos antes e após a etapa de tratamento das amostras.

Ensaio	Coagulante Natural			Coagulante Químico		
	pH	σ (ms/cm)	Turbidez (NTU)	pH	σ (ms/cm)	Turbidez (NTU)
B	7,30	0,33	839	7,98	0,35	1068
1	7,20	0,34	181	2,74	4,78	178
2	7,30	0,34	54	2,75	4,74	39
3	6,97	0,36	225	2,19	16,21	171
4	6,95	0,33	49	2,21	16,21	46
5	7,28	0,29	97	2,36	11,11	77
6	7,36	0,35	95	2,39	10,18	71
7	7,33	0,34	94	2,34	10,62	68

Avaliando os resultados obtidos para a condutividade das amostras de água tratada, comparando-se com os valores observados nas amostras de água bruta, foram verificadas poucas alterações, ao utilizar o coagulante natural em solução, em todos os ensaios. Porém, ao aplicar o coagulante químico em solução, foram verificados grandes aumentos neste parâmetro, alcançando-se o valor de 16,21 ms/cm, nos ensaios 3 e 4.

Conforme descrito em Brasil (2014), a condutividade elétrica da água indica a sua capacidade em transmitir corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que podem se dissociar em ânions e cátions, com isso, quanto maior a concentração de íons em solução, maior deve ser a capacidade em conduzir corrente elétrica. Neste sentido, é possível propor que as alterações na condutividade das amostras tratadas aplicando o coagulante químico

em solução, podem ter ocorrido devido a adição do íon alumínio ao meio, fazendo com que à presença do alumínio residual na água, tenha gerado o aumento, principalmente nos ensaios onde o volume aplicado foi o maior (LOPES, 2014).

Em relação aos valores de pH, foram verificadas pequenas alterações, ao serem aplicadas as sementes de moringa em solução, e uma grande redução ao utilizar o sulfato em solução, sendo, neste caso, alcançados valores entre 2,19 e 2,75.

Segundo Rosalino (2011), quando o agente coagulante é adicionado na água ocorre uma série de reações de hidrólise que proporcionam o aumento do teor de íons H^+ e consequentemente diminuem o pH. Além disso ocorre o aumento da dificuldade na formação de mais precipitado. Nestes casos, o valor do pH deve ser regulado pela presença de alguma substância alcalina, o que poderá influenciar diretamente o processo de coagulação, em particular na remoção da matéria orgânica natural e de substâncias químicas orgânicas sintéticas.

Os resultados obtidos na aplicação dos coagulantes para a remoção da turbidez permitiram verificar uma redução de 96,35% quando foi utilizado o sulfato de alumínio em solução, para um tempo de 210 minutos (3,5 horas) e um volume de 20 mL. Já para a solução de sementes de moringa, a redução da turbidez foi de 94,16%, também para um tempo de 210 minutos (3,5 horas), utilizando 100 mL de solução. É possível verificar que os maiores percentuais de redução foram alcançados nos ensaios onde o tempo de tratamento foi o maior.

Keogh et al. (2017) alcançaram 85% de redução da turbidez de amostras de água bruta, utilizando a moringa em forma de pó, para um tempo de 24 horas. Paula et al. (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.

Os resultados obtidos a partir das análises físico-químicas, na determinação do pH, condutividade elétrica (σ) e turbidez, das amostras de efluente de lavagem de roupa, antes (B) e após os ensaios de tratamento, com as duas formas de coagulantes aplicados, encontram-se disponíveis na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados das análises obtidos antes e após a etapa de tratamento das amostras.

Ensaio	Coagulante Natural			Coagulante Químico		
	pH	C.E (µs/cm)	Turbidez (NTU)	pH	C.E (µs/cm)	Turbidez (NTU)
B	10,30	178,5	233,0	10,04	168,9	210,0
1	10,27	175,2	173,0	2,72	144,5	94,0
2	10,61	176,7	60,0	2,72	146,8	69,0
3	11,06	162,1	220,0	2,13	143,5	74,0
4	9,73	159,1	21,0	2,06	148,2	63,0
5	10,08	168,0	66,0	2,28	101,5	78,0
6	10,10	168,5	76,0	2,29	105,5	77,0
7	10,07	171,0	72,0	2,32	102,3	77,0

Avaliando os resultados obtidos para a condutividade elétrica das amostras de água tratada, comparando-se com os valores observados nas amostras de água bruta, foram verificadas poucas alterações, ao utilizar os dois tipos de coagulantes.

Em relação aos valores de pH, foram verificadas pequenas alterações, ao serem aplicadas as sementes de moringa em solução, e uma grande redução ao utilizar o sulfato de alumínio em solução, sendo, neste caso, alcançados valores entre 2,06 e 2,72. Percebe-se que o pH da água bruta para este tipo de efluente foi superior ao observado no efluente de lava a jato, sendo este parâmetro igual a 10,04, para a água coletada na lavagem de roupas. Monteiro, Sezerino e Philippi (2015), observaram pH médio de 8,3 para amostras de águas cinzas, justificando este valor pela quantidade de sabão utilizada neste processo.

Os resultados obtidos na aplicação dos coagulantes para a remoção da turbidez permitiram verificar uma redução de 70,00% quando foi utilizado o sulfato de alumínio em solução, para um tempo de 210 minutos (3,5 horas) e um volume de 20 mL. Já para a solução de sementes de moringa, a redução da turbidez foi de 90,99% , também para um tempo de 210 minutos (3,5 horas), utilizando 100 mL de solução. É possível verificar que os maiores percentuais de redução foram alcançados nos ensaios onde o tempo de tratamento foi o maior.

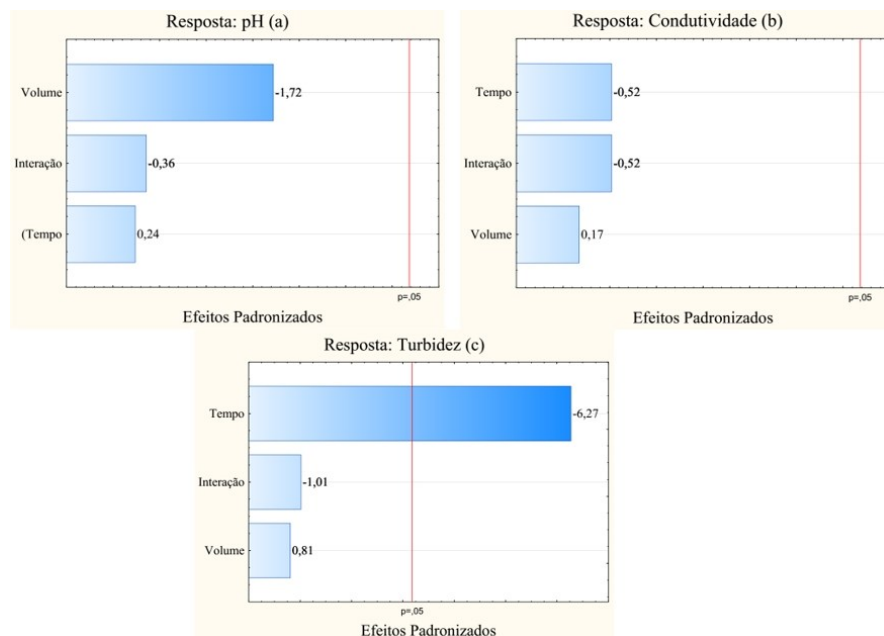
5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Por meio da realização da análise estatística dos resultados, considerando-se um nível de confiança de 95%, foi possível confirmar quais fatores exerceram influência sobre as respostas, ou seja, quais foram estatisticamente significativos.

Como forma de facilitar a compreensão de como os fatores podem influenciar as repostas e quais são mais importantes, foram construídos os diagramas de Pareto para os dois coagulantes aplicados e parâmetros físico-químicos avaliados. Este tipo de diagrama é um recurso utilizado na análise estatística que permite apresentar os resultados em uma ordem hierárquica, ajudando a identificar e avaliar quais parâmetros e interações são mais significativas sobre cada variável de resposta estudada (SILVA et al., 2015, p.3).

Nas Figuras 5 (a), (b) e (c), encontram-se os diagramas de Pareto dos efeitos padronizados em $p = 0,05$, para o pH, condutividade elétrica e turbidez, respectivamente, nos ensaios realizados aplicando o coagulante natural a base de sementes de moringa, na clarificação do efluente de lava a jato.

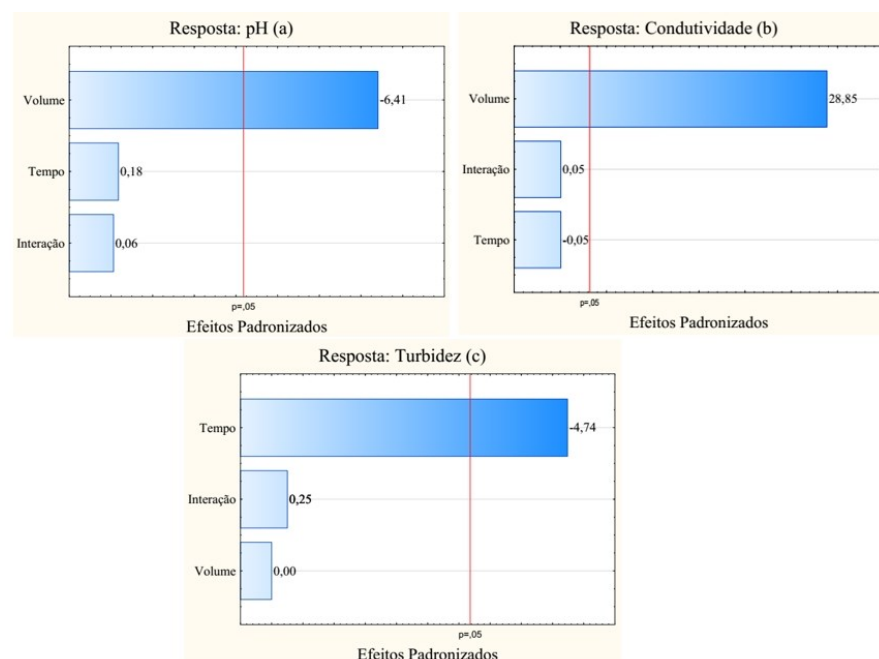
Figura 5 - Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade elétrica (b) e turbidez (c), aplicando o coagulante natural.



Avaliando os diagramas de Pareto e os valores dos efeitos dos fatores, verifica-se que apenas o tempo foi estatisticamente significativo sobre a resposta turbidez, sendo que este efeito foi negativo, o que representa que um aumento do período de tratamento pode permitir a redução da turbidez, gerando uma água tratada com menor teor de sólidos em suspensão.

Nas Figuras 6 (a), (b) e (c), encontram-se os diagramas de Pareto dos efeitos padronizados, para todas as respostas, aplicando o sulfato de alumínio em solução, na clarificação do efluente de lava a jato.

Figura 6 - Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade elétrica (b) e turbidez (c), aplicando o sulfato de alumínio em solução.

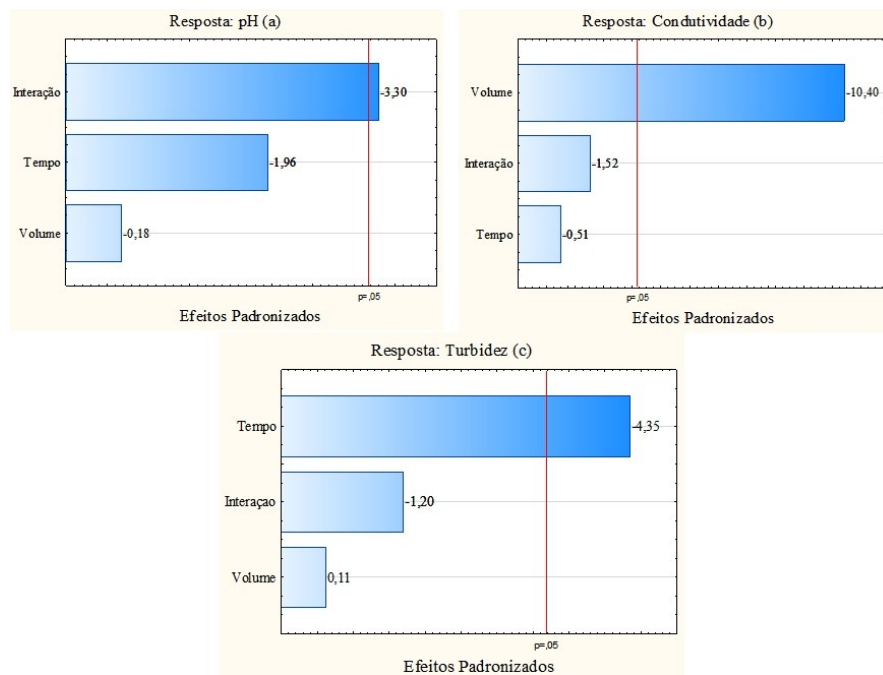


Avaliando os diagramas de Pareto e os valores dos efeitos, verifica-se que o volume de coagulante foi um fator estatisticamente significativo sobre as repostas pH e condutividade elétrica. O efeito foi negativo para o pH, o que representa que um maior volume irá gerar a redução do parâmetro, gerando uma água tratada com maior acidez. Em relação a condutividade elétrica o efeito foi positivo, o que permite afirmar que o aumento do volume de coagulante irá produzir uma água tratada com maior condutividade elétrica. As causas para estas alterações foram explicadas anteriormente, quando os resultados contidos na Tabela 2 foram apresentados.

Ao avaliar o efeito dos fatores sobre a turbidez, verifica-se que o tempo foi estatisticamente significativo e que o valor observado também foi negativo, portanto, um maior tempo de tratamento irá proporcionar uma maior redução na turbidez do efluente a ser tratado.

Nas Figuras 7 (a), (b) e (c), encontram-se os diagramas de Pareto dos efeitos padronizados em $p = 0,05$, para o pH, condutividade elétrica e turbidez, respectivamente, nos ensaios realizados aplicando o coagulante natural a base de sementes de moringa, na clarificação do efluente da lavagem de roupas.

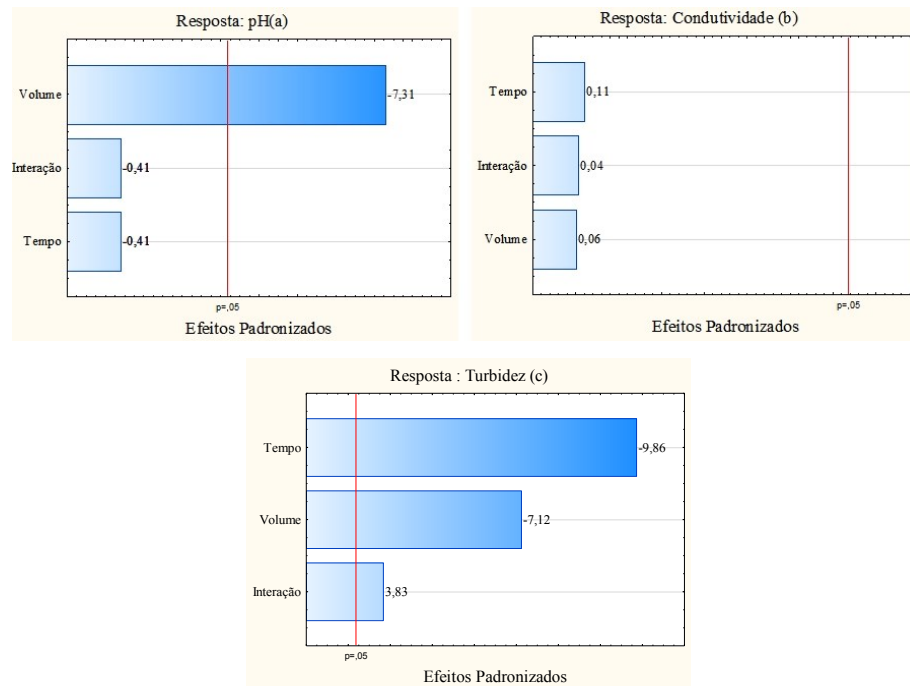
Figura 7 - Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade elétrica (b) e turbidez (c), aplicando o coagulante natural.



Avaliando a Figura 7, verifica-se que a interação entre os fatores foi estatisticamente significativa sobre o pH. Em relação à condutividade elétrica, apenas o volume de coagulante foi significativo, com efeito negativo. Para turbidez, apenas o tempo foi estatisticamente significativo, sendo também negativo, com isso, um aumento deste fator pode gerar a redução da turbidez, gerando uma água tratada com menor teor de sólidos em suspensão.

Nas Figuras 8 (a), (b) e (c), encontram-se os diagramas de Pareto dos efeitos padronizados, para todas as repostas, aplicando o sulfato de alumínio em solução, na clarificação do efluente da lavagem de roupas.

Figura 8 - Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade elétrica (b) e turbidez (c), aplicando o sulfato de alumínio em solução.



Ao avaliar o efeito dos fatores sobre a turbidez, verifica-se que o tempo e o volume foram estatisticamente significativos e que os valores observados também foram negativos. Além disso a interação entre os dois fatores também tem efeito sobre esta resposta. Portanto, dentro da faixa estudada, um maior tempo de tratamento e um maior volume de solução irão proporcionar uma maior redução na turbidez do efluente a ser tratado.

Assim, em virtude dos resultados obtidos, e utilizando a análise estatística como ferramenta, fica comprovado que, ao tratar os efluentes gerados nos processos de lavagem de veículos e de roupas, há a possibilidade da substituição do coagulante convencional, sulfato de alumínio, pelo coagulante natural obtido a partir das sementes de *Moringa oleifera*.

O coagulante natural proporcionou, em média, 90% de remoção da turbidez, sendo estes percentuais de remoção satisfatórios, quando comparado com os resultados obtidos aplicando o sulfato de alumínio, o qual é responsável por produzir um lodo inorgânico, que pode ser corrosivo, devido a redução no pH. Ademais, a aplicação da moringa, por se tratar de um produto natural e biodegradável, pode ser considerada uma alternativa eficiente que possibilita o reuso da água havendo uma economia em relação ao custo do produto e também a redução dos impactos ambientais.

6 CONCLUSÃO

Para as condições estudadas, é possível afirmar que as sementes de *Moringa oleífera*, em solução, podem ser aplicadas como coagulante no tratamento de águas residuárias provenientes das lavagens de veículos e de roupas, reduzindo os teores de turbidez em até 95%, valores semelhantes aos obtidos com o coagulante químico, gerando a possibilidade de uso alternativo dessas águas em aplicações não potáveis, com a vantagem de ser um produto natural de baixo custo, boa disponibilidade e sem promover alterações significativas no pH e na condutividade elétrica das amostras.

Por meio da aplicação do planejamento fatorial, e da análise estatística dos resultados, pode-se afirmar que, para as condições aplicadas, a variável tempo apresenta efeito sobre a turbidez, em todos os ensaios realizados, sendo comprovado que um maior tempo de tratamento proporciona uma maior redução da turbidez, independente do tipo de efluente tratado.

REFERÊNCIAS

- ADESINA, O. A., ABDULKAREEM, F., YUSUFF, A., LALA, M., OKEWALE, A. Response Surface Methodology Approach to Optimization of Process Parameter for Coagulation Process of Surface Water using *Moringa oleifera* Seed. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 28, ps. 46 – 51, 2019.
- Amagloh, F. K.; Benang, A. **Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification**. **African Journal of Agricultura Research**, v.4, n.1, p.119-123, 2009.
- AMORIM, Margarete C. da C. T. **Caracterização das áreas verdes em Presidente Prudente/SP**. In: **SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão** (org). Textos e contextos para a leitura geográfica de uma cidade média. Presidente Prudente: [s. n.], p. 37-52, 2001.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: Retirada, consumo e retorno de água por regiões hidrográfica em 2016. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>. Acesso em: 24 de nov. 2019.
- Agência Nacional de Águas (ANA) (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. -- Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>. Acesso em: 24 de nov. 2019.
- BOLUARTE, I. A. R., ANDERSEN, M., PRAMANIK, B. K., CHANG, C.-Y., BAGSHAW, S., FARAGO, L., JEGATHEESAN, V. SHU, L. Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 113, ps. 44 – 48, 2016.
- BUREK, P. Satoh Y, Fischer G, Kahil MT , Scherzer A, Tramberend S , Nava LF , Wada Y et. al. (2016). **Water Futures and Solution**: Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2016.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília, Funasa, 112 p., 2014.
- CARVALHO, N. L., HENTZ, P., SILVA, J. M., BARCELLOS, A. L. Reutilização de águas residuárias. **REMOA**, v. 14, n. 2, p. 3164 – 3171, 2014.
- CASTRO, C. N. **Gestão das Águas**: Experiências Internacional e Brasileira. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília. 86p. 2012.
- CONSUMO SUSTENTÁVEL: **Manual de educação**. Brasília: Consumers International/MMA/ MEC/ IDEC, 160 p. 2005.

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.

DALLA, L. L., A influência da dança na qualidade de vida dos idosos. Biblioteca Lascasas, 2016; Disponível em: <http://www.indexf.com/lascasas/documentos/lc0884.php>.

DE GOIS, E. H. B., RIOS, C. A. S., & COSTANZI, R. N. Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, ps. 263–271, 2015.

DORIGON, E. B., TESSARO, P. Caracterização dos efluentes da lavagem automotiva em postos de atividade exclusiva na região AMAI – Oeste catarinense. **Unoesc & Ciência – ACBS**, v. 1, n. 1, ps. 13-22, 2010.

FREIRE, E. de A., ESTRELA, M. A., LIMA, V. L. A de. Utilização de águas residuárias para fins da produção de mudas de espécies florestais. **Revista Cultivar**. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/utilizacao-de-aguas-residuarias-para-fins-da-producao-de-mudas-de-especies-florestais>. Acesso em: 06 de dez 2019.

GÖNDER, Z. B., BALCIOĞLU, G., VERGILI, I., & KAYA, Y. Electrochemical treatment of carwash wastewater using Fe and Al electrode: Techno-economic analysis and sludge characterization. **Journal of Environmental Management**, v.200, ps. 380 – 390, 2017.

GIACOBBO, A. et al. **Microfiltração aplicada ao tratamento de efluentes de curtume**. In: **VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**. Porto Alegre: ABES, p. 1-9. 2010.

HARTLEY, K., TORTAJADA, C., & BISWAS, A. K. A formal model concerning policy strategies to build public acceptance of potable water reuse. **Journal of Environmental Management**, v. 250, ps. 109 - 119, 2019.

HERNANDEZ, Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G Buisman, C.J.N.2011. **Characteritition and anerobic biodegradability of grey water**. *DesalinationI* 111-115, 270.

IEA (International Energy Agency) **Key World Energy Statistics 2016**, 2016. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>. Acesso em: 26 nov 2019.

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, 448-454, 2017.

LAU, W. J., ISMAIL, A. F., & FIRDAUS, S. Car wash industry in Malaysia: Treatment of car wash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes. **Separation and Purification Technology**, v.104, ps. 26–31, 2013.

LIMA JÚNIOR, R. N., ABREU, F. O. M. S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 3, ps. 709-735, 2018.

LOPES, B. V. **Eficiência de Coagulantes na Remoção de Diferentes Concentrações de Ferro e Manganês para ETA Terras Baixas**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas RS, 2014.

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** - Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental - Universidade de Passo Fundo – Passo Fundo, MG, 2010.

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, ps. 319–324, 2019.

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**, v. 12, n. 2, os. 93-109, 2015.

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, ps. 296 – 304, 2019.

NETO, L. C. G., SENNA, L. B., SANTOS, P. D. D., NASCIMENTO, P. R. A. Análise dos Impactos Ambientais na Lavagem de Automóveis. **Anais do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v.1, ps. 1 – 18, 2015.

OLIVEIRA R. DE, SILVA, S. A. **Manual de Análises Físico Químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias**. Rio de Janeiro: ABES, 266 p., 2006.

OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico). **Higher Education in Regional and City Development: State of Paraná, Brazil**. Paris: OCDE, 2011.

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, ps. 125 - 130, 2014.

JACOBI, P. R., GRANDISOLI, E. **Água e sustentabilidade: desafios, perspectivas e soluções**. São Paulo: IEE-USP e Reconnecta, 2017.

PALEARI, Thaís H. **Natural coagulants and chemical coagulant for the treatment of wastewater of the soluble coffee industry**. 2014. 116 p. Final Paper. (Environmental Engineering). Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2014.

POUMAYE, N.; MABINGUI, J.; LUTGEN, P.; BIGAN, M. **Contribution to the clarification of surface water from the *Moringa oleifera*: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic**. *Chemical Engineering Research and Design*, Elmsford, v.90, p.2346-2352, 2012.

REZENDE, A. T. **Reúso Urbano de Água Para Fins não Potáveis no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora – MG, 2016.

RIBEIRO, I. **Aplicação de Coagulantes e Flocculantes 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.

ROSA, L. G.; SOUSA, J. T.de.; LIMA, V. L. A. de.; ARAUJO, G. H.; SILVA, L. M. A. da.; LEITE, V. D. Caracterização de águas residuárias oriundas de empresas de lavagem de veículos e impactos ambientais. *AmbiÁgua*, v. 6, n. 3, p. 179-199, 2011.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano**. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa – Lisboa – 2011.

SANTANA, M. V. E., CORNEJO, P. K., COROMINAS, L., RODRÍGUEZ-RODA, I., & BUTTIGLIERI, G. Holistic life cycle assessment of water reuse in a tourist-based community. *Journal of Cleaner Production*. v.233, ps. 743-752, 2019.

SILLANPÄÄ, M., NCIBI, M. C., MATILAINEN, A., & VEPSÄLÄINEN, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*, v. 190, ps. 54–71, 2018.

SILVA, M. do S. B., DANTAS, S. L. de A., BARILLAS, J. L. M, DUTRA JR., T. V. Planejamento Experimental para Análise de Parâmetros Utilizados da Injeção de Polímeros em Reservatório de Petróleo. *Anais do CONEPETRO*, v.1, 2015.

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 oleifera seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, ps. 103 – 118, 2019.

WAN, Y., HUANG, X., SHI, B., SHI, J., & HAO, H. Reduction of organic matter and disinfection byproducts formation potential by titanium, aluminum and ferric salts coagulation for micro-polluted source water treatment. *Chemosphere*, v. 219, ps. 28 – 35, 2018.

REBOUÇAS, A.C. Água doce no Mundo e no Brasil. In: *Águas doces no Brasil*. 2. ed. São Paulo: Escrituras editora, 2002. p.1-37.

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** / Andrielly Moutinho Knupp. – 2013.

REBÊLO, M. M. P. S. **Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas**. 2011. 111 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos, Revista USP, São Paulo, n.70, p. 24 35, junho e agosto de 2003.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino:** estudo de caso em Florianópolis – SC. 2007. 118 p. Monografia (Graduação em engenharia civil): Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: Acesso em 25 nov 2019.

VOET, Donald; VOET, Judith; PRATT, C. W. Fundamentos de bioquímica: a vida em nível molecular. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, p.238-239, 2014.

VICENTE, I.S.T. e Fonseca-Alves, C.E. (2013) - **Impact of Introduced Nile tilapia (*Oerochromis niloticus*) on Non-native Aquatic Ecosystems.** *Pakistan Journal of Biological Sciences*, p. 121-126. v. 16, n. 3,