

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA SCABURI BALLESTRIN

**TRATAMENTO SIMPLIFICADO DE ÁGUA UTILIZANDO *Moringa*
oleifera Lam. PARA CLARIFICAÇÃO**

CAMPO MOURÃO

2018

CAROLINA SCABURI BALLESTRIN

**TRATAMENTO SIMPLIFICADO DE ÁGUA UTILIZANDO *Moringa*
oleifera Lam. PARA CLARIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Campo Mourão.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Flávia Vieira da Silva Medeiros.

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

TRATAMENTO SIMPLIFICADO DE ÁGUA UTILIZANDO *Moringa oleifera* Lam.
PARA CLARIFICAÇÃO

por

CAROLINA SCABURI BALLESTRIN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 21 de Novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr. Flávia Vieira da Silva Medeiros

Prof. Dr. Eudes Jose Arantes

Prof. Dr. Morgana Suszek Goncalves

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Ambiental.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, à Deus, pela força e coragem durante toda esta caminhada.

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais, Jonas e Fabiana, por me fazerem entender desde pequena o quanto é importante estudar e adquirir conhecimento. Ao meu padrasto Leandro, meus irmãos Carlos Eduardo, Vicente, Camila e Bruna, por terem me dado todo apoio, incentivo e amor durante esta importante etapa da minha vida.

Em especial, agradeço também à minha orientadora Flávia, pela paciência, dedicação, amizade e confiança, tornando possível a conclusão deste trabalho.

À todos meus professores que me passaram uma fração de conhecimento e me ajudaram a me tornar a pessoa que sou hoje, principalmente a Morgana e ao Eudes, por aceitarem estar na minha banca, acrescentando para o melhoramento deste trabalho.

Aos amigos que conquistei na universidade, tornando esse período digno de boas lembranças, que jamais serão esquecidas, em especial Vitoria, Anne, Joice, William, Gabriela, Alana e Evandro. Às minhas amigas Juliana e Michelle, que mesmo distantes sempre estiveram do meu lado, nos momentos bons e ruins, me dando força para continuar.

Por fim, à todos aqueles que de alguma forma, estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

RESUMO

A água é utilizada pela população para diversos fins, sendo um fator importante para qualidade de vida, mas quando não tratada adequadamente pode ser um meio de transmissão de doenças. Para auxiliar na remoção de cor e turbidez da água, utiliza-se muito os coagulantes químicos, pois apresentam um ótimo custo benefício, mas outro lado, estes coagulantes resultam em grandes concentrações de alumínio no lodo gerado. Uma alternativa é combinar novos coagulantes para diminuir e até acabar com uso de coagulantes químicos. Foram realizados nove ensaios com concentrações de coagulantes orgânicos, selecionados dois que obtiveram melhores resultados, para combina-los com o coagulante químico sulfato de alumínio. A *Moringa oleifera* é um coagulante orgânico eficiente na clarificação de águas superficiais, sendo que se mostrou mais eficiente com valores de turbidez iniciais altos. Para águas com turbidez menores, em torno de 10 a 15 NTU, a melhor opção é a combinação de coagulantes orgânicos e químicos. O ensaio combinando coagulante de moringa, concentração de 300mg/L, mais coagulante químico, sulfato de alumínio (1g/L), obtiveram alta remoção de cor e turbidez, chegando a 84,2% e 85,9% de eficiência com valor final de 13,2 Pt-Co e 2,7 NTU, respectivamente, o que segundo a Portaria de Consolidação nº5 de 2017 do Ministério da Saúde, é água própria para consumo humano.

Palavras-chave: Coagulante orgânico; ensaio combinado; tratamento de água.

ABSTRACT

Water is used by the population for various purposes, being an important factor for quality of life, but when not treated properly it can be a means of transmitting diseases. To aid in the removal of color and turbidity from the water, the chemical coagulants are widely used, because they have a great cost benefit, but on the other hand, these coagulants result in large concentrations of aluminum in the sludge generated. An alternative is to combine new coagulants to decrease and even eliminate the use of chemical coagulants. Nine trials were conducted with concentrations of organic coagulants, selected two that obtained better results, to combine them with the chemical coagulant aluminum sulfate. *Moringa oleifera* is an efficient organic coagulant in the clarification of surface waters, being more efficient with high initial turbidity values. For smaller turbid water, around 10 to 15 NTU, the best option is the combination of organic and chemical coagulants. The moringa coagulant, concentration of 300mg / L, plus chemical coagulant, aluminum sulphate (1g / L), obtained high color removal and turbidity, reaching 84.2% and 85.9% efficiency with final value of 13.2 Pt-Co and 2.7 NTU, respectively, which according to Ordinance No. 5 of 2017 of the Ministry of Health, is water suitable for human consumption.

Keywords: Organic coagulant; combined test; water treatment

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - a - Semente de moringa separada em cadinhos com 1, 3 e 5 gramas;	
b - Semente de moringa sendo triturada em solução aquosa; c - Processo de filtração a vácuo; d - Coagulantes orgânicos com concentrações distintas.....	11
Figura 2 - Coagulantes obtidos para os ensaios combinados.....	13
Figura 3 - Eficiência de remoção de cor (%) utilizando coaguante orgânico.....	17
Figura 4 - Eficiência de remoção de turbidez (%) utilizando coaguante orgânico.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planejamento para obtenção dos coagulantes, com semente <i>in natura</i> , desengorudada com hexano e com álcool etílico.....	12
Tabela 2 - Ensaio Combinando Semente de Moringa + Sulfato de Alumínio	13
Tabela 3 - Características encontradas na água bruta	14
Tabela 4 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando semente de moringa <i>in natura</i> como coagulante.....	15
Tabela 5 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando semente de moringa desengordurada com hexano como coagulante.....	15
Tabela 6 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando semente de moringa desengordurada com etanol como coagulante.	16
Tabela 7- Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando 1 ml de coagulante orgânico combinado com 1 ml de coagulante químico.....	19
Tabela 8 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando 3 ml de coagulante orgânico combinado com 1 ml de coagulante químico.....	19
Tabela 9 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando 5 ml de coagulante orgânico combinado com 1 ml de coagulante químico.....	19
Tabela 10 - Porcentagem de remoção de cor e turbidez, utilizando difentes concentrações de coagulantes de moringa combinado com sulfato de alumínio.	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3.1 Qualidade da Água para Consumo Humano	5
3.1.1 pH	5
3.1.2 Cor.....	6
3.1.3 Turbidez	6
3.1.4 Condutividade	6
3.2 Tratamento de Água Convencional	6
3.2.1 Coagulação	7
3.2.2 Floculação	7
3.2.3 Sedimentação	7
3.2.4 Filtração	8
3.2.5 Desinfecção	8
3.3 Coagulantes	9
3.3.1 Coagulante Químico.....	9
3.3.2 Coagulante Orgânico	9
4 MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 Caracterização da Água Bruta	10
4.2 Obtenção do Coagulante Orgânico	10
4.3 Obtenção do Coagulante Químico	11
4.4 Ensaios de Coagulação/Floculação	12
4.5 Ensaio Combinado	13
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
5.1 Caracterização da Água Bruta	14
5.2 Ensaios de Coagulação Floculação	14
5.2.1 Ensaios com Coagulante Orgânico	14
5.2.2 Ensaios Combinados.....	18
6 CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

Ter acesso à água potável e segura é um direito humano fundamental para a manutenção da vida. Mesmo assim, cerca de 884 milhões de pessoas no mundo não tem essa disponibilidade (Organização das Nações Unidas, 2015).

A água é utilizada pela sociedade para fins distintos, sendo doméstico, agrícola, produção de energia, entre outros. Por um lado, isto é um fator importante para qualidade de vida, por outro, a água pode ser um meio de transmissão de doenças quando não é tratada ou até mesmo quando tratada de maneira indevida.

Novas tecnologias estão sendo pesquisadas para garantir qualidade da água e melhor aproveitamento dos recursos hídricos. Sempre visando eficiência no processo e redução de custos.

Os coagulantes químicos são utilizados há mais de décadas para auxiliar na remoção cor e turbidez nos tratamentos de água convencionais. Apesar de apresentarem um ótimo custo benefício, sendo um produto barato e de grande eficiência, o uso destes coagulantes resultam na presença de alumínio no fim do processo, dificultando a disposição do lodo gerado.

Uma alternativa é combinar novos coagulantes para auxiliar na coagulação/floculação. Estudos mostram que o extrato da semente de *Moringa oleifera* Lam. é eficiente para clarificação, amostrando-se coagulante orgânico, que remove cor e turbidez da água, assim sendo uma ótima alternativa para substituir ou complementar os coagulantes químicos já utilizados.

Com base nisto, a proposta deste trabalho foi avaliar o comportamento do coagulante orgânico, *Moringa oleifera*, e combinando com o coagulante químico sulfato de alumínio, para testar a eficiência de remoção de cor e turbidez, no tratamento de águas superficiais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do extrato da semente de *Moringa oleifera* Lam. como coagulante no tratamento de águas superficiais.

2.2 Objetivos Específicos

- Desengordurar a semente de *Moringa oleifera*, utilizando etanol e hexano como solvente;
- Aplicar coagulantes de *Moringa oleifera* em solução aquosa e em solução salina;
- Avaliar a combinação do coagulante orgânico com o coagulante químico, sulfato de alumínio;
- Realizar tratamento de água usando os coagulantes obtidos;
- Avaliar e comparar a eficiência dos tratamentos empregados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Qualidade da Água para Consumo Humano

Para a Engenharia Ambiental, o conceito de qualidade de água abrange muito mais do que a caracterização pela sua fórmula molecular H_2O . Como disse Sperling (2005), a água por ser considerada um solvente e também por possuir propriedades de transportar partículas, fazendo assim, que incorporem diversas impurezas, as quais determinam a qualidade da água.

Segundo a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de Setembro de 2017, anexo XX, água potável é considerada toda aquela própria para o consumo humano, e que não ofereça riscos à saúde (BRASIL, 2017).

A água é essencial para a vida, e sua importância depende da abundância e necessidades em seu uso. No entanto, muitas aplicações estão restritas a um padrão de qualidade, que é indicado por meio de avaliações de parâmetros físicos, químicos e biológicos (FRANCO; SILVA; PATERNIANI, 2012).

As características físicas (temperatura, sabor e odor, cor, turbidez e sólidos) são facilmente determinadas e problemas com estes aspectos tornam inviável o tratamento. Para resolver problemas com os parâmetros físicos, geralmente o processo de coagulação é o suficiente (RICHTER; NETTO, 1991), sendo este o foco do trabalho apresentado. Dentre dessas características, destaca-se para análise: pH, cor, turbidez e condutividade.

3.1.1 pH

O valor do pH indica se a água é ácida, alcalina ou neutra, pela presença de íons de hidrogênio. Para consumo humano, recomenda-se pH entre 6 a 9,5 (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Durante várias etapas do tratamento é medido o pH da água, como na coagulação, pois este interfere no grau de solubilidade das substâncias adicionadas (RICHTER; NETTO, 1991).

3.1.2 Cor

A cor da água é resultado da decomposição de compostos orgânicos de origem vegetal. A água pura é ausente de cor, e esta pode variar dependendo da sua origem, por exemplo quando rica em ferro é arroxeadada. Quando rica em ácidos húmicos é amarelada e por outro lado, quando rica em magnésio é negra (RICHTER; NETTO, 1991).

3.1.3 Turbidez

Sperling (2005) define turbidez como sendo o grau de redução que a luz sofre ao atravessar certa quantidade de água, isto devido à presença de partículas que a contem. Na maioria das vezes, a turbidez é provocada pelas chuvas, pois quando percorrem seus caminhos de escoamento no solo, carregam consigo partículas de areia e argila.

3.1.4 Condutividade

A condutividade é definida como a capacidade de conduzir corrente eléctrica, e é expressa em microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Para Richter e Netto (1991), uma água com um valor de condutividade elevada implica uma elevada concentração em íons como, por exemplo, sódio e cloretos.

3.2 Tratamento de Água Convencional

O tratamento de água ocorre pela remoção de partículas coloidais e suspensas, matéria orgânica e microorganismos presentes, gerando o menor impacto ambiental (BOTERO, 2008).

Através de diferentes formas de tratamento pode-se obter água para consumo humano dentro dos padrões de potabilidade. E para cada situação deve-se escolher um sistema apropriado. Okuda et al. (1999) afirmam que para clarificar e purificar a água, na maioria das vezes utilizam-se o tratamento convencional, tratando do uso das operações de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção.

3.2.1 Coagulação

Heller e Pádua (2006), afirmam que a coagulação é uma etapa de muita relevância nas estações de tratamento, considerando a necessidade de desestabilização química das partículas inclusas nas águas brutas, para a posterior agregação e deposição nas unidades de floculação e coagulação, nesta ordem.

A técnica de coagulação constitui-se de reações das impurezas presentes na água com os compostos hidrolisados formados pela adição de agentes coagulantes. É de extrema importância para uma eficiente remoção de partículas coloidais, suspensas, dissolvidas e demais contaminantes, responsáveis pelas características organolépticas nas águas (HELLER; PÁDUA, 2006).

Os principais coagulantes utilizados no tratamento de água são o sulfato de alumínio, o cloreto férrico, o hidroxicloreto de alumínio e o sulfato férrico, mas independente do coagulante utilizado, vale ressaltar os fatores relevantes para eficiência da coagulação, sendo eles: dosagem do coagulante, pH da água e velocidade da mistura (MACEDO, 2007).

3.2.2 Floculação

Após a coagulação, inicia a floculação, processo que Di Bernardo e Dantas (2005) afirmam como principal função, promover contato entre as partículas já formadas com o coagulante, durante uma mistura lenta, que acaba favorecendo a agregação dos flocos mais densos, que sedimentam com mais facilidade. Para que haja contato entre as partículas, é primordial que aconteça agitação na água. Macedo (2007) ressalta ainda que floculação é processo rápido e depende essencialmente do pH, da temperatura, da quantidade de impureza.

3.2.3 Sedimentação

Sedimentação, nada mais é que a decantação das substâncias sólidas por ação da gravidade, pois após a agregação no processo anterior ficam mais pesadas. Macedo (2007), afirma que as partículas de densidade superior à da água são separadas pela força da gravidade, depositando-as assim em uma superfície de armazenamento. Nota-se que é inversamente proporcional a velocidade de

sedimentação e o tempo que se leva para a clarificação. Porém quando as partículas não conseguem ser removidas, seja pelo seu pequeno tamanho ou pela densidade próxima da água, então é necessária aplicação de outro processo, a filtração. (RICHTER; NETTO, 1991).

3.2.4 Filtração

A água sedimentada é encaminhada aos filtros onde é efetuado o processo de filtração. As unidades filtrantes são constituídas de um meio poroso granular, normalmente areia, de uma ou mais camadas, instaladas sobre um sistema de drenagem, capaz de reter e remover as impurezas que ainda não foram removidas (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO, 2006).

De acordo com Richter e Netto (1991), durante a filtração que ocorre a remoção não só das partículas em suspensão, mas também inicia a remoção da carga bacteriana.

3.2.5 Desinfecção

O principal objetivo da desinfecção é corrigir e prevenir a contaminação por microorganismos. Na visão de Alves (2007), o objetivo é a inativação dos microorganismos patogênicos que ainda estão presentes na água. Pois para ele, a maioria dos organismos já foram removidos nos processos anteriores do tratamento convencional, e a desinfecção apenas serve para garantir a total erradicação.

A desinfecção pode ser realizada por meio dos agentes físicos ou agentes químicos. Dentre os físicos encontram-se a luz solar, o calor e a radiação ultravioleta. Por outro lado, os agentes químicos contam com o dióxido de cloro e os derivados clorados, ozônio, íons metálicos, entre outros (RICHTER; NETTO, 1991).

Alves (2007), ainda ressalta que alto teor de turbidez reduz a eficiência da desinfecção, por isso quando a água entra nesse processo, sua turbidez não pode estar superior a 1 unidade de turbidez (uT), pois desta maneira acaba tornando a desinfecção ineficiente na remoção dos coliformes.

3.3 Coagulantes

Os coagulantes atuam na forma de estabilizar as partículas em suspensão, podendo ser de origem química ou orgânica.

3.3.1 Coagulante Químico

Os principais coagulantes químicos utilizados são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxidocloreto de alumínio e sulfato férrico (IWAMURA, 2016.)

Pavanelli (2001) afirma que o sulfato de alumínio tem sido amplamente utilizado como coagulante químico no tratamento de água no Brasil e no mundo. Isso porque é um produto barato, com ótima eficiência na coagulação e por ser de fácil produção e transporte.

O ponto negativo da utilização do sulfato de alumínio é a quantidade de resíduos de alumínio presente na água após o tratamento, causando risco para o ambiente e para a saúde humana.

3.3.2 Coagulante Orgânico

Devido aos inúmeros impactos ambientais causados pelos coagulantes tradicionais, surge a discussão sobre o uso de coagulantes orgânicos, extraídos dos compostos vegetais (CRUZ, 2004). O maior benefício que pode ser atribuído ao uso de coagulantes orgânicos é que neste tratamento o composto final é biodegradável, e pode ser reaproveitado como adubo, por exemplo.

A *Moringa oleifera* é uma das plantas mais estudadas que contém proteínas coagulantes. É uma árvore alta, de origem indiana, onde tanto suas folhas como seus frutos podem ser comestíveis (SILVA; MATOS, 2008). Paterniani, Mantovani e Sant'anna (2009) citam também que suas sementes são ricas em proteínas com baixo peso molecular, que quando dissolvido em água bruta ganham carga positivas que acaba atraindo as partículas negativamente carregadas, como argilas, siltes e bactérias, formando assim flocos densos que sedimentam.

E é por este motivo que a *Moringa oleifera* funciona como um eficiente coagulante, uma vez que seu efeito é comparado ao do sulfato de alumínio, contudo mais aceitável do ponto de vista ambiental e com custos mais baixos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As extrações do coagulante e análises foram realizadas no Núcleo de Pesquisa de Engenharia Ambiental (NUPEA), localizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão, com parceria da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

4.1 Caracterização da Água Bruta

As amostras de água bruta foram coletadas na entrada do sistema de tratamento de água da Sanepar da cidade de Campo Mourão, armazenadas sob refrigeração, e sua caracterização obtidas através dos seguintes parâmetros: cor, turbidez, pH e condutividade, seguindo a metodologia de *Standard Methods* (RICE et al, 2012).

4.2 Obtenção do Coagulante Orgânico

As sementes foram trituradas em um moinho de faca tipo Willy (micro) Solab®, e posteriormente passadas em uma peneira com diâmetro de 0,59 mm, segundo metodologia utilizada por Siqueira e Pereira (2015). Para remoção do óleo utilizou-se o método de ultrassom, com banho ultrassônico Ultrasonic Cleaner modelo DC200H, na de frequência de 40 kHz. Com tempo de extração de 60 minutos, temperatura igual a 25 °C, e a massa da amostra/volume de solvente de 1:10. Os solventes testados foram o hexano e o álcool etílico absoluto.

Para obtenção do coagulante de Moringa, utilizou se 1, 3 e 5g da semente (Figura 1a), desengordurada em hexano, em álcool etílico, e *in natura*, para 0,1 litro de água destilada, extraídos em liquidificador doméstico, durante 3 minutos (Figura 1b). Em seguida, o material obtido foi submetido a filtração a vácuo em papel filtro (Figura 1c), assim resultando nos coagulantes em solução aquosa (Figura 1d) (Baptista et al. 2015).

Figura 1 - a - Semente de moringa separada em cadinhos com 1, 3 e 5 gramas; b - Semente de moringa sendo triturada em solução aquosa; c - Processo de filtração a vácuo; d - Coagulantes orgânicos com concentrações distintas.



Para solução salina, utilizou a mesma metodologia descrita acima, a partir de um grama de semente de moringa para 0,1 litro de solução salina de NaCl de concentração 0,5 e 1,5 M.

4.3 Obtenção do Coagulante Químico

A solução de sulfato de alumínio foi preparada a partir da adição de 1g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ em 1 L de água. Em seguida, utilizou-se 1 ml desta solução em cada ensaio, para analisar o processo de coagulação/floculação a partir deste coagulante combinado com o coagulante orgânico.

4.4 Ensaios de Coagulação/Floculação

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no equipamento de *Jar-Test* da marca Nova Ética. Os ensaios ocorreram com pH entre 7 e 8, uma vez que o pH próximo da neutralidade é o ideal para a ação coagulante da semente de *Moringa oleifera* (HEREDIA; MARTIN, 2009). A temperatura foi mantida próxima ao ambiente, variando entre 25 a 30°C. Foram utilizadas 1, 3 e 5 gramas de extrato de semente, e concentração salina de 0, 0,5 e 1,5 M de NaCl, como apresentado na Tabela 1, repetindo para sementes *in natura* (N), desengordurada em hexano (H) e desengordurada em etanol (E). A nomenclatura utilizada, Cx representa o número do coagulante e a última letra o solvente utilizado.

Tabela 1 – Planejamento para obtenção dos coagulantes, com semente *in natura*, desengordurada com hexano e com álcool etílico.

		Concentração Salina (M)		
		0	0,5	1,5
Massa da Semente (g)	1	C1N	C4N	C7N
		C1H	C4H	C7H
		C1E	C4E	C7E
	3	C2N	C5N	C8N
		C2H	C5H	C8H
		C2E	C5E	C8E
	5	C3N	C6N	C9N
		C3H	C6H	C9H
		C3E	C6E	C9E

As soluções foram inseridas em jarros com um litro de água bruta, e 1 ml de solução de coagulante. Um controle sem adição de coagulante também foi realizado, sendo este o teste em branco.

As condições operacionais compreenderam uma mistura rápida de 1 min com um gradiente de 120 rpm e uma mistura lenta de 15 min com um gradiente de mistura a 60 rpm, seguido de 15 min decantação no final do processo (BAZZO, 2016). Cada ensaio foi realizado em duplicata, totalizando 20 ensaios.

Após a sedimentação, foi realizada a leitura de cor, pH, turbidez e condutividade para comparação com os valores da água bruta.

A eficiência da remoção de turbidez e cor, foi calculada através da Equação 1.

$$\eta (\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

4.5 Ensaio Combinado

Após analisar a melhor eficiência da semente com óleo extraído com hexano e com óleo extraído com álcool etílico, foram realizados ensaios combinados com o coagulante químico. As condições operacionais utilizadas foram às mesmas.

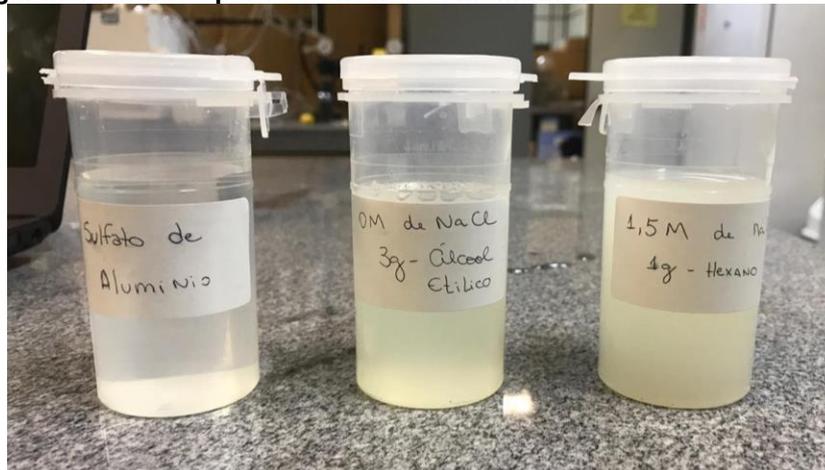
A quantidade de cada coagulante adicionado para cada jarro de 1 litro de água está descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaio Combinando Semente de Moringa + Sulfato de Alumínio

Coagulante	Quantidade de Coagulante Utilizado (ml)		
	1	3	5
<i>Moringa oleífera</i>	1	3	5
Sulfato de Alumínio	1	1	1

Os coagulantes orgânicos utilizados para a combinação com o coagulante orgânico foram os coagulantes C7H e C2E. (Figura 2).

Figura 2 - Coagulantes obtidos para os ensaios combinados.



5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização da Água Bruta

Na Tabela 3 podem ser observados os valores encontrados das características da água bruta, sendo esta, utilizadas nos 60 primeiros ensaios de coagulação e floculação com os coagulantes de moringa.

Tabela 3 - Características encontradas na água bruta.

Parâmetro de Qualidade	Água Bruta	Unidade
pH	7,42	-
Cor	42,77	Pt-Co
Turbidez	10,87	NTU
Condutividade	49,79	μS/cm a 25°

Com estes parâmetros, o rio onde foi coletada a água pode ser classificado pela Resolução CONAMA nº 357 (2005), como água doce de classe II, pois o pH se encontra dentro da faixa de 6,0 a 9,0, a cor verdadeira é inferior à 75 mg Pt/L, e a turbidez não ultrapassa o limite máximo de 100 NTU. Com isso, a água pode ser destinada ao consumo humano, após tratamento convencional; à proteção de comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274 de 2000; à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.

5.2 Ensaios de Coagulação Floculação

5.2.1 Ensaios com Coagulante Orgânico

Após a extração do coagulante de *Moringa oleifera* foram realizados os ensaios, analisados os parâmetros antes mencionados, tendo como resultado a média das duplicadas, apresentados na Tabela 4 (*in natura*), 5 (hexano), e 6 (etanol).

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando semente de moringa *in natura* como coagulante.

COAGULANTE	Parâmetros			
	pH	Cor	Turbidez	Condutividade
BRANCO	7,44	58,0	16,4	44,89
C1N	7,62	58,3	16,8	58,92
C2N	7,51	60,3	18,7	49,22
C3N	7,47	50,1	15,7	47,14
C4N	7,39	57,1	16,0	100,01
C5N	3,76	30,5	9,2	51,68
C6N	7,46	64,0	22,3	106,75
C7N	7,50	58,0	9,2	214,50
C8N	7,35	65,1	15,7	212,03
C9N	7,40	73,2	24,2	211,58

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando semente de moringa desengordurada com hexano como coagulante.

COAGULANTE	Parâmetros			
	pH	Cor	Turbidez	Condutividade
BRANCO	7,27	42,8	9,6	42,04
C1H	7,60	42,3	9,6	40,41
C2H	7,18	43,5	11,2	40,54
C3H	7,56	43,1	12,7	41,75
C4H	7,39	34,9	8,0	94,42
C5H	7,35	44,9	12,4	102,46
C6H	7,31	49,9	19,7	99,50
C7H	7,18	34,1	7,9	203,38
C8H	7,41	46,8	13,5	204,79
C9H	7,20	56,6	19,7	208,42

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando semente de moringa desengordurada com etanol como coagulante.

COAGULANTE	Parâmetros			
	pH	Cor	Turbidez	Condutividade
BRANCO	7,25	27,5	6,0	78,76
C1E	7,43	27,0	4,9	72,17
C2E	7,51	25,2	4,8	74,06
C3E	7,69	26,8	5,7	75,39
C4E	7,31	29,7	7,0	149,46
C5E	7,68	31,2	10,0	134,31
C6E	7,53	37,7	14,6	141,01
C7E	7,60	28,3	7,3	247,65
C8E	7,69	37,6	11,8	258,55
C9E	7,62	39,0	13,1	252,57

Analisando os resultados obtidos, observou-se que a eficiência não apresentou diferença nos ensaios realizados, o que significa que a moringa é flexível nas diversas condições que foi testada. Pode-se perceber também, que o uso do coagulante orgânico não consome alcalinidade, uma vez que o valor de pH não sofreu alterações, ficando sempre dentro da faixa aceitável, entre 7 e 8, sendo esta uma das vantagens do uso da utilização da *Moringa oleifera* no tratamento de água (LEDO, 2008).

Nota-se também que o uso de concentrações salinas na obtenção dos coagulantes não seriam prejudiciais para consumo humano, uma vez que água com condutividade menor que 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ apresentam concentrações baixas de sais dissolvidos, e podem ser ingeridas (FUNASA, 2014).

Na Figura 3 e 4 são mostrados os resultados da eficiência de remoção de cor e turbidez, respectivamente.

Figura 3 - Eficiência de remoção de cor (%) utilizando coaguinte orgânico.

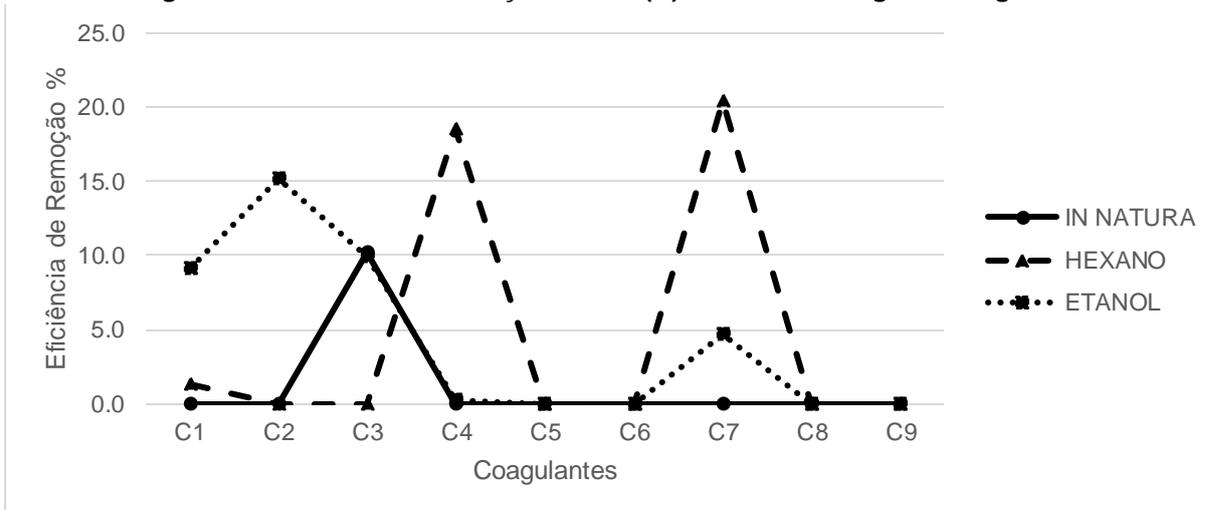
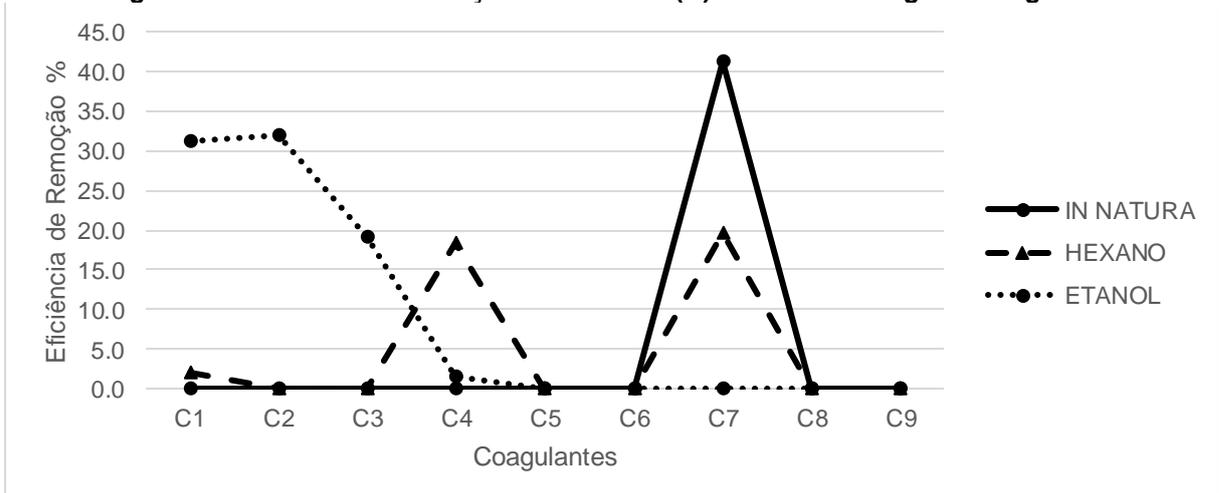


Figura 4 - Eficiência de remoção de turbidez (%) utilizando coaguinte orgânico.



A semente *in natura* apresentou valores menores de eficiência de cor e turbidez, sendo a maior eficiência de cor de 10% para o C3N, e a maior remoção de turbidez igual a 41,2% com o C7N. Dezfooli et al. (2016), relatam que a presença de lipídios e carboidratos no extrato da moringa reduz a eficiência da coagulação. Para evitar isto, é indicado fazer a remoção do óleo das sementes antes do preparo do coagulante com o extrato da semente.

Para a semente desengordurada com hexano, a eficiência de remoção de cor variou entre 0 a 20,4 %, sendo o melhor resultado o coagulante C7H. E remoção de turbidez pode-se observar variação máxima de 19,6% no mesmo coagulante. Com isso, nota-se que a remoção de cor com a *Moringa oleifera* é semelhante ao seu

comportamento com relação à turbidez, estando de acordo com a literatura consultada (Madrona et al. 2010; Cardoso et al. 2008).

Para os coagulantes obtidos com a semente desengordurada em etanol, as melhores eficiências foram em solução aquosa, variando entre 9,1 a 15,2% para remoção de cor e 19,1 a 32% para turbidez. Sendo que com 3 gramas de semente foi o melhor resultado.

Paterniani et al. (2009), utilizaram água bruta com turbidez inicial de 100 NTU e obtiveram uma eficiência de remoção de turbidez superior a 90% com coagulante de moringa em concentração de 500 mg/L. Cardoso et al. (2008), usando uma solução aquosa de extrato de moringa, com concentração de 100mg/L, obtiveram uma remoção de 91,4% em água bruta com turbidez inicial de 247 NTU. Segundo estes autores, as diferenças na remoção cor e turbidez podem ser explicadas pela diferença das características iniciais da água bruta, sendo que neste trabalho, a turbidez inicial média foi de 10,9 NTU. Diante destes resultados, observou-se que o coagulante orgânico não é tão eficiente para clarificação de águas superficiais com turbidez baixa. Estes dados, também foram evidenciados por Madrona et al. (2010).

Considerando então, que o coagulante C7H e o coagulante C2E, obtiveram os melhores resultados, foram estes coagulantes selecionados para os ensaios combinados.

5.2.2 Ensaio Combinados

Durante os nove ensaios combinando coagulante orgânico do extrato de Moringa, com o coagulante químico sulfato de alumínio, foram avaliados os mesmos parâmetros já citados, pH, cor, turbidez e condutividade, que apresentaram os resultados de acordo a Tabela 7, 8 e 9 quando aplicados 1 ml de coagulante orgânico por litro de água bruta, 3ml e 5ml respectivamente.

Tabela 7- Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando 1 ml de coagulante orgânico combinado com 1 ml de coagulante químico.

	PH	COR	TURBIDEZ	CONDUTIVIDADE
Moringa desengordurada em Hexano (1,5 M - 1 g de semente) + 1 ml Sulfato de Alumínio	7,43	54,1	13,4	206,8
Moringa desengordurada em Álcool Etílico (0 M - 3 g de semente) + 1 ml Sulfato de Alumínio	7,12	49,1	10,6	89,92
Sulfato de Alumínio (1g/L)	7,3	75,2	17,3	31,49

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando 3 ml de coagulante orgânico combinado com 1 ml de coagulante químico.

	PH	COR	TURBIDEZ	CONDUTIVIDADE
Moringa desengordurada em Hexano (1,5 M - 1 g de semente) + 1 ml Sulfato de Alumínio	7,44	41,1	7,3	498,7
Moringa desengordurada em Álcool Etílico (0 M - 3 g de semente) + 1 ml Sulfato de Alumínio	7,12	13,2	2,7	83,94
Sulfato de Alumínio (1g/L)	7,53	65,4	16,8	30,82

Tabela 9 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação utilizando 5 ml de coagulante orgânico combinado com 1 ml de coagulante químico.

	PH	COR	TURBIDEZ	CONDUTIVIDADE
Moringa desengordurada em Hexano (1,5 M - 1 g de semente) + 1 ml Sulfato de Alumínio	7,25	57,5	10,8	742,2
Moringa desengordurada em Álcool Etílico (0 M - 3 g de semente) + 1 ml Sulfato de Alumínio	7,02	42,1	10,1	80,03
Sulfato de Alumínio (1g/L)	7,47	60,8	15,7	34,11

Observou-se novamente que o valor de pH manteve variações mínimas em relação ao valor inicial, para todos testes de coagulantes empregados. Entretanto, encontra-se na literatura, trabalhos onde após utilização do sulfato de alumínio acontece o decaimento do pH (PEREIRA et al. 2015; SANTOS et al. 2011), não sendo verificada esta queda neste trabalho.

Em relação a remoção de cor e turbidez dos ensaios combinados, os resultados foram satisfatórios, ficando dentro dos padrões de potabilidade da Portaria nº5 (TABELA 10).

Tabela 10 - Porcentagem de remoção de cor e turbidez, utilizando difentes concentrações de coagulantes de moringa combinado com sulfato de alumínio.

	1ml / L		3ml / L		5ml / L	
	COR	TURBIDEZ	COR	TURBIDEZ	COR	TURBIDEZ
Moringa desengordurada em Hexano (1,5 M - 1 g de semente) + 1 ml Sulfato de Alumínio	35,4	29,8	50,9	61,8	31,3	43,5
Moringa desengordurada em Álcool Etílico (0 M - 3 g de semente) + 1 ml Sulfato de Alumínio	41,3	44,5	84,2	85,9	49,7	47,1
Sulfato de Alumínio (1g/L)	10,2	9,4	21,9	12,0	27,4	17,8

O coagulante C2E combinado com o coagulante químico, apresentou melhores resultados para remoção de cor e turbidez, ultrapassando 80% em ambos parâmetros. O volume de 3 ml do coagulante orgânico (em negrito) apresentou as maiores porcentagens de redução.

A utilização do sulfato de alumínio aponta valores semelhantes entre si, porém inferiores quando combinado com moringa. Pereira et al. (2015) alcançaram remoção de cor de 99% para água bruta com turbidez inicial de 100 NTU, afirmando mais uma vez a possibilidade dos coagulantes, tanto químicos, quanto orgânicos funcionarem melhor com valores iniciais elevados de turbidez.

6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados encontrados neste trabalho, percebe-se que o método ultrassônico utilizado para de engordurar a semente de Moringa, foi eficiente, uma vez que os coagulantes obtidos da semente *in natura* obtiveram resultados inferiores quando comparado com os coagulantes obtidos de sementes desengorduradas.

Verificou-se que para remoção de cor e turbidez, o coagulante de Moringa desenvolvido com 3 gramas de semente desengordurada em álcool etílico para 100 ml de solução aquosa apresentou os melhores resultados, tendo a porcentagem de remoção, respectivamente de 15,2% e 32,0%. Enquanto somente o coagulante de sulfato de alumínio (1g/L) removeu 27,4% de cor e 17,8% de turbidez quando aplicado 5 ml em 1 litro de água bruta. Estes resultados são consequência do baixo valor de turbidez inicial.

Uma solução para este tipo de situação é a combinação dos coagulantes, em que quando os ensaios foram aplicados, a porcentagem de remoção cor e turbidez foi superior à 80%, tornando a água potável, com os parâmetros após tratamento dentro dos padrões de potabilidade.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. **Tratamento de Águas de Abastecimento**. 2^o ed. Porto, Portugal. Publindústria. 2007.

ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S. Processamento de sementes de *Moringa oleifera* utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.661–666, abr. 2012.

BAPTISTA, A. T. A.; COLDEBELLA, P. F.; CARDINES, P. H. F.; GOMES, R. G.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Coagulation-Flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. **Chemical Engineering Journal**, 276, p. 166-173. Elsevier, 2015.

BAZZO, F. P. **Análise multivariada na avaliação de polímeros naturais de *Ceratonia siliqua* L. e *Moringa oleifera* Lam como agentes coagulantes aplicados em tratamento de água destinada ao abastecimento**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

BONGIOVANI, M. C.; KONRADT-MORAES, L. C.; BERGAMASCO, R.; LOURENÇO, B. S. S.; TAVARES, C. R. G. Os Benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p.167-170, 2010.

BOTERO, W. G. **Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Brasília : **Funasa**, 2014. 112 p.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de Setembro de 2017, Anexo XX. Dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 2017.

BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2005.

CANGELA, G. L. C. de; **Tratamento de água para consumo humano em comunidades rurais com utilização *Moringa oleifera* e desinfecção solar**. 153 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CARDOSO, K. C.; BARGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAIS, 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.

CRUZ, J. G. H. **Alternativa para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial**. 76 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em engenharia ambiental e tecnologias limpas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DEZFOOLI, S. M.; UVERSKY, V. N.; SALEEM, M.; BAHARUDIN, F. S.; HITAM, S. M. S.; BACHMANN, R. T. A simplified method for the purification of an intrinsically disordered coagulant protein from defatted *Moringa oleifera* seeds

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2º ed. São Paulo. Editora Rima, 2005.

FRANCO, M.; SILVA, G. K. E.; PATERNIANI, J. E. Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.5, p.989-997, set./out. 2012.

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 1ª ed. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2006.

HEREDIA, B.J.; MARTIN, J.S. Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* seed extract. **Journal of Harzadous Materials**, Oxford, n. 164. 2009.

IWAMURA, V. C. **Associação da *Moringa oleifera* e do Sulfato de Alumínio com o processo de eletrocoagulação para a redução dos parâmetros físico-químicos da água**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

LEDO, P. G. S. **Flotação por ar dissolvido na clarificação de águas com baixa turbidez utilizando Sulfato de Alumínio e sementes de *Moringa oleifera* como coagulantes**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

MACEDO, J. A. B. **Águas e Águas**. 3º ed. Minas Gerais: CRQ – MG, 2007.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI G. B.; VIEIRA A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO K. C.; BARGAMASCO, R. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. **Water Air Soil Pollut**. v. 211, p. 409-415

MUYIBI, S. A.; BIRIMA, A. H. M.; MOHAMMAD, T. A.; NOOR, M. J. M. M. Conventional treatment of surface water using *Moringa oleifera* seeds extract as a primary coagulant. **IJUM Engineering Journal**, v.5, n.1, 2004.

PEREIRA, E. R.; FRANCISCO A. A.; THEODORO, J. D. P.; BERGAMASCO, R.; FIDELIS, R. Comparação entre a aplicação do coagulante natural *Moringa oleifera* e do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. **Enciclopédia Bioesfera**. Goiânia, v. 11, n. 21, p. 3010 -3020, 2015.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, Hiroshima, Japão, v 33, p. 3373 – 3378, 1999.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **O Direito Humano à Água e Saneamento**. 2015. Disponível em: <http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf>. Acesso em: abr. 2018.

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**, Campina Grande, v.13, n.6, p.765–771, 2009.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevadas**. Dissertação (Mestrado na área hidráulica e saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

RAMOS, P. P. El uso de *Moringa oleifera* como material natural para el tratamiento del agua potable en países en Vía de Desarrollo. **Revista Científica YACHANA**, vol. 2, n. 2, p. 243 – 246, nov. 2013.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; CLESCERI, L. S. Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. **APHA-American Public Health Association**, 22ed. 2012.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada**. 1º ed. São Paulo. Editora Blucher. 1991.

SANTOS, T. M.; PEREIRA, D. F.; SANTANA, C. R.; SILVA, G. F. Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando *Moringa oleifera* Lam em comparação ao sulfato de alumínio. **Exacta**, v. 9, p.3 17-321, 2011.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE. **Sistemas de Tratamento de Água**. Aracruz, 2006. Disponível em: <https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

SILVA, F. J. A.; MATOS, J. E. X. Sobre dispersões de *Moringa oleifera* para tratamento de água. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v.29, n.2, p.157-163, dez. 2008.

SIQUEIRA, N. W.; PEREIRA, N. C. Otimização do processo de extração do óleo de semente de *Moringa* por Ultrassom. **24º Encontro Anual de Iniciação Científica**, Maringá, 23 a 25 de Setembro de 2015.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e o Tratamento de Esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.