

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS
MESTRADO EM INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

IRAY CARIA JUNIOR

**UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NO
DESENVOLVIMENTO DE COAGULANTE ORGÂNICO À BASE DE
MORINGA OLEIFERA PARA ÁREA DE SANEAMENTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CAMPO MOURÃO

2020

IRAY CARIA JUNIOR

**UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NO
DESENVOLVIMENTO DE COAGULANTE ORGÂNICO À BASE DE
MORINGA OLEIFERA PARA ÁREA DE SANEAMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Inovações Tecnológicas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Inovações Tecnológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Flavia Vieira da Silva Medeiros.

CAMPO MOURÃO

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Caria Junior, Iray

Utilização de processos industriais no desenvolvimento de coagulante orgânico à base de moringa oleífera para área de saneamento/ Iray Caria Junior. – Campo Mourão, 2020.

1 arquivo de texto (70 f.) : PDF ; 882KB

Orientador: Flávia Vieira da Silva Medeiros

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Inovações Tecnológicas, Campo Mourão, 2020.

Inclui bibliografia: f. 64-70

1. Água – Purificação - Floculação. 2. Água - Purificação. 3. Inovações tecnológicas – Dissertações. I. Medeiros, Flávia Vieira da Silva, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Inovações Tecnológicas. IV. Título.

Biblioteca da UTFPR - Câmpus Campo Mourão

Bibliotecária/Documentalista:

Lígia Patrícia Torino – CRB-9/1278



TERMO DE APROVAÇÃO

UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NO DESENVOLVIMENTO DE COAGULANTE ORGÂNICO À
BASE DE *Moringa oleifera* PARA ÁREA DO SANEAMENTO

Por

IRAY CARIA JUNIOR

Essa dissertação foi apresentada às 17:00 horas, do dia 28/02/2020, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Inovações Tecnológicas, Linha de Pesquisa Desenvolvimento Tecnológico em Saneamento e Recursos Hídricos, no Programa de Pós-Graduação em Inovações Tecnológicas - PPGIT, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.(a) Dr^a. Flavia Vieira da Silva Medeiros (Orientadora – UTFPR)

Prof.(a) Dr^a. Flavia Aparecida Reitz Cardoso (Membro Interno - UTFPR)

Prof. Dr. Ricardo Cardoso (Membro Externo – UNINGÁ)

RESUMO

CARIA JUNIOR, Iray. **Utilização de Processos Industriais no Desenvolvimento de Coagulante Orgânico à Base de *Moringa oleifera* para Área de Saneamento.** 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado em Inovações Tecnológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2020.

Os processos de coagulação e floculação são os principais processos no tratamento de água e responsáveis em remover mais de 90% dos contaminantes presentes em água bruta. Porém, o agente coagulante químico mais usado, o sulfato de alumínio, acaba gerando resíduos que agridem o ambiente e também, há pesquisas que relacionam a ingestão de alumínio com doenças neurológicas. Agentes coagulantes orgânicos que geram resíduos biodegradáveis e não causam danos à saúde se fazem cada vez mais necessários. A semente da planta *Moringa oleifera* apresenta em sua composição duas proteínas a lectina termo sensível (WSMoL) e a lectina termotolerante (SSMoL) com propriedades coagulantes capazes de ser utilizadas no tratamento de água bruta. Entretanto, sua utilização como um agente coagulante em processos de tratamento de água é limitada devido a outras matérias orgânicas presentes na semente, como lipídios e outras proteínas, que podem aumentar o residual de nitrogênio na água em tratamento interagindo negativamente em outros processos do tratamento, aumentando a cor, odor e sabor da água, além de poder gerar compostos cancerígenos como os trihalometanos quando em contato com cloro e seus derivados. Esta pesquisa desenvolveu 6 agentes coagulantes em extrato seco, **MB0, MD1, MDM2, MDM3, MDMX4** e **MDC5** que passaram por diferentes processos industriais, como extração, processos térmicos de desidratação e reação de *Maillard* e mistura com goma guar e xantana. E com o objetivo de extrair e desnaturar compostos orgânicos presentes na semente de *Moringa oleifera*, sem que a lectina SSMoL perdesse sua função. Os coagulantes foram testados em ensaios de coagulação de *Jar Test* que demonstraram que a lectina SSMoL, além de ser mais eficiente que a WSMoL, não desnatura em processo térmico até 120°C por 6 horas. Perdendo função coagulante a temperaturas acima de 150°C. A análise estatística demonstrou que o coagulante desenvolvido **MDMX4** que passou pelas etapas de extração de lipídios, reação de *Maillard* e mistura com goma guar e xantana obteve os melhores resultados nas remoções de turbidez e matéria orgânica obtidos por espectrometria UV 254nm. A análise de composição centesimal do coagulante **MDMX4** demonstrou uma remoção de teor de óleo acima de 25% e desnaturação de proteínas acima de 75% em relação às sementes brutas. Já no tratamento de água alternativo por ebulição, o coagulante **MDM2**, que passou apenas pela etapa de extração e desidratação sem atingir reação de *Maillard*, apresentou o melhor resultado na redução da matéria orgânica analisado por espectrometria UV 254 nm. As análises de nitrogênio amoniacal apresentaram resultados < 0,10 mg N- NH₃/L nos tratamentos de água por agitação mecânica utilizando o **MDMX4** e por ebulição utilizando **MDM2**. Indicando a possibilidade desses agentes coagulantes serem usados no tratamento de água sem que eles causem interferência nos outros processos do tratamento.

Palavras-chave: Coagulação. *Moringa oleifera*. Lectina SSMoL. Reação de *Maillard*.

ABSTRACT

CARIA JUNIOR, Iray. **Use of Industrial Processes in the Development of Organic Coagulant based on *Moringa oleifera* for Sanitation Area**. 2019. 67 f. Dissertation (Master in Technological Innovations) - Universidad Technological Federal do Paraná. Campo Mourão, 2020.

Coagulation and flocculation processes are the main processes in water treatment and are responsible for removing more than 90% of contaminants present in raw water. However, the most used chemical coagulating agent, aluminum sulfate, ends up generating residues that harm the environment and there is also research that links aluminum intake with neurological diseases. Organic coagulating agents that generate biodegradable waste and do not cause damage to health are becoming increasingly necessary. The seed of the *Moringa oleifera* plant has in its composition two proteins the thermosensitive lectin (WSMoL) and the thermotolerant lectin (SSMoL) with coagulant properties capable of being used in the treatment of raw water. However, its use as a coagulant in water treatment processes is limited due to other organic substances present in the seed, such as lipids and other proteins, which can increase the residual nitrogen in the water under treatment by interacting negatively in other treatment processes, increasing the color, odor and taste of the water, in addition to being able to generate carcinogenic compounds such as trihalomethanes when in contact with chlorine and its derivatives. This research developed 6 coagulating agents in dry extract, **MB0**, **MD1**, **MDM2**, **MDM3**, **MDMX4** and **MDC5** that went through different industrial processes, such as extraction, thermal dehydration processes and *Maillard* reaction and mixing with guar and xanthan gum. And with the aim of extracting and denaturing organic compounds present in *Moringa oleifera* seed, without the lectin SSMoL losing its function. The coagulants were tested in *Jar Test* coagulation tests that demonstrated that the SSMoL lectin, in addition to being more efficient than WSMoL, does not denature in a thermal process up to 120 ° C for 6 hours. Losing coagulant function at temperatures above 150 ° C. The statistical analysis showed that the coagulant developed **MDMX4** that went through the stages of lipid extraction, *Maillard* reaction and mixture with guar and xanthan gum obtained the best results in the removal of turbidity and organic matter obtained by spectrometry UV 254 nm. The analysis of the proximate composition of the **MDMX4** coagulant showed a removal of oil content above 25% and protein denaturation above 75% in relation to crude seeds. In the alternative boiling water treatment, the **MDM2** coagulant, which only went through the extraction and dehydration stage without reaching a *Maillard* reaction, showed the best result in reducing organic matter analyzed by spectrometry UV 254 nm. The analyzes of ammoniacal nitrogen showed results <0.10 mg N-NH₃ / L in the water treatments by mechanical agitation using **MDMX4** and by boiling using **MDM2**. Indicating the possibility of these coagulating agents to be used in the treatment of water without causing them to interfere with other treatment processes.

Keywords: Coagulation. *Moringa oleifera*. Lectin SMoL. *Maillard* Reaction.

LISTA DE SIGLAS, SIMBOLOS E ABREVIATURAS

MB0- Farelo de *Moringa oleifera* bruta

MD1- Farelo de *Moringa oleifera* desengordurado

MDM2- Farelo de *Moringa oleifera* desengordurada e desidratada

MDM3- Farelo de *Moringa oleifera* desengordurada e desidratada processo de reação de *Maillard*

MDMX4- Farelo de *Moringa oleifera* desengordurada e desidratada processo de reação de *Maillard* 6% mistura de goma guar e xantana, 2% cloreto de sódio e 2% de carbonato de cálcio

MDC5- Farelo de *Moringa oleifera* desengordurada e carbonizada

NTU- Unidades Nefelométricas de Turbidez

OMS- Organização Mundial de Saúde

pH- potencial hidrogeniônico

TS- Tempo de sedimentação

TF- Tempo filtração

UV- Ultravioleta

SSMoL- Lectina Coagulante extraída em solução salina da semente de *Moringa oleifera*

SSMB- Solução salina 2% Farelo de *Moringa oleifera* bruta

SSMDMX4- Solução salina 2% Farelo de *Moringa oleifera* desengordurada e desidratada processo de reação de *Maillard* 6% mistura de goma guar e xantana, 2% cloreto de sódio e 2% de carbonato de cálcio

WSMoL- Lectina Coagulante extraída em solução aquosa da semente de *Moringa oleifera*

WSMB0- Solução aquosa 2% Farelo de *Moringa oleifera* bruta

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Preparação do Coagulante MDMX4	30
Tabela 2 - 1º Resultado - Comparação de remoção da turbidez, matéria orgânica UV 254 nm e estabilidade do pH das amostras de água tratadas com os coagulantes desenvolvidos.....	43
Tabela 3 - 2º Resultado - Comparação de remoção da turbidez, matéria orgânica UV 254 nm e estabilidade do pH das amostras de água tratadas com os coagulantes desenvolvidos.....	43
Tabela 4 - 3º Resultado - Comparação de remoção da turbidez, matéria orgânica UV 254 nm e estabilidade do pH das amostras de água tratadas com os coagulantes desenvolvidos.....	44
Tabela 5- Análise Estatística- Eficiência dos Coagulantes na Remoção da Turbidez da Água bruta.....	47
Tabela 6- Análise Centesimal- Comparação entre MB0, MDM3 e MDMX4	48
Tabela 7 - 1º Resultado - comparação entre os coagulantes MDM3 e MDMX4 no tratamento de água sintética.....	49
Tabela 8 - 2º Resultado - comparação entre os coagulantes MDM3 e MDMX4 no tratamento de água sintética.....	50
Tabela 9 - 3º Resultado- comparação entre os coagulantes MDM3 e MDMX4 no tratamento de água sintética.....	50
Tabela 10 - 1º Resultado - Análise bacteriológica das amostras de água tratadas com os coagulantes MDM3 e MDMX4	51
Tabela 11 - 2º Resultado - Análise bacteriológica das amostras de água tratadas com os coagulantes MDM3 e MDMX4	51
Tabela 12 - 3º Resultado - Análise bacteriológica das amostras de água tratadas com os coagulantes MDM3 e MDMX4	52
Tabela 13 - Remoção de turbidez e matéria orgânica UV 254 nm das amostras de água tratada com a solução coagulante SSMDMX4	53
Tabela 14 - Comparação de remoção de turbidez e matéria orgânica UV 254 nm das amostras de água tratadas com as soluções coagulantes SSMDMX4 e WSMB0	54

Tabela 15 - Comparação de remoção de turbidez e matéria orgânica UV 254 nm das amostras de água tratadas com as soluções coagulantes SSMDMX4 e SSMB0	55
Tabela 16 - 1º Resultado - Comparação de remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando os coagulantes MDMX4 e MDM3	56
Tabela 17 - 2º Resultado - Comparação de remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando os coagulantes MDMX4 e MDM3	57
Tabela 18 - 1º Resultado - Remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando o coagulante MDM2 .	58
Tabela 19 - 2º Resultado - Remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando o coagulante MDM2 .	58
Tabela 20 - 3º Resultado - Remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando o coagulante MDM2 .	58
Tabela 21 - Determinação de Nitrogênio Amoniacal das amostras de água tratadas com os coagulantes MDM2 e MDMX4	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Farelo MB0	37
Figura 2- Farelo MD1	38
Figura 3- Farelo MDM2	38
Figura 4- Farelo MDM3	39
Figura 5- Farelo MDMX4	40
Figura 6- Farelo MDC5	40
Figura 7- Ensaio de coagulação MB0 e MD1	41
Figura 8- Superfície MB0 e MD1	41
Figura 9- Ensaio de coagulação MDM2 e MDM3	41
Figura 10- Superfície MDM2 e MDM3	41
Figura 11- Ensaio de coagulação MDMX4 e MDC5	41
Figura 12- Superfície MDMX4 e MDC5	41
Figura 13- Tratamento por Fervura.....	56
Figura 14- Resfriando.....	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Evolução no tratamento de água na história da humanidade	15
3.2 Alternativas de baixo custo para tratamento de água em comunidades carentes	17
3.3 Poluição hídrica e saúde pública	18
3.4 Coloides e turbidez	20
3.5 pH	20
3.6 Agentes coagulantes	21
3.7 Coagulante a base de <i>Moringa oleifera</i>	23
3.8 Processos industriais	25
3.8.1 Extração de óleo vegetal.....	25
3.8.2 Tratamento térmico - desidratação.....	26
3.8.3 Reação de <i>Maillard</i>	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Sementes de <i>Moringa oleifera</i>	28
4.2 Extração do óleo da semente de <i>Moringa oleifera</i>	28
4.3 Preparação de agentes coagulantes com farelo de semente de <i>Moringa oleifera</i>	29
4.3.1 Extrato seco com farelo de sementes bruta.....	29

4.3.2 Extrato seco com farelo de sementes desengordurada.....	29
4.3.3 Farelo MD1 desidratado.....	29
4.3.4 Farelo MD1 processo de reação de <i>Maillard</i> e desnaturação da WMoL.....	29
4.3.5 Farelo MDM3 com adição de gomas, cloreto de Sódio e carbonato de Cálcio....	30
4.3.6 Farelo MD1 carbonizado.....	31
4.4 Coleta de água bruta.....	31
4.5 Ensaio de coagulação com os coagulantes desenvolvidos.....	31
4.6 Análise estatística- comparação de eficiência da remoção de turbidez das águas tratadas com os coagulantes desenvolvidos.....	32
4.7 Análise de composição centesimal de MB0 e MDM3 e MDMX4.....	32
4.8 Ensaio de coagulação com MDM3 e MDMX4 com diferentes índices de turbidez da água sintética.....	33
4.9 Análise bacteriológica pelo método <i>Petrifilm</i>.....	33
4.10 Preparação de soluções com MB0 e MDMX4.....	34
4.11 Comparação de eficiência das soluções com MB0 e MDMX4 nos ensaios de coagulação por agitação mecânica.....	34
4.12 Tratamento de água por ebulição utilizando os coagulantes MB0, MDM2, MDM3 e MDMX4.....	35
4.13 Determinação de nitrogênio amoniacal nas amostras de águas tratadas com os coagulantes MDM2 e MDMX4.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 Resultado da extração do óleo da semente de <i>Moringa oleifera</i>	37
5.2 Preparação de agentes coagulantes com farelo da semente de <i>Moringa oleifera</i>	37
5.2.1 Coagulante MB0	37
5.2.2 Coagulante MD1	38
5.2.3 Coagulante MDM2	38

5.2.4 Coagulante MDM3	39
5.2.5 Coagulante MDMX4	39
5.2.6 Coagulante MDC5	40
5.3 Resultado do ensaio de coagulação por agitação mecânica com os coagulantes desenvolvidos	41
5.4 Resultado da análise estatística	46
5.5 Resultado da análise de composição centesimal	48
5.6 Resultado do ensaio de Coagulação por agitação mecânica com MDM3 e MDMX4 em diferentes índices de turbidez das amostras de água sintética	49
5.7 Resultado das análises bacteriológicas	51
5.8 Resultado da comparação de eficiência das soluções coagulantes SSMB0, WSMB0 e SSMDMX4 no tratamento de água	52
5.9 Resultado do tratamento de água por ebulição por Ebulição	55
5.10 Resultado da Determinação de Nitrogênio Amoniacal nas Águas Tratadas com os Coagulantes MDM2 e MDMX4	59
CONCLUSÃO	61
TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

Durante toda história humana, a falta de água potável foi a principal causa de várias epidemias que assolaram a humanidade, como peste negra, cólera e giardíase. A partir do final do século XIX, com a comprovação da teoria microbiana, com as reformas sanitárias e com o desenvolvimento científico, o tratamento de água passou a ter um avanço significativo, como o desenvolvimento dos processos de coagulação e floculação, filtração e desinfecção (ALVES, 2007).

Os processos de coagulação e floculação são responsáveis pela remoção de aproximadamente 90% dos contaminantes presentes na água. Nesse processo é aplicado um agente coagulante, podendo ser químico ou orgânico, que faz com que esses contaminantes acabem se aglutinando, em pequenos flocos, e se separando da água (LIMA, 2015).

O sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) é o agente coagulante mais empregado no tratamento de água, porém, como mencionado por Siqueira et al. (2018), o excesso de sais de alumínio na água pode afetar a saúde humana levando a doenças neurológicas, como a doença de Alzheimer. Além disso, o lodo gerado no processo de tratamento com esse coagulante apresenta alta concentração de alumínio, e o fato de não ser biodegradável, torna seu descarte muito prejudicial ao ambiente (PIANTÁ, 2008).

Em função disso, desde o final do século XX pesquisas no desenvolvimento de agentes coagulantes orgânicos passaram a ter grande importância na área ambiental. Entre elas destacam-se as sementes de *Moringa oleifera* e taninos extraídos da casca da árvore acácia negra (BLANCO et al., 2016).

As pesquisas realizadas com as sementes da planta *Moringa oleifera*, demonstraram a presença de duas proteínas catiônicas com alto poder aglutinante capazes de desencadear o processo de coagulação em águas brutas, removendo sua cor, turbidez, microrganismos patogênicos, metais pesados e compostos orgânicos, como benzeno, tolueno, etilbenzeno e isopropilbenzeno (OKUDA, 2001).

Santos (2007) menciona que as duas proteínas coagulantes são na verdade duas lectinas, uma extraída em solução aquosa WSMoL (*Water Soluble M. oleifera*

Lectin) e outra extraída em solução salina SSMoL (*Saline Soluble M. oleifera Lectin*). Em sua pesquisa, Santos (2007) purificou a lectina SSMoL por cromatografia e determinou que ela é uma proteína termotolerante.

As sementes de *Moringa oleifera* possuem em sua composição química vários outros compostos, como outros tipos de proteínas, lipídios, amidos e carboidratos. Esses, por sua vez, acabam causando interferência nos outros processos de tratamento de água, como filtração e desinfecção, contribuindo para o aumento da carga orgânica, alterando cor, odor e sabor da água, além de produzir trihalometanos (OKUDA, 2001).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Considerando os benefícios das sementes de *Moringa oleifera* o presente trabalho tem como objetivo utilizar processos industriais para extrair o óleo vegetal e desnaturar compostos orgânicos presentes nessas sementes, para o desenvolvimento de um agente coagulante à base de *Moringa oleifera*.

2.2 Objetivos específicos

- Adquirir as sementes de *Moringa oleifera*, para execução da pesquisa.
- Triturar e extrair o óleo das sementes de *Moringa oleifera*.
- Utilizar processos industriais de tratamento térmico para desenvolver diferentes agentes coagulantes à base de *Moringa oleifera*.
- Avaliar a eficiência dos agentes coagulantes desenvolvidos no tratamento de água.
- Adicionar gomas à formulação do coagulante e testar sua compatibilidade e melhora no processo de coagulação e floculação.
- Realizar análises de presença de matéria orgânica UV 254 nm e de nitrogênio amoniacal.
- Desenvolver um agente coagulante à base de *Moringa oleifera*, que possa ser utilizado no tratamento de água bruta sem causar o aumento de material nitrogenado no final do processo de floculação.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Evolução no tratamento de água na história da humanidade

Durante a evolução das civilizações humanas o cuidado com a água sempre foi um ponto crucial para seu desenvolvimento. Em escrituras do antigo Egito encontram-se descritas técnicas que a civilização usava no processo de tratamento de água, como o uso de capilaridade, em que a água entrava em vasilhames contendo tiras de tecidos que tinham a finalidade de remover suas impurezas (RIBEIRO; ROOKE, 2010; PITERMAN; GRECO, 2005).

Há relatos que os egípcios foram os primeiros a usar sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) para clarificação da água e sua purificação utilizando altas temperaturas, tanto em exposição ao sol, como aquecidas no fogo. As civilizações grega e romana sempre deram muita importância na gestão da água, sendo que a grega priorizou disciplinar o uso da água nas cidade e campos e a relação da água com a saúde da civilização; já a romana foi responsável por construções de canalização e distribuição de água em suas cidades (PINTO; HAVENS, 2015).

Na Idade Média, essa preocupação com a qualidade da água acabou se perdendo. As questões sanitárias retrocederam ao ponto de dejetos serem jogados em vias públicas, aumentando a poluição do ambiente. Esse período foi marcado por graves epidemias, como a peste negra, que infectou cerca de um terço da população na Europa, além de cólera, varíola, hanseníase e tifo (PROSAB, 2009).

No período do Renascimento, foram resgatados os valores greco-romanos e voltou a ser debatida a relação entre a água e a saúde pública (PITERMAN; GRECO, 2005).

Porém, até a metade do século XIX, a principal preocupação com a água era apenas com sua cor, odor e sabor, em função da teoria do miasma, que atribuía a transmissão de doenças pelo vento às impurezas do ar originada por exalação de pessoas e animais doentes, substâncias e dejetos em decomposição e águas pantanosas. Acreditava-se que, para evitar estas doenças, era necessário melhorar o odor do ar pela de queima de incenso, por exemplo (RODRIGUES, 2010).

Em 1854, durante um grave surto de cólera em Londres, o estudo do médico John Snow demonstrou que o contágio da doença era veiculado por água contaminada (PITERMAN; GRECO, 2005). A partir desse estudo e da comprovação da teoria microbiana de doenças proposta pela francês Louis Pasteur, ficou reconhecida definitivamente a relação entre qualidade de água e saúde pública (PROSAB, 2009).

Já no final do século XIX começaram o desenvolvimento de técnicas para o melhoramento do processo de tratamento de água (RIBEIRO; ROOKE, 2010). Dentre as principais técnicas desenvolvidas estão o processo de clarificação da água e o processo de desinfecção (BRANDÃO, 2011). Em 1890, nos Estados Unidos, foi publicada a primeira edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* que visava padronizar os testes microbiológicos da água (CAMPOS, 2012).

Do final do século XIX até as décadas de 60 e 70 do século XX, a principal preocupação do processo de tratamento de água era a clarificação e remoção dos microrganismos, sendo desenvolvidas técnicas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, além das construções de estações de tratamento de água (MURTHA *et al.*, 2015).

Com o avanço do desenvolvimento agrícola e industrial na metade do século XX, a produção em massa de novas substâncias químicas, entre elas agrotóxicos e fármacos, acabava produzindo resíduos que direta ou indiretamente foram sendo descartados nos efluentes, o que fez que a preocupação com o tratamento de água fosse além dos microrganismos para as substâncias químicas, demandando em aprimoramento das técnicas de tratamento de água existentes (PROSAB, 2009).

Atualmente, o tratamento de águas oriundas de rios e lagos é realizado em estações de tratamento de água de ciclo completo, passando por processos de coagulação e floculação, processos de sedimentação, filtração e desinfecção e, se necessário, remoção de substâncias químicas em tratamentos adicionais, como adsorção por carvão ativado, processos de separação por membranas entre outros (ALVES, 2007).

Para que a água em tratamento seja considerada própria para consumo humano, foram criadas normas de padrão de potabilidade, cuja primeira regulamentação foi feita em 1914 nos Estados Unidos e da Organização Mundial de

Saúde (OMS) em 1956 e direcionada ao continente europeu. Atualmente o padrão de potabilidade no mundo é referenciado pelas diretrizes descritas pela OMS, que estão em constante atualização tornando cada vez mais rigoroso o valor máximo permitido de contaminantes, sejam eles bacteriológicos ou químicos, presentes na água para que seja considerada potável (PROSAB, 2009).

Entretanto, hoje em dia a produção de água potável tem um elevado custo, o que faz com que pequenas comunidades afastadas dos grandes centros urbanos e países em desenvolvimento, não tenham condições viáveis de construir e manter uma estação de tratamento de água (BORBA, 2011). Isso faz com que atualmente uma parcela da população mundial, ainda sofra com doenças relacionadas com a falta de água potável (MARIN et al., 2013).

Segundo dados da OMS apresentados no relatório do Programa de Monitoramento Conjunto, publicado no site da OPAS/OMS Brasil em 18/07/2017, 2,1 bilhões de pessoas não têm acesso à água potável provocando, anualmente, a morte de 361 mil crianças, com menos de 5 anos, por diarreia.

3.2 Alternativas de baixo custo para tratamento de água em comunidades carentes

Em pequenas comunidades rurais e em países em desenvolvimento que não apresentam condições de custear tecnologias atuais para o tratamento de água, é recomendável utilizar técnicas alternativas de tratamento de água para evitar a contaminação por doenças hídricas (BOMURA, 2011).

Uma das recomendações mais antigas utilizadas é ferver a água para eliminar microrganismos patógenos, já que microrganismos, como *Escherichia coli*, são inativados a temperaturas acima de 60°C (FOGOLARI et al., 2012). Porém a desvantagem é de não remover substâncias químicas, como metais pesados e a turbidez de águas muito barrentas (CAVALLINI et al., 2018).

Já o tratamento de água por desinfecção solar, conhecida como SODIS, foi desenvolvida pelo Professor Aftim Acra da Universidade Americana de Beirute em 1980 e utiliza a radiação solar UVA para eliminar microrganismos patógenos (SILVA,

2004). O método SODIS tem sua eficácia reconhecida pela OMS sendo utilizado em 24 países dentre os continentes africanos, asiáticos e da América Latina.

A metodologia da técnica do projeto SODIS, consiste em utilizar garrafas *pets* transparentes, enchê-las com água bruta e colocá-las em exposição ao sol por, no mínimo, 6 horas para eliminar ou inativar os organismos patogênicos (BOMURA, 2011).

A vantagem dessa técnica está no baixo custo de implementação e não exigir monitoramento nem operações complexas. Como desvantagem, é dependente das condições climáticas, já que necessita da radiação solar, não remove substâncias químicas presentes na água e tem baixa eficiência em águas muito turvas (CAVALLINI et al., 2018).

Uma outra alternativa é a utilização de filtros caseiros, como os filtros de cerâmicas que utilizam velas compostas de carvão ativado e prata coloidal para remover microrganismos patogênicos da água, porém tem baixa eficiência para águas muito turvas (DUARTE et al., 2016; PEREIRA et al., 2014).

3.3 Poluição hídrica e saúde pública

A poluição de recursos hídricos ocorre devido ao lançamento de diferentes substâncias nos corpos hídricos capazes de alterar suas características físico-químicas. A forma de lançamento da poluição em águas ocorre de três maneiras:

1. poluição atmosférica: causada pela emissão de gases tóxicos, queima de combustíveis fósseis e materiais radioativos, entre outros, que voltam para os corpos hídricos pela chuva.
2. poluição pontual: quando o material poluente é lançado de forma controlada em determinado ponto dos corpos hídricos; exemplo disto são os efluentes lançados pelas estações de tratamento de esgoto.
3. poluição difusa: quando o lançamento de poluentes ocorre de maneira aleatória sem possibilidade de determinar sua composição; são exemplos o escoamento de água de chuva de campos agrícolas e drenagem urbana.

Já sobre os tipos de poluentes na água, pode-se dividir em:

1. poluentes químicos biodegradáveis: que são decompostos por bactérias após um período, como os detergentes, inseticidas, fertilizantes e petróleo.
2. poluentes químicos persistentes: que não se decompõem em um curto período, podendo causar graves danos ao meio ambiente e seres vivos, como o mercúrio e arsênio derivados da atividade de mineração.
3. poluição biológica: quando a água é contaminada por microrganismos patogênicos provenientes de lançamento de esgotos, lançamento de lixo domésticos e dejetos humanos, entre outros. Geralmente a contaminação se dá por bactérias, vírus e protozoários, entre outros.
4. poluição física: ocorre quando as substâncias lançadas na água alteram suas características físicas, como o lançamento de água aquecidas usadas em processos industriais e o aumento de sólidos suspensos na água devido a erosão do solo (OLIVEIRA; MOLICA, 2017).

A elevação de poluentes nos corpos hídricos pode aumentar a quantidade de nutrientes vindos de materiais orgânicos, causando a eutrofização do corpo hídrico, aumentando a turvação da água, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido presente na água, matando espécies de animais e vegetais e aumentando o crescimento de cianobactérias (OLIVEIRA; MOLICA, 2017).

O desenvolvimento constante de cianobactérias leva à floração dos corpos hídricos que irão apresentar uma cor esverdeada e forte odor desagradável aumentando a dificuldade de tratar esta água para o consumo humano (OLIVEIRA; MOLICA, 2017).

A poluição de corpos hídricos é responsável por diversos problemas relacionados à saúde pública, entre eles encontram-se doenças bacterianas, como cólera; doenças virais, como hepatite A; e doenças parasitárias, como giardíase, todas causadas pela contaminação da água por material fecal proveniente de esgoto não tratado, infiltração em fossas sanitárias ou lançamento direto de lixo doméstico no rio (RIBEIRO; ROOKE, 2010).

A proliferação de cianobactérias nos corpos hídricos pode causar produção de substâncias tóxicas denominadas cianotoxinas, que causam problemas relacionados

à saúde, como dermatites, gastroenterites, entre outras mais graves, como problemas neurológicos e problemas hepáticos, como a cirrose (OLIVEIRA; MOLICA, 2017).

3.4 Coloides e Turbidez

Pequenas partículas em suspensão em líquidos são denominadas coloides, observados primeiramente pelo químico escocês Thomas Graham, em 1861. Os coloides apresentam cargas elétricas em sua superfície que atraem uma dupla camada de íons de carga oposta e grande potencial de cisalhamento, tornando o sistema estável e impedindo que os coloides se juntem (MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2006).

A presença dessas partículas suspensas em estado coloidal, matéria orgânica, material inorgânica e outros organismos microscópicos em uma substância líquida é denominada turbidez (MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2010). A turbidez de um corpo hídrico é analisada pela interferência da passagem de luz através do líquido que está sendo analisado. Quanto maior for a interferência da passagem de luz, maior so valor expresso para a turbidez e, conseqüentemente, pior será sua qualidade e maior sua poluição (LIMA, 2015).

No tratamento de água para consumo humano, a turbidez é um dos principais parâmetros físico-químicos de potabilidade. Sua remoção no processo de tratamento indica a remoção de partículas suspensas que apresentavam materiais patogênicos oriundos da poluição dos corpos hídricos (LIMA, 2015).

3.5 pH

A medição de íons de hidrogênio para determinar a acidez ou alcalinidade de um meio líquido é determinada de potencial hidrogeniônico (pH). Seu cálculo é feito por escala antilogarítmica com faixas entre 0 a 14 e sua neutralidade ocorre na faixa 7. Qualquer o resultado for abaixo de 7, indica maior acidez do meio e quando o resultado for acima de 7, maior será sua alcalinidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2006).

Para um corpo hídrico, a faixa de pH ideal para sua qualidade estaria entre 6 a 9. Porém, devido a fatores ambientais, como dissolução de rochas e fotossínteses ou ações antrópicas, como lançamento de esgoto domésticos e industriais, ocorre alterações no pH dos corpos hídricos comprometendo sua qualidade (PAVANELLI, 2003).

No tratamento de água os padrões de potabilidade para consumo determinam que seu pH esteja entre 6,5 a 9,5. Muitas vezes são necessárias aplicações de produtos químicos para garantir que o pH fique no parâmetro estabelecido (PAVANELLI, 2003).

3.6 Agentes coagulantes

Os agentes coagulantes têm a função de desestabilizar as partículas coloidais presentes no meio líquido diminuindo suas cargas de superfície e fazendo com que as partículas que se repeliam passem a se aglutinarem por meio de mecanismos de coagulação (PAVANELLI, 2003).

A eficiência do mecanismo de coagulação é dependente de diversos fatores, como pH da água a ser tratada e o tipo das partículas coloidais presentes na água. Os agentes coagulantes usados no tratamento de água podem ser divididos em duas classes: agentes inorgânicos e agentes orgânicos (ALVES, 2012).

Os agentes inorgânicos são os coagulantes químicos que utilizam íons metálicos no seu processo de coagulação, entre eles se destacam o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico (FeCl_3) e o policloreto de alumínio ($\text{Al}_n(\text{OH})_m(\text{Cl}_3)_{n-m}$) (RÔLA et al., 2016).

O sulfato de alumínio é o agente coagulante mais utilizado devido ao seu baixo custo, comparado a outros coagulantes, fácil transporte e armazenamento. Quando adicionado à água, ocorre a formação de hidróxidos com carga contrária à das partículas coloidais, fazendo com que ocorra sua neutralização e, posteriormente, sua aglutinação em flocos deixando a água clarificada (RÔLA et al., 2016).

O uso desses coagulantes constituídos de sais metálicos é amplamente discutido pelo fato de gerarem resíduos que ficam tanto na água tratada como no lodo gerado no processo de tratamento (SIQUEIRA et al., 2018).

Pesquisas já relacionam que o excesso de sais de alumínio na água pode afetar a saúde humana levando a doenças neurológicas, como a doença de Alzheimer (SIQUEIRA et al., 2018). E que o lodo gerado no processo de tratamento apresenta alta concentração de metais e não são biodegradáveis, tornando seu descarte na natureza muito prejudicial ao ambiente (PIANTÁ, 2008).

Entre os agentes coagulantes orgânicos se destaca o extraído do tanino da casca da árvore acácia negra (*Acacia Mearnsii*) já desenvolvido pela empresa TANAC, no Rio Grande do Sul, com o nome comercial Tanfloc. O produto é descrito como um polímero catiônico de baixo peso molecular usado em indústrias químicas e petroquímicas do Brasil e Europa (PIANTÁ, 2008; RÔLA et al., 2016).

Esse polímero à base de tanino é produzido pela reação de Mannich, em que primeiramente ocorre a formação de cátion imínio, devido à reação entre um aldeído fórmico e o cloreto de amônia em temperaturas entre 50 e 100°C. Em seguida ocorre uma reação intermediária que transforma o tanino sem carga em um polímero catiônico, denominado tanato quaternário de amônia, em que seu mecanismo de coagulação ocorre pela neutralização de cargas e formação de pontes (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

As vantagens desse coagulante orgânico, em relação aos agentes químicos, estão no fato de não consumir a alcalinidade natural da água, de sua função coagulante ser efetiva em uma ampla faixa de pH, ser mais efetivo na adsorção de metais dissolvidos em água, além de ser biodegradável. Além disto, o coagulante tem baixa toxicidade (9.241 mg.kg⁻¹) estimada em ratos, eficiência na remoção de fármacos, corantes e surfactantes aniônicos relatados na literatura (PELEGRINO, 2011; LIMA JUNIOR; ABREU, 2018).

O tanfloc foi o agente coagulante que apresentou melhores resultados de tratamento da água proveniente do Rio Doce nas cidades de Governador Valadares (MG) e Colatina (ES) após o rompimento da barragem da empresa Samarco na cidade de Mariana. O coagulante à base de tanino se mostrou mais eficaz na remoção de metais pesados e turbidez elevada, aplicando menores dosagens do produto atingindo os parâmetros exigidos pela portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (FRANCO et al., 2016).

3.7 Coagulante à base de *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* é uma planta nativa da Índia, pertencente à família das Moringáceas e que está hoje em dia difundida por ser uma planta de enorme interesse científico na produção de medicamentos, cosméticos e alimentícios (SERAFIM et al., 2004).

É uma planta arbórea que cresce rapidamente, chegando até 4 m de altura, podendo se desenvolver mesmo em solos pobres e em regiões de seca, gerando grandes folhas, flores brancas e vagens verdes em que se encontram suas sementes (LIMA, 2015).

Nas pesquisas de Mendes e Coelho (2007) e de Ribeiro (2010) foi relatada a utilização da semente de *Moringa oleifera* em pequenas comunidades rurais da Angola, na África, em que era colocada em um recipiente uma certa quantidade de água barrenta em contato com uma determinada quantidade da semente de *Moringa oleifera* e após 2 horas em repouso era possível observar a clarificação da água e que o barro ficava no fundo do recipiente junto com as sementes.

Estudos sobre a composição química determinaram que as sementes possuem uma proteína catiônica dimérica de alto peso molecular, com capacidade de desestabilizar os contaminantes presentes na água pelo processo de neutralização e adsorção. A sementes ainda possuem substâncias antimicrobianas capazes de reduzir a carga microbiana da água (LIMA, 2015).

A pesquisa de Santos (2007) isolou duas proteínas presentes nas sementes de *Moringa oleifera*, lectinas com atividades hemoaglutinantes que foram denominadas SSMoL (*Saline Soluble M. oleifera Lectin*) e WSMoL (*Water Soluble M. oleifera Lectin*). Santos (2007) concluiu que a SSMoL é uma proteína básica, termo resistente, não desnaturando mesmo exposta à temperatura de 100° C por 7 horas e menciona que a SSMoL tem potencial de coagulação 7,4 vezes maior que a WSMoL.

O trabalho de Muyubi e Evison (1995) demonstrou a eficiência do tratamento utilizando *Moringa oleifera* para a remoção de agentes patógenos na água superficial devido aos compostos mencionados anteriormente, eliminando de 98 a 100% a contagem de coliformes fecais presentes na água bruta e de 80 a 99,5% da turbidez.

A pesquisa de Bhatti et al. (2007) menciona o potencial da semente na remoção de metais, como zinco, ferro, alumínio, cádmio, cromo e níquel no tratamento de água. Já Akhtar et al. (2007) observaram a remoção de compostos orgânicos, como benzeno, tolueno, etilbenzeno e isopropilbenzeno.

O trabalho de Nishi et al. (2011) apresentou resultados satisfatórios quando a água bruta era contaminada com cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium spp.*, apresentando remoções de 94% e 90%, respectivamente, desses parasitas após tratamento por coagulação e floculação por semente de *Moringa oleifera*.

O extrato de *Moringa oleifera* apresenta rápido nível de degradação, mesmo quando armazenado sob refrigeração (3°C) diminuindo seu potencial com o passar do tempo, o que dificulta sua utilização em tratamento de água em grande escala (LIMA, 2015).

A maior parte das pesquisas sobre a utilização da semente no tratamento de água gera muita discussão sobre sua eficiência no que se refere ao tratamento convencional em Estações de Tratamento de Água (ETA), principalmente pelo seu alto teor de proteínas que pode causar interferência no desinfectante se utilizado numa estação de tratamento, o que aumentaria a carga orgânica alterando cor, odor e sabor da água (GHEBREMICHAEL et al., 2005). Podendo ainda essas cargas orgânicas favorecer o crescimento de cianobactérias e gerar trihalometanos (BHUPATAWAT et al., 2006; VALVERDE, 2015).

As sementes de *Moringa oleifera* apresentam em sua composição além de proteínas, alto teor de óleo. Estudos sugerem que nas sementes 35% a 40% de seu peso é composto de óleo (AZEVEDO, 2013; SIQUEIRA et al., 2015; MENEZES, 2017).

Na pesquisa sobre impacto da extração do óleo da semente na atividade coagulante, realizada por Menezes (2017), foi demonstrado que embora a remoção do óleo cause alterações em parâmetros de coagulação, como potencial zeta e o ponto isoelétrico, ainda apresenta alta concentração de proteínas coagulantes.

3.8 Processos industriais

Processos industriais são definidos como procedimentos da manufatura de um ou vários itens na fabricação em grande escala. São utilizados para melhorar a qualidade, otimização de tempo, custo e outras variáveis para fabricação de um produto. O processo de fabricação e produção utiliza diversas operações unitárias para a transformação da matéria-prima (GONÇALVES, 2009).

Operações unitárias constituem de etapas individuais utilizadas para o tratamento de uma matéria-prima ou processo químico, visando sua transformação em um produto final de valor agregado. As operações unitárias se dividem em uma série de etapas básicas, como transferência de massa (absorção, adsorção, destilação, desidratação, extração), transferência de calor (aquecimento, refrigeração), processos mecânicos (trituração, sedimentação, filtração) e de mistura de matérias-primas (CREMASCO, 2010; ISENMANN, 2018).

3.8.1 Extração de óleo vegetal

O óleo presente em plantas é de grande interesse nos setores alimentícios, cosméticos, fármacos e de biocombustível. Porém, para que esse óleo seja utilizado, é necessário extraí-lo por métodos físicos ou métodos químicos (CARVALHO, 2011; SILVA et al., 2014).

Um dos métodos de extração física é conhecido como extração artesanal e utiliza partes da planta, como o fruto, as sementes, as folhas, as raízes ou outras partes em processo de cozimento com água até que o óleo fique sobrenadante e separado da água por centrifugação (CARVALHO, 2011).

Outro método de extração física é a extração mecânica ou extração por prensa, sendo mais utilizada para extrair o óleo de grãos e sementes que acabam sendo comprimidos a uma alta pressão que é responsável pela ruptura das paredes celulares e liberação dos glóbulos de óleo (AZEVEDO, 2013).

Na extração química, utilizam-se solventes, como água ionizada, etanol, éter e hexano. O material vegetal é triturado antes da extração para melhor penetração do

solvente em suas células para remover o óleo por dissolução e difusão (CARVALHO, 2011).

A utilização de banho ultrassônico em conjunto com solventes, como hexano e etanol, é uma técnica alternativa para extração de compostos orgânicos de material particulado. As ondas ultrassônicas causam mudanças físicas e químicas devido à variação de pressão no líquido gerando a cavitação e o micros fluxos nos líquidos, aquecimento e ruptura nos sólidos e instabilidade na superfície da interface de sistemas líquido-líquido e líquido-gás (BRUNI et al., 2014).

Silva et al. (2014) utilizaram uma quantidade de 5 gramas de amostras de sementes de *Moringa oleifera* em um aparelho ultrassônico Ultracleaner 800 com uma frequência de 40kHz e *erlenmeyer* de 250 ml. Mantendo a temperatura da água do banho em 25°C. O solvente utilizado foi o hexano e se obteve um rendimento de extração de óleo de 32% após 60 minutos.

3.8.2 Tratamento térmico - desidratação

O tratamento térmico é utilizado em produtos alimentícios para aumentar sua qualidade e aumentar sua durabilidade quando desidratados por diminuir sua atividade de água. Porém, condições térmicas severas acabam por modificar a composição química do produto vegetal (BIANCHINI et al., 2014). Um exemplo dessas modificações é a desnaturação de proteínas podendo aumentar sua eficiência ou levar à ineficiência de sua funcionalidade (CAVALCANTI, 2010).

O processo de desidratação consiste na evaporação da água de produtos alimentícios pela transferência de calor e massa acaba por modificar a estrutura física dos produtos alimentícios, em especial de origem vegetal, alterando sua textura, formação de uma casca endurecida na superfície do produto, modificando sua cor e causando a contração do produto (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2013).

Um dos principais métodos de desidratação é a secagem por estufa que utiliza o ar em altas temperaturas para vaporizar a água presente no produto. É um método utilizado na produção de farinha que tem como principal característica apresentar umidade inferior a 15% (ENGEL et al., 2016).

3.8.3 Reação de *Maillard*

A reação de *Maillard* é uma reação de escurecimento não enzimático que ocorre em produtos de origem vegetal e animal, gerando modificações nos produtos, como pigmentações escuras e aumentando o peso molecular dos seus compostos (COSTA, 2014).

A reação de *Maillard* ocorre durante o aquecimento de produtos vegetais ou animais, alterado seu sabor, odor e cor e apresenta 3 etapas de processo. Na primeira ocorre a condensação de açúcares redutores com proteínas formando açúcares aldose ou açúcares cetose. Na segunda etapa do processo, esses açúcares se fragmentam e sofrem reação de desidratação, enolização e retroaldolização formando compostos dicarbonílicos redutonas, derivados de furfural e produtos de degradação de Strecker. Esses compostos se polimerizam com proteínas, resultando em pigmentos escuros denominados melanoidinas. As melanoidinas são responsáveis pela terceira etapa, levando à coloração dos produtos (FRANCISQUINI et al., 2017).

A formação de melanoidinas tem como vantagem suas atividades antioxidante e bacteriostática e ação inflamatória. A reação de *Maillard* pode reduzir a concentração de proteínas com baixa tolerância térmica e é responsável pela diminuição da atividade de água e aumento da concentração de açúcares redutores (COSTA, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

As sementes da planta *Moringa oleifera* foram adquiridas da empresa Arbocenter, localizada na Estrada Municipal Francisco Contel, lote 19, Morada do Sol, na cidade de Birigui (SP).

4.2 Extração do óleo da semente de *Moringa oleifera*

Para a extração do óleo da semente foram seguidas as metodologias de Azevedo (2013) e Silva et al. (2014), utilizando um aparelho ultrassônico.

Primeiramente a casca da semente foi separada de sua polpa. Essa polpa foi triturada em liquidificador até formar um farelo. Foram colocados 20g do farelo de *Moringa oleifera* em um *erlenmeyer* junto com o solvente, hexano na proporção 1:8, e este foi colocado no banho ultrassônico da marca Ultrasonic Cleaner DC200H com frequência de 40 kHz, por 60 minutos a temperatura de 25°C.

A amostra foi retirada do banho ultrassônico e foi separada do farelo de *Moringa oleifera* do líquido extrator. O farelo foi levado à estufa a 100°C, por 60 minutos, para evaporação do resíduo de hexano e o líquido extrator foi levado para um rota-evaporador para separação entre o solvente e o óleo. O procedimento foi realizado em triplicata. O cálculo de teor do óleo foi expresso pela equação 1, em que $M_{\text{óleo}}$ é a massa do óleo extraído e M_{semente} é a massa das sementes brutas.

$$\% \text{ Teor de óleo} = \frac{M_{\text{óleo}}}{M_{\text{semente}}} 100 \quad (1)$$

4.3 Preparação de agentes coagulantes com o farelo de semente *Moringa oleifera*

4.3.1 Extrato seco com o farelo das sementes brutas

Foram armazenados em um frasco esterilizado 5 g da amostra de farelo de *Moringa oleifera* bruta e deixado armazenado em temperatura ambiente. A amostra foi denominada de **MB0**.

4.3.2 Extrato seco com o farelo das sementes desengorduradas

A amostra do farelo de *Moringa oleifera* que passou pelo processo de extração do óleo foi denominada **MD1**. Desta amostra foram colocadas 5 g em um frasco esterilizado e armazenado em temperatura ambiente.

4.3.3 Farelo **MD1** desidratado

Foram separados 5 g da amostra do farelo **MD1**, colocados em um cadinho e levado à estufa a 120°C por 6 horas. Depois de retirar da estufa foi colocado em um frasco esterilizado e armazenado em temperatura ambiente, a amostra foi denominada de **MDM2**.

4.3.4 Farelo **MD1** processo de reação de *Maillard* e desnaturação da WSMoL

Foram separados 10 g da amostra do farelo **MD1** colocados em um cadinho e adicionado uma quantidade de 10 mL de água deionizada necessária até a formação de uma mistura pastosa entre o farelo e a água para melhor extração da lectina WMoL e sua desnaturação e foi colocado em estufa a 120 °C por 6 horas. Logo, após, foi colocado 5 g da amostra em um frasco esterilizado e foi denominada de **MDM3**.

4.3.5 Farelo **MDM3** com adição de gomas, cloreto de sódio e carbonato de cálcio

Para preparação dessa amostra de coagulante foi seguida a proporção conforme a Tabela 1:

Tabela 1 Preparação do Coagulante **MDMX4**

Produto	Cálculo	Quantidade
MDM3	-	5 g
Mistura de Gomas Guar e Xantana 1:1	6% da massa de MDM3 (5 g x 0,06)	0,3 g
Cloreto de Sódio	2% da massa de MDM3 (5 g x 0,02)	0,1 g
Carbonato de Cálcio	2% da massa de MDM3 (5g x 0,02)	0,1g

Fonte: Autoria Própria. 2019.

Os produtos foram colocados em um cadinho e misturados com o pistilo antes de ser colocada em estufa a 100°C por 30 minutos. Logo após foi colocada em um frasco esterilizado e denominada de **MDMX4**.

A utilização de gomas para o desenvolvimento do farelo coagulante **MDMX4**, é justificado pelo fato das gomas apresentarem moléculas de alto peso molecular com características hidrofílicas e hidrofóbicas, possuem propriedades gomosas muito utilizadas em fabricação de alimentos com a finalidade de emulsificante, estabilizante, espessantes e aumento de viscosidade de uma solução (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2015). A mistura de goma xantana com galactmananas, como a goma guar, causa um sinergismo aumentando a viscosidade do produto e, em consequência, seu peso molecular (LUVIELMO; SCAMPARINI, 2009).

O uso do cloreto de sódio ao coagulante foi para aumentar a conservação do coagulante devido sua função de diminuir a atividade de água e diminuir a umidade dos produtos (GARCIA et al., 2013).

O carbonato de cálcio foi utilizado na formulação devido sua propriedade alcalina, que pode melhorar a alcalinização farelo **MDMX4** no processo de tratamento de água (FEITOSA et al., 2017).

4.3.6 Farelo **MD1** carbonizado

Foram separados 5 g de amostra do farelo **MD1** e levado à estufa a 160 C° por 6 horas e sendo armazenado em frasco esterilizado em temperatura ambiente. A amostra foi denominada como **MDC5**.

4.4 Coleta de água bruta

A água utilizada para realização do teste de coagulação com o coagulante à base de semente de *Moringa oleifera* foi a do Rio do Campo, localizada na Cidade de Campo Mourão, no Estado do Paraná.

4.5 Ensaio de coagulação por agitação mecânica com os coagulantes desenvolvidos

O ensaio de coagulação foi realizado em triplicata em um aparelho de *Jar Test* JT303M da marca MILAN.

Foram separados 0,4 g de amostras dos coagulantes desenvolvidos **MB0**, **MD1**, **MDM2**, **MDM3**, **MDMX4** e **MDC5**, e colocado cada amostra em um respectivo sachê comum utilizado para chás.

Foram realizadas análises de turbidez, pH e de matéria orgânica presente utilizando a espectrometria UV 254 nm da água bruta do Rio do Campo, para determinar seu grau de contaminação.

A cada jarro do aparelho de *Jar Test* foram adicionados 2 litros de água bruta junto com um sachê contendo uma amostra dos respectivos coagulantes desenvolvidos. Os agitadores do aparelho de *Jar Test* foram configurados para que sua primeira etapa de agitação ocorresse na velocidade de 180 rpm, por 1 minuto. Sua segunda etapa foi com agitação de 80 rpm, por 5 minutos. E sua terceira etapa agitação de 40 rpm, por 15 minutos. Após, foi deixado as amostras sedimentarem dentro dos jarros.

Em seguida foi realizada análise de turbidez das águas tratadas com os coagulantes desenvolvidos nos tempos TS (tempo de sedimentação em minuto) 0, 30,

60, 120, 150 e 180 para avaliar a taxa de eficiência de remoção de turbidez de cada coagulante desenvolvido.

Também foram realizadas análise de pH das amostras tratadas no tempo TS0 e realizado análise de UV254 no tempo TS180.

A análise de UV 254 nm é realizada para determinar a quantidade de compostos orgânicos presentes nas amostras de água. Muitos compostos orgânicos apresentam capacidade de absorver luz ultravioleta, sendo que quando menor for o resultado da absorbância de UV 254 nm, menor será a quantidade de matéria orgânica na água (LAGE FILHO; ANDRADE JUNIOR, 2007).

4.6 Análise estatística- comparação de eficiência da remoção de turbidez das águas tratadas com os coagulantes desenvolvidos

Foi realizada análise estatística no *software* R Studio 2018 para avaliar a eficiência na remoção de turbidez de cada coagulante desenvolvido. O teste estatístico utilizado foi o não paramétrico de Kruskal-Wallis com teste de Dunn a *posteriori*, com nível de significância de 5%.

4.7 Análise de composição centesimal de MB0, MDM3 e MDMX4

Foram realizadas análises de carboidrato total, lipídios totais, proteínas totais, resíduos minerais fixos e teor de umidade para comparar a composição de nutrientes presentes nos coagulantes **MB0**, **MDM3** e **MDMX4**.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Análises Bromatológicas da Universidade Estadual de Maringá e seguiram a metodologia de acordo com a Association of Official Analytical Chemists - AOAC de 1995.

O teor de umidade é determinado pelo método gravimétrico, 100 g das amostras de **MB0**, **MDM3** e **MDMX4** foram submetidos à aquecimento de 105° C até atingir massa constante (AOAC, 1995).

Para proteínas e lipídios os procedimentos são o método de Kjeldahl e o método de Soxhlet, respectivamente. Para análise de resíduos minerais fixos as amostras foram submetidas à aquecimento em mufla a 550°C até sua carbonização. E os

carboidratos foram determinados pela diferença dos valores encontrados para umidade, proteínas, lipídios e resíduos minerais fixos (AOAC, 1995).

4.8 Ensaio de coagulação com MDM3 e MDMX4 com diferentes índices de turbidez da água sintética

Foi preparado água sintética com turbidez de 1000 NTU. Para o preparo desta água foram coletadas amostras de terra as margens do Rio do Campo e colocado 10 g em liquidificador com 1000 mL de amostra de água bruta do Rio do Campo e foram misturados. Logo após, foi filtrado com um pano de algodão para reter os flocos de terra e a parte aquosa foi colocada em provetas de 1000 mL.

Para a realização do ensaio de *Jar Test* a cada jarro de 2000 mL foi adicionado uma proporção de 1:18, 1:9 e 1:5 respectivamente de água sintética como água bruta do Rio do Campo.

Na sequência foram realizadas análises de pH, turbidez e UV 254 nm dessas amostras de água e colocadas no aparelho de *Jar Test* com diferentes concentrações dos coagulantes **MDM3** e **MDMX4** em sachês.

Após o tratamento de água das amostras, foram realizadas análises de pH, análises de turbidez no tempo TS0, TS60, TS120 e TS180 e realizado análise de UV 254 nm após 180 minutos de sedimentação.

4.9 Análise bacteriológica pelo método *petrifilm*

A análise bacteriológica pelo método *petrifilm* apresenta um cartão com meio de cultura pronto contendo meio Vermelho Violeta Bile (VRB), agente gelificante solúvel em água fria e um indicador de glicuronidásica. Esse método é utilizado para contagem de *Escherichia coli* e coliformes, uma vez que as bactérias do grupo *Escherichia coli* produzem beta-glicuronidásida (CIROLINI et al., 2014).

As bactérias do grupo *Escherichia coli* e coliformes, são as bactérias indicadoras para análises de presença e ausência de microrganismos patógenos em amostras de água, conforme publicado na Portaria Consolidada nº5 do Ministério da Saúde, 2017.

As amostras de água tratadas com os coagulantes **MDM3** e **MDMX4** foram adicionadas nas placas de *petrifilm* e incubadas em estufa a 35°C por 48 horas conforme o método oficial AOAC 991.14, de 1991.

4.10 Preparação de solução com MB0 e MDMX4

Para o preparo da solução coagulante aquosa bruta de *Moringa oleifera*, foram adicionados 2 g do farelo **MB0** com 100 mL de água deionizada e misturados no liquidificador. Em seguida foi deixado em repouso por 24 horas e depois filtrado à vácuo e a solução armazenada, conforme a metodologia de Lima (2015). A solução foi denominada **WSMB0**.

Foi repetido os procedimentos de preparação da solução anterior, substituindo a água deionizada por solução salina 1M. A solução foi denominada **SSMB0** e foi preparada para comparar a eficiência das duas proteínas coagulantes presentes na semente de *Moringa oleifera* a WSMoL, extraído por solução aquosa e presente na solução **WSMB0**, e a SSMoL extraída em solução salina e presente na solução **SSMB0**.

Em seguida foi preparado uma solução coagulante com o farelo **MDMX4** e solução salina 1M utilizando o mesmo processo de preparo por LIMA (2015), e a solução coagulante foi denominada **SSMDMX4**, para avaliar se o farelo **MDMX4** mantinham suas propriedades coagulantes na forma de solução.

4.11 Comparação de eficiência das soluções com MB0 e MDMX4 nos ensaios de coagulação por agitação mecânica

Foi realizado ensaio de coagulação com as soluções coagulantes desenvolvidas anteriormente utilizando água bruta do Rio do Campo com diferentes níveis de turbidez.

Após o ensaio, foram realizadas análises de turbidez no tempo TS180 e UV254 e foi comparada a eficiência das soluções desenvolvidas.

4.12 Tratamento de água por ebulição utilizando os coagulantes MB0, MDM2, MDM3 e MDMX4

Utilizando a água coletada do Rio do Campo foram adicionadas amostras de água bruta em frascos de *erlenmeyer* contendo amostras dos coagulantes **MB0, MDM2, MDM3 e MDMX4** e colocados em uma chapa aquecedora.

Quando as amostras atingiram a temperatura de ebulição $>100^{\circ}\text{C}$, foram deixadas por mais 10 minutos antes de serem retiradas da chapa aquecedora. Os sachês contendo os coagulantes foram retirados e as amostras deixadas em repouso em temperatura ambiente para sedimentação e resfriamento por 1 hora. Depois foram realizadas análises de turbidez e UV 254 nm nas amostras tratadas.

4.13 Determinação de nitrogênio amoniacal nas amostras de águas tratadas com os coagulantes MDM2 e MDMX4

Foram realizadas análises de presença de nitrogênio da água bruta e comparada com amostras de água tratada com o coagulante **MDM2**, por processo de ebulição, e com amostra de água tratada com **MDMX4**, realizada em aparelho de ensaio de coagulação.

O nitrogênio é um dos principais componentes presentes nas proteínas, constituída na forma de aminoácidos e compostos nitrogenados. A determinação de nitrogênio quantifica o teor de proteínas presentes em uma amostra (ARAUJO, 2019).

O método Kjeldahl é empregado para determinação de nitrogênio e conteúdo proteico, consistindo em digerir a amostra com ácido sulfúrico, transformando o nitrogênio em amônia. Esta amônia é alcalinizada com hidróxido de sódio e destilada por ácido bórico e em seguida titulada com ácido padronizado (ARAUJO, 2019).

Na pesquisa foi realizada a análise de nitrogênio amoniacal para determinar se o tratamento com os coagulantes desenvolvidos deixa resíduos de proteínas na água que foi tratada.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises Ambientais e Agronômicas - Acqua Sollus, localizada na cidade de Campo Mourão e a metodologia

foi de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* de 2012.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultado da extração do óleo da semente de *Moringa oleifera*

Azevedo (2013) menciona que da composição da massa da semente de *Moringa oleifera*, aproximadamente 40% é composta por óleo vegetal. Nas três extrações do óleo da semente realizada em banho ultrassônico foram extraídos respectivamente 2,04 g, 1,99 g e 2,01 de óleo das sementes. Considerando que nas 20 g de sementes utilizadas em cada extração aproximadamente 8 g deveria ser de óleo, o teor de extração foi respectivamente 25,5%, 24,87% e 25,12%. Resultados ficaram abaixo do encontrado por Silva et al. (2014) que obteve uma extração 32,56%.

5.2 Preparação de agentes coagulantes com farelo da semente de *Moringa oleifera*

5.2.1 Coagulante **MB0**

A semente bruta triturada apresentou grãos finos e macios de coloração amarelada conforme Figura 1.

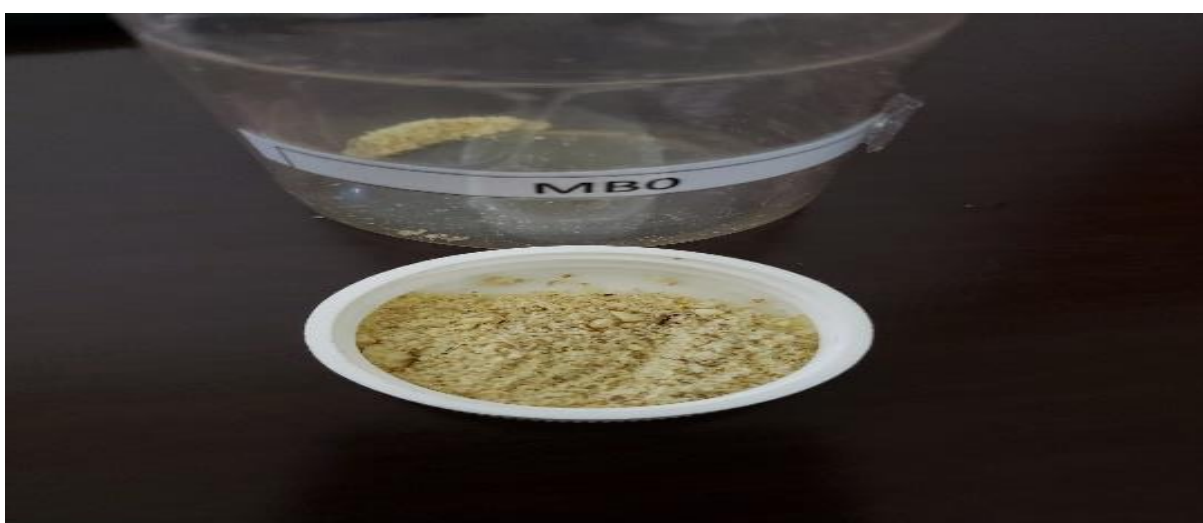


Figura 1 - Farelo **MB0**. Fonte: Autoria Própria, 2019.

5.2.2 Coagulante **MD1**

Após as sementes passarem pelo processo de extração do óleo, apresentaram coloração branqueada e seus grãos eram finos e macios de acordo com a Figura 2.



Figura 2 - Farelo **MD1**. Fonte: Autoria Própria, 2019.

5.2.3 Coagulante **MDM2**

Após ser desidratada em estufa a 120°C por 6 horas as sementes trituradas apresentaram uma coloração mais amarelada, a amostra chegou a entrar em processo de reação de *Maillard* mas não atingiu a 3ª etapa completamente onde ocorre a formação de melanoidinas e o escurecimento da amostra apresentada na Figura 3 (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2013; FRANCISQUINI et al., 2017).



Figura 3 - Farelo **MDM2**. Fonte: Autoria Própria, 2019.

5.2.4 Coagulante **MDM3**

O coagulante **MDM3** também passou por desidratação por estufa a 120°C, porém diferente do **MDM2**, foi umedecido previamente com água destilada para extração e desnaturação de compostos termo sensíveis presentes na semente, como a lectina WMoL. A adição da água às sementes intensificou a formação da Base de Schif, fazendo com que a amostra entrasse nas 3 etapas da reação de *Maillard* formando melanoidinas, após a desidratação de 6 horas, apresentando grãos com coloração escura e estrutura física na superfície mais rígida, conforme o que se apresenta na Figura 4 (FRANCISQUINI et al., 2017).



Figura 4 - Farelo **MDM3**. Fonte: Autoria Própria, 2019.

5.2.5 Coagulante **MDMX4**

Após passar pelo processo do **MDM3** foram adicionados 6% de mistura de goma guar e goma xantana, 2% de NaCl e 2% de carbonato de cálcio. Devido à coloração branca das gomas e dos sais, a coloração dos grãos foi levemente clarificada mas também apresentou grãos finos e rígidos, demonstrado na Figura 5.



Figura 5 - Farelo **MDMX4**. Fonte: Aatoria Própria, 2019.

5.2.6 Coagulante **MDC5**

Estas sementes umedecidas passaram por estufa à temperatura de 160 °C por 6 horas e sofreram processo de carbonização. Seus grãos foram carbonizados, demonstrado na Figura 6.



Figura 6 - Farelo **MDC5**. Fonte: Aatoria Própria, 2019.

5.3 Ensaio de coagulação por agitação mecânica com os coagulantes desenvolvidos

Os ensaios de coagulação com os farelos da semente de *Moringa oleifera* estão apresentados nas Figuras 7, 8, 9, 10, 11 e 12.



Figura 7 - Ensaio de coagulação MB0 e MD1. Fonte: Autoria Própria, 2019.



Figura 8 - Superfícies MB0 e MD1. Fonte: Autoria Própria, 2019.



Figura 9 - Ensaio de coagulação MDM2 e MDM3. Fonte: Autoria Própria, 2019.



Figura 10 - Superfície MDM2 e MDM3.. Fonte: Autoria Própria, 2019.

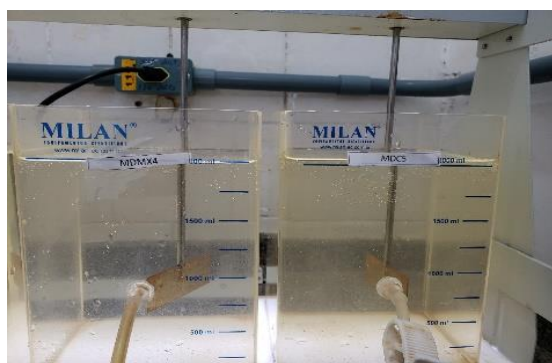


Figura 11 - Ensaio de Coagulação MDMX4 e MDC5. Fonte: Autoria Própria, 2019.



Figura 12 - Superfície MDMX4 e MDC5.. Fonte: Autoria Própria, 2019.

Após o ensaio de coagulação, os sachês foram retirados e a água tratada com os coagulantes foi deixada em repouso para sedimentar os flocos formados.

As Figuras 7, 8, 9, e 10 mostram que os coagulantes **MB0**, **MD1** e **MDM2**, além de adicionarem um pouco de cor à água, formaram uma espuma em sua superfície. Isto se deve à presença de saponinas na composição da semente (CADEAU, 2017).

Saponinas são glicosídeos de esteroides ou de terpenos policíclicos, têm estrutura anfílica possuindo características tanto lipofílicas e como hidrofílicas, razão esta que determina sua propriedade de redução de tensão superficial da água e suas ações detergentes e emulsificantes (CASTEJON, 2011). As saponinas apresentam alta solubilidade em água e formação de espuma devido ter em suas características componentes com diferentes polaridades (BARTHUS et al., 2011).

As Figuras 9, 10 e 11 demonstram que em **MDM3**, **MDMX4** e **MDC5** não houve esta formação de espuma, indicando que a umidificação das sementes para melhor extrair os compostos termo sensíveis, extraiu a saponina das amostras mencionadas não causando interferência no tratamento de água quanto dos outros coagulantes (GHEBREMICHAEL et al., 2005; BARTHUS et al., 2011).

As Figuras 9, 10, 11 e 12, demonstram que os coagulantes **MDM2**, **MDM3** e **MDMX4**, mesmo após passar por processo de desidratação, reação de *Maillard* e, conseqüentemente, desnaturar alguns compostos orgânicos, não desnaturou a proteína coagulante lectina SSMoL o que vai de acordo com a pesquisa de Santos (2007) sobre a termo-tolerância dessa proteína.

O coagulante **MDC5** não apresentou processo de coagulação e floculação, indicando que a lectina SSMoL sofre processo de desnaturação a temperaturas maiores que 160°C. Perdas de função de proteína são esperadas em processos de tratamento térmico, como o farelo **MDC5** que chegou à carbonização, conforme mencionado por Cavalcanti (2010) e Costa (2014).

Os resultados das análises de pH, turbidez e UV 254 nm estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 2 1º Resultado - Comparação de remoção da turbidez, matéria orgânica UV 254 nm e estabilidade do pH das amostras de água tratadas com os coagulantes desenvolvidos

Água Bruta	pH: 6,85	Turbidez: 24,2 NTU			UV254: 0,137 NM	
Coagulante	MB0	MD1	MDM2	MDM3	MDMX4	MDC5
pH	7,00	7,02	7,02	6,93	6,99	6,82
Turbidez TS0	32,6	34,2	33,0	15,9	16,80	15,00
Turbidez TS30	35,50	34,70	32,80	13,40	9,03	14,90
Turbidez TS60	29,60	34,20	34,50	11,80	8,11	15,10
Turbidez TS90	28,40	34,00	33,70	10,70	6,85	15,10
Turbidez TS120	28,00	31,20	31,60	8,60	5,59	15,2
Turbidez TS150	28,00	31,00	31,4	6,92	4,82	15,00
Turbidez TS180	28,00	30,90	30,80	6,70	4,23	14,90
UV 254 TS180	0,266	0,360	0,306	0,200	0,093	0,280

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 3 2º Resultado - Comparação de remoção da turbidez, matéria orgânica UV 254 nm e estabilidade do pH das amostras de água tratadas com os coagulantes desenvolvidos

Água Bruta	pH: 6,85	Turbidez: 19,20 NTU			UV254: 0,077	
Coagulante	MB0	MD1	MDM2	MDM3	MDMX4	MDC5
pH	6,97	7,00	6,98	6,95	6,97	6,90
Turbidez TS0	20,90	26,20	19,30	13,30	16,80	15,80
Turbidez TS30	21,70	29,60	20,30	12,10	11,70	16,00
Turbidez TS60	22,30	27,80	19,60	9,07	8,15	15,40
Turbidez TS 90	20,30	28,00	18,20	8,09	6,35	15,30
Turbidez TS120	20,00	28,00	17,50	7,50	5,30	16,10
Turbidez TS150	19,20	27,50	15,10	5,63	4,73	16,10
Turbidez TS180	19,00	27,00	15,00	5,60	4,43	14,20
UV 254 TS180	0,210	0,219	0,104	0,174	0,058	0,240

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 4 3º Resultado - Comparação de remoção da turbidez, matéria orgânica UV 254 nm e estabilidade do pH das amostras de água tratadas com os coagulantes desenvolvidos

Água Bruta	pH: 6,81	Turbidez: 19,40 NTU			UV254: 0,140	
Coagulante	MB0	MD1	MDM2	MDM3	MDMX4	MDC5
pH	6,92	6,97	6,95	6,94	6,94	6,91
Turbidez TS0	34,00	33,10	33,70	15,00	15,40	14,90
Turbidez TS30	29,60	33,10	27,20	13,80	13,30	15,00
Turbidez TS60	26,30	37,60	26,80	10,40	10,80	15,20
Turbidez TS 90	27,60	36,20	22,50	8,80	8,01	14,20
Turbidez TS120	24,20	35,30	18,60	7,46	7,07	15,20
Turbidez TS150	25,20	34,50	18,00	6,53	5,60	15,20
Turbidez TS180	22,50	31,80	15,50	5,14	4,90	13,80
UV 254 TS180	0,270	0,220	0,140	0,153	0,119	0,198

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Nas Tabelas 2, 3 e 4 estão apresentadas as velocidades de sedimentação e remoção da turbidez. Tanto **MDM3**, como **MDMX4**, já apresentam diminuição da turbidez em relação à água bruta no tempo 0 de sedimentação, o que vai de acordo com os apresentados nas Figuras 8, 9, 10, 11, 12 e 13, em que demonstram que esses 2 coagulantes não conferiram cor à água. Já no caso de **MDC5**, que também apresentou turbidez menor que da água bruta, pode ter sido causado pela absorção de impurezas pelo sachê. No caso de **MB0**, **MD1**, **MDM2**, todos conferiram cor à água mesmo ocorrendo formação de flocos, fato esse responsável pela turbidez inicial maior que da água bruta.

Conforme aumentava o tempo de sedimentação a turbidez diminuía em todos os coagulantes tratados, exceto no **MDC5**, em que a turbidez não se alterou ao não apresentar ação coagulante, devido a desnaturação da proteína coagulante. As análises de remoção de turbidez dos outros coagulantes vão de acordo com a literatura consultada sobre o potencial da semente de *Moringa oleifera* (MENDES; COELHO, 2007; RIBEIRO, 2010; LIMA, 2015).

Os coagulantes **MDM3** e **MDMX4** apresentaram velocidade de sedimentação dos flocos superior aos outros devido eles terem passado por processo de reação de *Maillard* formaram flocos com maior peso contribuindo para o aumento da velocidade de sedimentação (FRANCISQUINI et al., 2017)

O coagulante **MDMX4** no tempo TS180 apresentou turbidez < 5 NTU ficando dentro do padrão de turbidez que a água potável deve chegar nas residências de acordo com a Portaria Consolidada nº 5 do Ministério da Saúde de 2017. Demonstrando que a combinação de reação de *Maillard* com a adição de gomas guar e xantana proporciona uma velocidade de sedimentação superior ao do **MDM3** que só passou pela reação de *Maillard*.

Scariotto (2013) encontrou resultados de aumento de velocidade de sedimentação em seu trabalho utilizando goma xantana como auxiliar de floculação em ensaio de coagulação. Obteve resultado de separação dos flocos da água por sedimentação de 99,7% em 15 minutos, enquanto sem a goma o resultado foi de 97,5% em 60 minutos.

As análises de pH confirmam que esses coagulantes não interferem significativamente no pH ocorrendo apenas um leve aumento no pH das águas tratadas com os coagulantes, de acordo com o descrito por LIMA (2015).

As análises de UV 254 nm, embora não sejam análises exigidas pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde e não se tenham muitos dados na literatura de análises de água antes da etapa de filtração, as águas tratadas com os coagulantes que passaram pela desidratação em estufa a 120 C°, apresentaram o menor índice de matéria orgânica no UV 254 nm em destaque para o **MDMX4**, que apresentou índice menor que das água brutas (LAGE FILHO; ANDRADE JUNIOR, 2007).

No caso da comparação entre os coagulantes **MDM2** e o **MDM3** no que se refere ao UV254 nm, o primeiro apresentou resultados menores que o segundo, o que pode indicar que o **MDM3** por ter sofrido reação de *Maillard* e apresentar maiores quantidades de açúcares redutores (FRANCISQUINI et al, 2017).

O **MDMX4**, mesmo possuindo mais carboidratos que os outros coagulantes devido à presença das gomas guar e xantana que apresentam diluição em água, apresentou o UV 254 nm menor, indicando que todo o residual de goma foi utilizado na formação dos flocos que foram separados da água (LUVIELMO; SCAMPARINI, 2009).

5.4 Resultado da análise estatística

Foi utilizado a análise estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis com teste de Dunn, devido os resultados das análises de turbidez das Tabelas 2, 3 e 4 não possuírem normalidade. Os resultados da análise estatística Tabela 5 demonstraram quais dos coagulantes apresentaram resultado de turbidez estatisticamente diferente da turbidez da água bruta. O coagulante **MD1**, que apenas foi extraído o óleo da semente apresentou resultado de turbidez maior que da água bruta no tempo TS30. Já o coagulante **MDMX4**, que passou por todos os processos industriais desse trabalho apresentou resultado de turbidez estatisticamente menor que da água bruta nos tempos TS90, TS120, TS150 e TS180. O coagulante **MDM3**, que apenas não passou pelo processo de mistura de gomas, apresentou resultado menor apenas no tempo TS180. Os resultados estatísticos confirmam os testes anteriores que demonstraram a eficiência dos coagulantes **MDM3** e **MDMX4** no tratamento de água em relação ao coagulante **MB0** que é feito com as sementes brutas.

Devido a esses resultados preliminares dos coagulantes **MDM3** e **MDMX4**, foram dados continuidade para análise de ensaio de coagulação em diferentes tipos de turbidez da água bruta. Além de se realizar a análise de composição centesimal para comparar os componentes presentes entre **MB0**, **MDM3** e **MDMX4**.

Tabela 5 Análise estatística eficiência dos coagulantes na remoção da turbidez da água bruta

	MB0	MD1	MDM2	MDM3	MDMX4	MDC5	Bruta
TS0	29.16±7.19cdA	31.16±4.34dA	28.66±8.12bcdA	14.73±1.38abD	16.33±0.81abcd	15.23±0.49aA	20.93±2.83abcdA
TS30	28.93±6.92cdA	32.46±2.61dA	26.76±0.89bcdA	13.10±0.89abCD	11.34±2.16aCD	15.30±0.61abA	20.93±2.83abcA
TS60	26.06±3.66bcA	33.20±4.98cA	26.96±1.37cA	10.42±1.37abBCD	9.02±1.54aBCD	15.23±0.15abA	20.93±2.83abcA
TS90	25.43±4.46cdA	32.73±4.24dA	24.80±1.35bcdA	9.19±1.35abABCD	7.07±0.85aABCD	14.86±0.59abcA	20.93±2.83bcdA
TS120	24.06±4.00cdA	31.50±3.66dA	22.56±0.65bcdA	7.85±0.65abABC	5.98±0.95aABC	15.50±0.52abcA	20.93±2.83bcdA
TS150	24.13±4.50cdA	31.00±3.50dA	21.50±0.65bcdA	6.35±0.65abAB	5.05±0.48aAB	15.43±0.59abcA	20.93±2.83bcdA
TS180	23.16±4.54cdA	29.90±2.55dA	20.43±0.80bcdA	5.81±0.80aba	4.52±0.34aA	14.30±0.56abcA	20.93±2.83bcdA

Letras maiúsculas são estatisticamente diferentes entre si nas linhas (Dunn a p <0,05), letras minúsculas são estatisticamente diferentes entre si nas colunas (Dunn a p <0,05). Negrito, diferem da bruta.

Fonte: Autoria Própria, 2019.

5.5 Resultado da análise de composição centesimal

As análises de composição centesimal da Tabela 6 demonstram que na composição das sementes de *Moringa oleifera* bruta mais de 40% é composto de proteínas e que mais de 30% é composto de lipídios. O processo de extração de óleo por ultrassom se mostrou capaz de remover o óleo das sementes, embora o resultado do processo de extração do **MDM3** e do **MDMX4** tenham se mostrado diferente na extração.

Tabela 6 Análise centesimal para comparação entre **MB0**, **MDM3** e **MDMX4**

Análises físico-químicas	MB0	MDM3	MDMX4
Carboidratos totais (% , g/100g)	12,73	20,89	59,80
Lipídios (% , g/100g)	34,52	30,11	25,59
Proteínas Totais (% , g/100g)	42,33	38,86	9,02
Resíduos Minerais Fixos (% , g/100g)	3,64	6,36	4,20
Umidade (% , g/100g)	6,78	3,78	1,29

Fonte: Autoria Própria, 2019.

O resultado da extração de lipídios por composição centesimal do **MDMX4** mostra um teor de extração de 25,86% do óleo total presente nas sementes. O resultado do **MDM3** que apresentou taxa de remoção de 12,77%.

O processo de desidratação e reação de *Maillard* mostrou-se capaz de remover a umidade da semente, bem como diminuir o teor de proteínas totais das sementes, conforme mencionado por Food Ingredients Brasil (2013), Costa (2014) e Fransquini et al (2017). Novamente houve uma diferença significativa entre o **MDM3** com o **MDMX4**, sendo que o primeiro apresentou teor de remoção de 8,20% das proteínas presentes na semente de *Moringa oleifera* bruta, enquanto o segundo apresentou teor de remoção de 78,70%.

O resultado do **MDMX4** na diminuição do teor de umidade demonstra a eficiência do cloreto de sódio na diminuição da atividade de água (GARCIA et al., 2013). No caso dos carboidratos, houve aumento significativo nos coagulantes que sofrerem processo de reação de *Maillard*. Isto é explicado devido a esse processo aumentar a quantidade de açúcares redutores (COSTA, 2014; FRANCISQUINI et al., 2017). No

caso do **MDMX4**, o aumento em mais de 50% é devido à presença das gomas polissacarídeas (LUVIELMO; SCAMPARINI, 2009).

Para determinar se no processo de desidratação e reação de *Maillard* houve perda da proteína específica, a lectina SSMoL, seria necessário realizar análise de proteína específica.

5.6 Resultado dos ensaios de coagulação por agitação mecânica com **MDM3** e **MDMX4** e diferentes níveis de turbidez das amostras de água sintéticas

Para realização deste teste, foi necessário preparar água sintética para aumentar a turbidez das amostras que seriam tratadas pelos coagulantes **MDM3** e **MDMX4**. Ao final do preparo das águas sintéticas a turbidez das amostras apresentava respectivamente 81,60, 220,00 e 735,00 NTU. Para realizar o tratamento com os coagulantes **MDM3** e **MDMX4** foram colocadas nos sachês a quantidade de 0,8g, 1,5g e 2,5g respectivamente.

As Tabelas 7, 8 e 9 demonstram os resultados da remoção de turbidez das amostras de água sintética, tratadas com os coagulantes **MDM3** e **MDMX4**. Mesmo a água sintética apresentando turbidez elevada, os dois coagulantes foram capazes de diminuir a turbidez das amostras tratadas, conforme descrito nas literaturas consultadas (AKTHAR et al., 2007; BORBA, 2011; OLIVEIRA et al., 2011).

Tabela 7 1º Resultado - comparação entre os coagulantes **MDM3** e **MDMX4** no tratamento de água sintética

Água sintética pH: 6,81 Turbidez: 81,60 NTU UV254: 0,229			
Coagulante	0,8g MDM3	0,8g MDMX4	
pH	6,99	6,82	
Turbidez TS0	81,8	59,3	
Turbidez TS60	35,7	9,65	
Turbidez TS120	15,8	6,50	
Turbidez TS180	8,68	5,39	
UV 254 TS180	0,233	0,134	

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 8 2º Resultado - comparação entre os coagulantes **MDM3** e **MDMX4** no tratamento de água sintética

Água sintética	pH: 6,81	Turbidez: 222 NTU	UV254: 0,449
Coagulante	1,5g MDM3	1,5g MDMX4	
pH	6,99	6,82	
Turbidez TS0	245	144	
Turbidez TS60	30,3	20,0	
Turbidez TS120	8,09	7,28	
Turbidez TS180	6,02	5,05	
UV 254 TS180	0,297	0,162	

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 9 3º Resultado - comparação entre os coagulantes **MDM3** e **MDMX4** no tratamento de água sintética

Água sintética	pH: 6,81	Turbidez: 735 NTU	UV254: 0,762
Coagulante	2,5g MDM3	2,5g MDMX4	
pH	6,99	6,82	
Turbidez TS0	1000	590	
Turbidez TS60	57,4	38,3	
Turbidez TS120	21,6	14,5	
Turbidez TS180	10,5	6,50	
UV 254 TS180	0,171	0,043	

Fonte: Autoria Própria, 2019.

A velocidade da remoção de turbidez do coagulante **MDMX4** foi superior ao coagulante **MDM3**, resultado já esperado devido a presença das gomas guar e xantana na formulação do **MDMX4**, já que estas gomas aumentam a densidade dos flocos formados nos processos de coagulação e floculação, o que aumenta a velocidade de sedimentação dos flocos removendo em menor tempo a turbidez da água em tratamento (SCARIOTTO, 2013).

Quanto à remoção de matéria orgânica UV 254 nm, as Tabelas 7, 8 e 9 demonstram que os coagulantes **MDM3** e **MDMX4** foram capazes de remover parte da matéria orgânica presentes na água sintética com turbidez elevada. Sendo que o

coagulante **MDMX4** demonstrou mais eficiência na remoção da matéria orgânica em relação ao **MDM3**, por apresentar resultados menores de UV 254 nm.

5.7 Resultados das análises bacteriológicas

Utilizando das amostras da água sintética do teste anterior foi realizado análise bacteriologia pelo método petrifilm, as Tabelas 10, 11 e 12 mostram o resultado das análises.

Tabela 10 1º Resultado - análise bacteriológica das amostras de água tratadas com os coagulantes **MDM3** e **MDMX4**

Água sintética EC: 0 CT: 40		
Coagulante	0,4g MDMX4	0,4g MDM3
EC	-	-
CT	2	2

Fonte: Autoria Própria, 2019.

EC- *Escherichia coli*. CT- Coliformes Totais.

Tabela 11 2º Resultado - análise bacteriológica das amostras de água tratadas com os coagulantes **MDM3** e **MDMX4**

Água sintética Turbidez: 200,00 NTU UV254: 0,480 EC: 0 CT: 73			
Coagulante	1,0g MDMX4	1,0g MDM3	
EC	0	0	
CT	0	0	

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 12 3º Resultado - análise bacteriológica das amostras de água tratadas com os coagulantes **MDM3** e **MDMX4**

Água sintética Turbidez: 450,00 NTU UV254: 0,750 EC: 0 CT: 115			
Coagulante	1,0g MDMX4	1,0g MDM3	
EC	0	0	
CT	0	0	

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os resultados das análises das Tabelas 10, 11 e 12 vão de acordo com o encontrado por Myubi e Evison (1995) e Ribeiro (2010) removendo mais de 90% das bactérias presentes na água. E demonstram que o potencial para remover os microrganismos patogênicos da água encontra-se nas proteínas coagulante lectina SSMoL (OKUDA et al., 2001; SANTOS, 2007).

5.8 Resultado da Comparação de Eficiência das Soluções Coagulantes SSMB0, WSMB0 e SSMDMX4 no tratamento de água

Para realização deste teste ensaio de coagulação em *Jar Test* as amostras de água bruta foram colocadas respectivamente a quantidade de 2,0 mL, 5,0 mL e 10,0 mL das soluções coagulantes de **SSMDMX4**, **WSMB0** e **SSMB0**. As Tabelas 13, 14 e 15 demonstram o resultado do tratamento com estes coagulantes.

Tabela 13 Remoção de turbidez e matéria orgânica UV 254 nm das amostras de água tratada com a solução coagulante **SSMDMX4**

Água bruta	Turbidez: 20,00 NTU	UV254: 0,074 nm
Coagulante	2,5mL SSMDMX4	
Turbidez TS180	3,67	
UV 254 TS180	0,054	
Água bruta	Turbidez: 526,00 NTU	UV254: 0,875 nm
Coagulante	10,0 mL SSMDMX4	
Turbidez TS180	6,81	
UV 254 TS180	0,062	
Água bruta	Turbidez: 245,00 NTU	UV254: 0,519 nm
Coagulante	5,0 mL SSMDMX4	
Turbidez TS180	10,00	
UV 254 TS180	0,060	

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Os resultados das análises da Tabela 13 com **SSMDMX4** demonstraram que a solução tem potencial de coagulação parecido ao do farelo **MDMX4**. Os trabalhos de Valverde et al. (2013) e Lima (2015) também demonstraram potencial de coagulação utilizando solução aquosa e salina com as sementes de *Moringa oleifera* em diferentes níveis de turbidez da água bruta.

A Tabela 14 apresenta os resultados de remoção de turbidez entre as soluções coagulantes **SSMDMX4** e **WSMB0**.

Tabela 14 Comparação de remoção de turbidez e matéria orgânica UV 254 nm das amostras de água tratadas com as soluções coagulantes **SSMDMX4** e **WSMB0**

Água bruta	Turbidez: 20,00 NTU	UV254: 0,106 nm
Coagulante	2,0mL SSMDMX4	2,0mL WSMB0
Turbidez TS 180	3,41	79,30
UV 254 TS 180	0,015	-
Água bruta	Turbidez: 85,20 NTU	UV254: 0,397 nm
Coagulante	5,0 mL SSMDMX4	5,0mL WSMB0
Turbidez TS 180	5,47	79,30
UV 254 TS180	0,024	-
Água bruta	Turbidez: 236,00 NTU	UV254: 0,484 nm
Coagulante	10,0 mL SSMDMX4	10,0 mL WSMB0
Turbidez TS180	7,96	86,10
UV254 TS180	0,017	-

Fonte: Autoria Própria, 2019.

O resultado demonstra que solução coagulante **WSMB0** que embora tenha formado flocos nos processos de coagulação e floculação, esses flocos apresentaram baixa velocidade de sedimentação dos flocos, tornando sua remoção de turbidez menos eficiente que a da solução **SSMDMX4**. Resultado este esperado já que o coagulante **WSMB0** é uma solução aquosa que extrai a proteína coagulante WSMoL, que apresenta peso molecular menor que a proteína coagulante SSMoL (SANTOS, 2007).

A Tabela 15 demonstra a comparação de tratamento entre **SSDMDX4** e **SSMB0**.

Tabela 15 Comparação de remoção de turbidez e matéria orgânica UV 254 nm das amostras de água tratadas com as soluções coagulantes **SSMDMX4** e **SSMB0**

Água bruta	Turbidez: 22,10 NTU	UV254: 0,124 nm
Coagulante	2,0mL SSMDMX4	2,0mL SSMB0
Turbidez TS180	8,80	4,91
UV254 TS180	0,086	0,051
Água bruta	Turbidez: 90,60 NTU	UV254: 0,254 nm
Coagulante	5,0 mL SSMDMX4	5,0mL SSMB0
Turbidez TS180	3,44	4,43
UV254 TS180	0,048	0,069
Água bruta	Turbidez: 320,00 NTU	UV254: 0,652 nm
Coagulante	10,0 mL SSMDMX4	10,0 mL SSMB0
Turbidez TS180	8,59	11,00
UV254 TS180	0,035	0,048

Fonte: Autoria Própria, 2019.

O resultado da Tabela 15 demonstra que as soluções coagulantes **SSMDMX4** e **SSMB0**, apresentaram resultados na remoção de turbidez semelhantes, confirmando que a proteína coagulante SSMoL é mais eficiente no tratamento de água que a proteína WSMoL, já que essas duas soluções coagulantes, foram desenvolvidas com solução salina que extrai a SSMoL.

O resultado de remoção de matéria orgânica por UV254 nm demonstrados tanto na Tabela 13 como na Tabela 15, apresentam resultados de matéria orgânica menor que da água bruta, nas águas tratadas com as soluções **SSMDMX4** e **SSMB0**. Não foi realizado análise de UV 254 nm na amostra tratada com a solução **WSMB0** por não ter apresentado uma remoção de turbidez eficiente em comparação com as outras duas soluções.

5.9 Resultados do tratamento de água por ebulição

O tratamento de água por processo de ebulição e farelo de semente de *Moringa oleifera* é representado nas Figuras 13 e 14.



Figura 13 - Tratamento por Fervura. Fonte: Autoria Própria, 2019.



Figura 14 - Resfriando. Fonte: Autoria Própria, 2019.

Embora na literatura não tenham sido encontrados dados sobre ação de tratamento de água utilizando processo de ebulição com agentes coagulantes, o processo de tratamento térmico acima de 60°C em produtos de consumo humano inativa microrganismos patogênicos como *Escherichia coli* (BRANDÃO, 2011; RODRIGUES, 2014).

Porém, a ebulição não tem eficiência na remoção de turbidez e compostos químicos da água (CAVALLINI et al., 2018). As Figuras 13 e 14 demonstram que adição do farelo de sementes de *Moringa oleifera* no processo térmico de ebulição provocou o processo de coagulação separando os coloides da água bruta (PAVANELLI, 2003). Mesmo em processos térmicos, as proteínas coagulantes presentes nas sementes são capazes de causar a desestabilização das partículas coloidais presentes na água bruta e promover o processo de coagulação (ALVES, 2012; PAVANELLI, 2003).

Tabela 16 1º Resultado - Comparação de remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando os coagulantes **MDMX4** e **MDM3**

Água bruta	Turbidez: 18,90 NTU	UV254: 0,178
Coagulante	0,025g MDMX4	0,025g MDM3
Turbidez TS30	0,94	1,38
UV 254 TS30	0,231	0,277

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 17 2° Resultado - Comparação de remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando os coagulantes **MDMX4** e **MDM3**

Água bruta	Turbidez: 450,00 NTU	UV254: 0,721
Coagulante	0,025g MDMX4	0,025g MDM3
Turbidez TS30	4,45	7,39
UV 254 TS30	0,831	0,887

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os dados das Tabelas 16 e 17 confirmam o resultado do tratamento por ebulição com adição dos coagulantes **MDMX4** e **MDM3**. Por formarem flocos são capazes de remover a turbidez da água em mais de 90% da turbidez em um tempo de 30 minutos.

Em função do processo de ebulição de água atingir temperaturas acima de 100°C, não foi realizada análise bacteriológica, já que a inativação microbiana é realizada pela alta temperatura e independe da utilização do coagulante (FOGOLARI et al., 2012).

Os resultados também demonstram um aumento da matéria orgânica analisada por UV 254 nm tanto na amostra de água tratada com o coagulante **MDM3**, como no **MDMX4**. Este aumento pode ter acontecido devido a presença da maior quantidade de açúcares redutores presentes nestes coagulantes que passaram pelo processo de reação de *Maillard*, sendo que estes açúcares podem ter sido dissolvidos nas amostras de água tratadas por processo de ebulição. No caso do coagulante **MDMX4**, além dos açúcares redutores, a presença das gomas guar e xantana também podem ter sido dissolvidas nas amostras de água (LAGE FILHO; ANDRADE JUNIOR, 2007).

Para confirmação da influência dos açúcares redutores e das gomas no aumento da matéria orgânica nas amostras de água tratadas por ebulição. Foi realizado um novo tratamento de água por ebulição utilizando o coagulante **MDM2** que não passou por reação de *Maillard* e nem possui gomas na sua formulação. Os resultados da remoção de turbidez utilizando o coagulante **MDM2** estão demonstrados nas Tabelas 18, 19 e 20.

Tabela 18 1° Resultado - Remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando o coagulante **MDM2**

Água bruta	Turbidez: 20,00 NTU	UV254: 0,074
Coagulante	0,002 g MDM2	
Turbidez TS30	3,67	
UV254 TS30	0,060	

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 19 2° Resultado - Remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando o coagulante **MDM2**

Água bruta	Turbidez: 245 NTU	UV254: 0,519
Coagulante	0,050 g MDM2	
Turbidez TS30	2,65	
UV254 TS30	0,062	

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 20 3° Resultado - Remoção de turbidez e matéria orgânica UV254 nm das amostras de água tratados por processo de ebulição utilizando o coagulante **MDM2**

Água bruta	Turbidez: 526 NTU	UV254: 0,875
Coagulante	0,200 g MDM2	
Turbidez TS30	1,90	
UV254 TS30	0,054	

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os resultados das Tabelas 18, 19 e 20 mostram que o tratamento de água por ebulição utilizando o coagulante **MDM2**, foi capaz de remover a turbidez da água bruta, apresentado resultados de turbidez < 5 NTU, nas 3 amostras tratadas. O que confirma que no tratamento de água por ebulição o coagulante **MDM2** é tão eficiente quanto os coagulantes **MDM3** e **MDMX4**, no que se refere a remoção de turbidez. Já resultados de remoção de matéria orgânica UV 254 nm demonstram que houve redução da matéria orgânica nas amostras de água tratadas com o coagulante **MDM2** em relação a matéria orgânica da água bruta. Este resultado é um indicativo que os

açúcares redutores presentes no coagulante **MDM3** e, os açúcares redutores e gomas guar e xantana presentes no coagulante **MDMX4** acabam sendo dissolvidos nas amostra de água bruta tratadas por processo de ebulição e conseqüentemente aumentando a matéria orgânica analisada por UV 254 nm nessas amostras (LAGE FILHO; ANDRADE JUNIOR, 2007).

5.10 Resultado da Determinação de Nitrogênio Amoniacal nas Águas Tratadas com os Coagulantes **MDM2** e **MDMX4**

Os resultados das análises de nitrogênio amoniacal, para água bruta do rio do Campo e das águas tratadas com o coagulante **MDM2** por meio de fervura e com o coagulante **MDMX4** por agitação mecânica estão demonstrados na Tabela 20.

Tabela 21 Determinação de Nitrogênio Amoniacal das amostras de água tratadas com os coagulantes **MDM2** e **MDMX4**

Amostras	mg N- NH ₃ /L
Água bruta	< 0,10
MDM2	< 0,10
MDMX4	< 0,10

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Os resultados demonstram que a presença de nitrogênio amoniacal da água bruta do rio do campo é inferior a 0,10 mg/L e que tanto o tratamento por fervura feito com o coagulante **MDM2**, como o tratamento por agitação mecânica utilizando o coagulante **MDMX4**, também apresentaram resultados menores que 0,10 mg/L. Demonstrando que os dois coagulantes desenvolvidos não deixaram resíduos de proteínas ao final do tratamento.

O nitrogênio é um elemento presente em todas as proteínas, e quando estas degradam, são convertidas em nitrogênio amoniacal podendo ser encontrados na forma de íons amônio (NH₄⁺) ou amônia não ionizada (NH₃) que é sua forma que apresenta maior toxicidade (BORGES et al., 2014; GONÇALVES et al., 2011) Uma grande quantidade de NH₃ ou até mesmo uma alta concentração de NH₄⁺ em presença de água alcalina podem levar a processo de nitrificação ocasionando a

proliferação de algas (MELO et al., 2000). A ingestão de amônia para causar complicações hepáticas e convulsões em humanos (GONÇALVES et al., 2011).

A Portaria de Consolidação nº5 de 2017, determina como padrão de potabilidade valores menores que 1,5 mg/L de NH₃. Portanto, os resultados dos tratamentos com os coagulantes atenderam esse parâmetro de potabilidade.

Além disso, a interferência dos coagulantes desenvolvidos é diminuída devido à ausência do nitrogênio amoniacal. Uma vez que a o odor e gosto forte da interação da *Moringa oleifera* com o cloro, mencionados por Ghebremichael et al. (2005), era devido à presença de amônia que ao entrar em contato com o cloro formam uma substância denominada cloramina. Esta cloramina por sua vez pode acabar gerando outros subprodutos, como dicloramina e tricloramina, responsáveis por conferir gosto à água (ALVARENGA, 2010).

CONCLUSÃO

A utilização de processo de extração de parte do óleo das sementes de *Moringa oleifera*, bem como a aplicação de processos de tratamento térmico para desnaturação de parte dos compostos orgânicos das sementes se mostraram benéficos para o desenvolvimento de um agente coagulante à base de *Moringa oleifera*.

A pesquisa determinou que das duas lectinas presentes nas sementes de *Moringa oleifera* com função coagulantes, a SSMoL é mais eficiente na remoção da turbidez da água bruta por possuir maior peso molecular e que a mesma por ser termotolerante não desnaturando nem perdendo sua função ao passar por tratamentos térmicos até 120°C. Já em temperatura acima de 150°C ocorre a perda de função da lectina SSMoL, como demonstrando no agente coagulante desenvolvido **MDC5**.

A adição de goma guar e xantana no processo de desenvolvimento do agente coagulante **MDMX4** apresentou boa interação com a lectina SSMoL da semente de *Moringa oleifera* na remoção de turbidez da água bruta por aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos formados nos processos de coagulação e floculação, sendo benéfico no tratamento de água por agitação mecânica.

Em tratamentos de água alternativos por ebulição, o agente coagulante **MDM2**, por não ter atingido o processo completo de reação de *Maillard* e não ter adição de gomas na sua formulação, apresentou resultados melhores na diminuição da matéria orgânica analisado pelo UV 254 nm.

O resultado < 10 mg de nitrogênio amoniacal nas amostras tratadas pelos coagulantes à base de *Moringa oleifera* **MDM2** e **MDMX4**, demonstram que esses não deixaram resíduos na água tratada, capazes de reagir com o cloro para formar cloramina ou de formar trihalometano.

Por fim, esse trabalho demonstrou que é possível utilizar operações unitárias industriais simples para diminuir a presença de parte de compostos orgânicos da semente de *Moringa oleifera*, sem que ocorra a perda de função da lectina coagulante SSMoL, para o desenvolvimento de um agente coagulante à base de *Moringa oleifera*. Ainda, que pode ser usado para levar água potável para comunidades carentes,

devido a sua versatilidade e simplicidade de uso em tratamentos de água alternativos, como ebulição da água ou por desinfecção solar.

TRABALHOS FUTUROS

O trabalho teve como objetivo desenvolver um produto coagulante a base de *Moringa oleifera* que além de ser eficiente na remoção dos coloides presentes na água bruta não deixasse resíduos orgânicos, como o nitrogênio, no final do processo de coagulação e sedimentação.

Para que a água atinja o parâmetro de potabilidade da portaria de consolidação nº5 de 2017 do Ministério da Saúde, seria necessário concluir as outras etapas do tratamento de água a filtração e a desinfecção.

Quanto ao desenvolvimento dos coagulantes, embora a análise da composição centesimal tenha demonstrado a remoção de proteínas e que o ensaio de coagulação tenha demonstrado a tolerância da lectina SSMoL a temperatura de 120°C, determina apenas proteínas totais, sendo necessário realizar análise de cromatografia para a determinação a quantidade da proteína específica SSMoL presentes nos coagulantes desenvolvidos.

Quanto o processo de reação de Maillard para o desenvolvimento do coagulante é necessário realizar análises específicas para determinar quais compostos (carboximetilisina, hidroximetilfurfural, pentosidina, etc) são formados no final do processo envolvendo as sementes de *Moringa oleifera* e possam levar a alguma toxicidade.

O produto coagulante à base de *Moringa oleifera* apresentado nesse trabalho está em processo de pedido de patente. Mas antes que ele possa ser usado para o tratamento de água para consumo humano, mais testes devem ser feitos comprovando sua eficácia e possível toxicidade em seu uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKHTAR, M.; et al. Sorption potential of *Moringa oleifera* pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141, p. 546-556. 2007.

ALVARENGA, J. A. **Avaliação da Formação de Subprodutos da Cloração em Água para Consumo Humano**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)- Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2010.

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

AOAC- Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists**. 16^a ed. Washington, 1995.

ARAUJO, M. F. F. **Doenças de veiculação hídrica: conhecendo e prevenindo**. Natal: Ed. Da UFRN (EDUFRN), 2013.

ARAUJO, M. A. **Revisão Bibliográfica: Avaliação do Método de Kjeldahl na Determinação de Nitrogênio e sua Aplicação na Análise Foliar**. Dissertação (Bacharelado em Química Industrial)- Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Química. Uberlândia, MG, 2019.

AZEVEDO, S. H. G. **Extração Enzimática de Óleo e Produção In Situ de Biodiesel a Partir da *Moringa oleifera* Lam** Dissertação de mestrado, (Programa de pós-graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN. 2013.

BARTHUS, R. C.; et al. Otimização das Condições de Extração de Saponinas em *Ampelozizyphus amozonicus* Usando Planejamento Experimental e Metodologia de Superfície de Resposta. **Química Nova**, v. 34, n. 9, p. 1629-1633. 2011.

BHATTI, H.; et al. Removal of Zn (II) ions from aqueous solution using *Moringa oleifera* Lam. **Process Biochemistry**, v. 42, p. 547-553. 2007.

BHUPTAWAT, H.; et al. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. **Journal of Hazardous Material**, v. 142, p. 477-482. 2006.

BLANCO, L. M.; et al. Extrato de Acácia Negra no Tratamento Primário de Água Pluvial. **Environmental Research Science & Technology**. v. 1, n. 1. nov. 2016.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa Oleifera* Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) -Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. João Pessoa, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretária de Vigilância da Saúde. **Vigilância e controle de qualidade da água para consumo humano.** Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria de Consolidação N°5.** Brasília, DF, 2017.

BRANDÃO, V. A. C. **A Importância do tratamento adequado da água para eliminação de microrganismos.** Dissertação (Licenciatura em Biologia) - Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

BIANCHINI, M. G. A.; et al. Modificação da composição química das farinhas integrais de grão de amaranto após a aplicação de diferentes tratamentos térmicos. **Ciência Rural.** v. 44, n. 1, p. 167-173, 2014.

BOMURA, H. S. **Levantamento Bibliográfico sobre o Método SODIS de Desinfecção solar da água.** Dissertação (Bacharelado em Farmácia- Bioquímica)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Araraquara, SP, 2011.

BORGES, J. A.; et al. Determinação de Nitrogênio Amoniacal em Efluente Líquido da Digestão Anaeróbia de Macro e Microalgas. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química.** Florianópolis, SC. 2014.

BRUNI, G.P; et al. Estudo do Método de Ultrassom para A Extração de Óleo de Sementes de Uva Provenientes de Rejeitos do Processo Vinícola. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química.** Florianópolis, Sc. 2014.

CADEAU, F. **Uso de Torta de Sementes de Moringa (*Moringa oleifera* Lam) na Alimentação de Frango de Corte.** Dissertação (Mestrado em Nutrição Animal)- Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE, 2017.

CARVALHO, C. O. **Comparação entre Métodos de Extração do Óleo de *Mauritia flexulosa* L. f. (AREACACEA- buriti) para o uso Sustentável na Reserva de Desenvolvimento Tupé: Rendimento e Atividade Antimicrobiana.** Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais)- Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, AM, 2011.

CASTEJON, F. V. **TANINOS e SAPONINAS.** Seminário (Mestrado em Ciência Animal)- Universidade Federal de Goiás. Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia. Goiânia, GO, 2011.

CAVALCANTE, M. T.; et al. Avaliação da Estabilidade Térmica das Proteínas das Amêndoas da Faveleira (*Cnidoscylus phyllacanthus* (Mart) Pax. Et K. Hoffm). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v. 12, n. 1, p. 37-43, 2010.

CAVALLINI, G. S.; et al. Desinfecção de Água de Poço por Radiação Solar (SODIS). **Desafios – Revista Interdisciplinar da Universidade Federal de Tocantins**. v. 5, n. Especial, p. 66-73, 2018.

CIROLINI, A.; et al. Avaliação do Sistema Petrifilm™ HS na contagem de coliformes em leite pasteurizado. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. v. 3, n. 73, p. 298-301, 2014.

CREMASCO, M. A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos**. 3. ed. São Paulo, Ed. Blucher, 2018.

COSTA, M. J. P. **Produtos Finais de Glicação Avançada em Alimentos e seus Efeitos na Saúde**. Dissertação (Bacharelado em Nutrição) – Universidade Federal de Recôncavo da Bahia. Santo Antônio de Jesus, BA, 2014.

DUARTE, K. A. C.; et al. Avaliação Bacteriológica da Água de Chuva Tratada em Filtro de Barro. **10º Simpósio Brasileiro de Captação de e Manejo de Água de Chuva**. Belém, PA, 2016.

ENGEL, B.; et al. Tecnologias de atomização e desidratação: alternativas para a produção de farinhas a partir de vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**. v. 6, n. 1, p. 31-44, 2016.

FEITOSA, T. M.; et al. Processo de alcalinização da água pelo calcário laminado: um estudo de caso. **Revista Ciência de Tecnologia**. v. 20, n. 36, jun. 2017. Disponível em: <<http://www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/view/545>>. Acesso em 24/10/2019.

FRANCISQUINI, J. A.; et al. Reação de *Maillard*: Uma Revisão. **Revista do ILCT**. Juiz de Fora, MG. v. 72, n. 1, p. 48-57, 2017.

FRANCO, L.C.G.; et al. Comparativo dos Tratamentos de Água do Rio Doce após o Rompimento da Barragem da Samarco. **XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poço de Caldas**. Set. 2016.

FOGOLARI, O; et al. Determinação de parâmetros cinético da inativação térmica de *Escherichia coli* em lodo de esgoto. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 17, n. 3, p. 255-262, 2012.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Estabilizantes. **Revista-fii**, São Paulo, n. 14, p. 42-48, jun/jul. 2010. Disponível em: <<http://www.revistafi.com/edicoes/24/fib-edicao-26>>. Acesso em: 20/11/2018.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Dossiê Alimentos Desidratados. **Revista-fii**. São Paulo, n. 26, p. 66-81, 2013. Disponível em : <<http://www.revistafi.com/edicoes/26/fib-edicao-26>>. Acesso em: 28/10/2019.

FOOD INGREDIEENTS BRASIL. Dossiê Gomas. **Revista-fii**. São Paulo, n. 32, p. 28-48, 2015. Disponível em: <http://www.revistafi.com/edicoes/32/fib-edicao-32>>. Acesso em 05/11/2019.

GARCIA, C. E. R.; et al. Aplicações Tecnológicas e Alternativas para Redução do Cloreto de Sódio em Produtos Cárneos. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**. Curitiba, PR. v. 31, n. 1, p. 139-150, 2013.

GHEBREMICHAEL, K.; et al. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleífera* seed. **Water research**, v. 39, p. 2338-2344. 2005

GONÇALVES, M. A. F. **Processos Industriais**. 3. ed. Santa Maria, RS, Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2009.

GONÇALVES, C.; et al. Comparação entre níveis de Nitrogênio Amoniacal e Amônia Não- Ionizável em Amostras de Água Subterrâneas. **II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo**. São Paulo, SP, 2011.

ISENMANN, A. F. **Operações Unitárias na Indústria Química**. 3. ed. Timóteo, MG, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Edição do Autor, 2018.

KWAAMBWA, H.; MAIKOKERA, R.; Infrared and circular dichroism spectroscopic characterisation of secondary structure components of a water treatment coagulant protein extracted from *Moringa oleífera* seeds. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 64, p. 118-125, 2008.

LAGE FILHO, F. A.; ANDRADE JUNIOR, E. R. A. Tratabilidade da Água do Reservatório de Guarapiranga: Efeitos da Ozonização sobre algumas variáveis de Qualidade das Águas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 12, n. 2, p. 212-221, 2007.

LIMA, N. M.; **Aplicação da *Moringa oleífera* no Tratamento de Água com Turbidez**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2015.

LIMA JUNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S.; Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Flocculantes para Tratamento de Água: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 3. 2018.

LUCYK, N.; et al. Uso de Coagulantes Naturais no Tratamento de Coagulação/Floculação de Efluentes Proveniente de Abatedouro de Aves. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, n. especial, p. 576-587. Dez. 2015.

LUVIELMO, M. M.; SCAMPARINI, A. R. P. Goma Xantana: produção, recuperação, propriedades e aplicação. **Estudos Tecnológicos**. v. 5, n. 1, p. 50-67, 2009.

MANGRICH, A. S.; et al. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino da *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**. v.6, n. 1, p. 2-15, 2014.

MARIN, M. A.; et al. Cholera outbreaks in Nigéria are associated with multidrug resistant atypical El tor and non- O1/ non- O139 *Vibrio cholerae*. **Public Library of Science**, v. 7, n. 2, p. 2049, 2013.

MENDES, F., COELHO, N. Estudo do uso da *Moringa oleifera* para remoção de prata e manganês em águas. **Horizonte Científico**, Uberlândia, Brasil. 2007.

MELO, J. L. S.; et al. Avaliação da Remoção de Nitrogênio Orgânico e Amoniacal em Amostras de Esgoto Doméstico Submetidos a Pós-Tratamento em Tabuleiros Irrigados. **XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Campinas, SP, 2000.

MENEZES, N. N. F. **Impacto da Extração do Óleo da Semente de *Moringa oleifera* no Tratamento de Água Produzida**. Dissertação (Bacharelado Em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Engenharia Química. Natal, RN, 2017.

MURTHA, N. A.; et al. Uma Perspectiva Histórica das Primeiras Políticas Públicas de Saneamento e Recursos Hídricos no Brasil. **Ambiente & Sociedade**. v. XVIII, n. 3, p. 193-210, 2015.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L.M. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds. **Water research**, v. 29, n. 12, p. 2689-2605, 1995.

NISHI, L.; et al. Coagulação/Floculação com Sementes de *Moringa oleifera* Lam para Remoção de Cistos de *Giardia* spp. e Oocistos de *Cryptosporidium* spp. da Água. **3º Internacional Workshop Advances In Cleaner Production**. São Paulo, Brasil, 2011.

OKUDA, T.; et al. Coagulation mechanism of salt solution extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v. 35, n. 3, p. 830-834, 2001

OLIVEIRA, L. L. C.; et al. Análise da taxa de remoção de turbidez em águas naturais utilizando-se extrato de sementes de *Moringa Oleifera* Lam. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 1, n. 1, p. 204-210, 2011.

OLIVEIRA, E. J. A; MOLICA, R. J. R. **A Poluição das Águas e as Cianobactérias**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica de Pernambuco. Recife, 2017.

OMS. World Health Organization. **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene**. 2017. Disponível em: <http://unicef.org/publications/index_96611.html> acessado em 18/07/2019.

PAVANELLI, G. **Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação e Sedimentação de Água com Cor ou Turbidez Elevada**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

PELEGRINO, E. C. F. **Emprego de Coagulantes à Base de Tanino em Sistema de Pós-Tratamento de Efluente de Reator UASB por Flotação**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2011.

PEREIRA, A. S. G.; et al. Bisfenol A: Detecção em Água Potável e Eficiência na Remoção Utilizando Filtros Comerciais. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis, SC, 2014.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de Coagulantes Orgânicos Naturais como Alternativa ao Uso do Sulfato de Alumínio no Tratamento de Água**. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Engenharia Civil. Porto Alegre, 2008.

PINTO-JUNIOR, R. M.; HAVENS, K.; **Crise nas Águas**. 1. ed. Minas Gerais: Ed. Recóleo, 2015.

PITERMAN, A.; GRECO, R. M. A água seus caminhos e descaminhos entre os povos. **Revista APS**, v. 8, n. 2, p. 151-164, 2005.

PROSAB. **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. ABES. Rio de Janeiro, 2009.

RIBEIRO, A., T., A. **Aplicação da *Moringa oleifera* no Tratamento de Água para Consumo Humano Remoção de Poluentes por Coagulação-Floculação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia no Ambiente). Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. Porto, 2010.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. Dissertação (Especialização em Análise Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia da UFJF. Juiz de Fora, 2010.

RODRIGUES, S. P. **O microrganismo no trabalho de Pasteur: estudos sobre a fermentação e putrefação**. Tese (Doutorado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2014.

RÔLA, A.K.K.; et al. Avaliação da Eficiência de Coagulantes Comerciais para Aplicação em Sistemas de Tratamento de Água. **Journal of Chemical Engineering and Chemistry**. v. 02, n. 03, p. 014-033. 2016.

SANTOS, A. F. S. **Moléculas Bioativas de *Moringa oleifera*: Detecção, Isolamento e Caracterização**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2007.

SCARIOTTO, M. C. **Estudo da Utilização da Goma Xantana como Auxiliar no Processo de Floculação em Tratamento de Água para Abastecimento**. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

SERAFIM, A. L.; et al.; Importância da Água no Organismo Humano. 2004. **Curso de Nutrição do Centro Universitário Franciscano (UNIFRA)**. Disponível em <http://sites.unifra.br/35/artigos/2004/41/importancia.pdf>. Visualizado em 20/08/2018.

SILVA, M. J. M. Desinfecção de Água utilizando Energia Solar (SODIS): Inativação e Recrescimento Bacteriano. Dissertação (Mestrado em Concentração de Saneamento e Ambiente) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP, 2004.

SILVA, M.O.; et al. Estudo do Processo de Extração do Óleo de *Moringa oleifera* Lam Utilizando Ultrassom. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis, Sc. 2014.

SIQUEIRA, A. P. S.; et al.; Análise da Performance dos Coagulantes Naturais *Moringa oleifera* e Tanino como Alternativa ao Sulfato de Alumínio para o Tratamento de Água. **Enciclopédia Biosfera- Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 15, n. 27, p.18. 2018.

VALVERDE, K.C.; et al.; Comparação entre formas de Preparação do Coagulante *Moringa oleifera* Lam para utilização de Tratamento de Água. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves/Rs. Novembro, 2013. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

