

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA (PEQ-UFS)

FELIPE ABREU DE JESUS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO AGENTE COAGULANTE OBTIDO A
PARTIR DA *Moringa Oleifera* LAM PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA**

São Cristóvão (SE)

(2018)

FELIPE ABREU DE JESUS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO AGENTE COAGULANTE OBTIDO A
PARTIR DA *Moringa Oleifera* LAM PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Francisco da Silva

São Cristóvão (SE)

(2018)

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

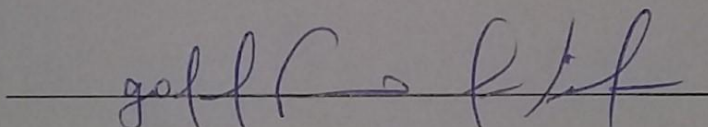
J58a	Jesus, Felipe Abreu de Avaliação do desempenho do agente coagulante obtido a partir da <i>Moringa Oleifera</i> Lam para tratamento de água produzida / Felipe Abreu de Jesus ; orientador Gabriel Francisco da Silva. – São Cristóvão, 2018. 100 f. : il. Dissertação (mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Sergipe, 2018. 1. Engenharia química. 2. Moringa oleifera. 3. Água - Purificação. I. Silva, Gabriel Francisco da, orient. II. Título. CDU: 66.0: 582.683.4
------	---

FELIPE ABREU DE JESUS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO AGENTE COAGULANTE OBTIDO A PARTIR
DA *Moringa Oleifera* LAM PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA

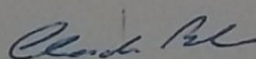
Dissertação de Mestrado aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
da Universidade Federal de Sergipe em 30 de julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA



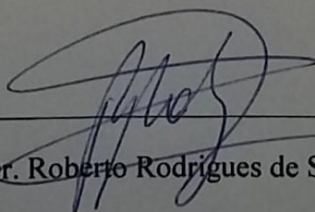
Dr. Gabriel Francisco da Silva - Orientador

Universidade Federal de Sergipe



Dr. Claudio Borba

Petrobras/Universidade Tiradentes



Dr. Roberto Rodrigues de Souza

Universidade Federal de Sergipe

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças para continuar lutando e por ter colocado pessoas especiais, sem as quais eu não conseguiria chegar até o final desse trabalho.

A minha mãe, Maria Angelita, por sempre me motivar a continuar lutando, por ser essa pessoa maravilhosa, por ser o melhor livro que já li, por ser o melhor tema de dissertação pelo qual eu poderia escrever. Obrigado mãe por me apoiar em todos os momentos da minha vida e por nunca duvidar, nem por um segundo, da minha capacidade.

A Weslany Thaise, minha amada namorada, por todos os conselhos, por acreditar em mim quando nem eu mesmo acreditava mais, por todas as vezes que ofereceu o ombro para eu chorar devido as reprovações durante o mestrado, por perder noite me ajudando a corrigir toda a minha dissertação.

Ao meu pai, Felix Abreu, por se preocupar comigo e ligar várias madrugadas para dizer que estava rezando por mim! Foi muito importante e me motivou a continuar.

Ao meu Tio Celio Roberto, por todo ensinamento, por ser um instrumento que Deus usou para falar comigo várias madrugadas.

A toda a minha família, primos, tios, avós por terem me proporcionado uma criação com restrições e liberdades, que fizeram de mim o que sou hoje.

A Gabriel Francisco, meu orientador, pela oportunidade de mostrar meu potencial como pesquisador e pela orientação.

A Ageu Ícaro, José Valdo e Adriano Max, meus amigos do mestrado, por esta comigo em toda etapa do mestrado, por me ajudar a consertar os equipamentos, pelos conselhos dados durante os desertos do mestrado, por ligar e sempre dizer: “vai dá certo”, “Deus está contigo”.

A Susana, Tayanara, Diego e Andréia pelas sugestões, conselhos, críticas construtivas e toda a ajuda com a análise dos resultados.

Ao LTA pelo apoio técnico indispensável para o sucesso deste trabalho.

A CNPq pelo apoio financeiro.

A todos que de alguma forma torceram por mim e me apoiaram por toda minha trajetória acadêmica

RESUMO

Em algum momento da atividade petrolífera o poço de petróleo irá começar a produzir água, isso ocorre devido às condições do reservatório, idade dos poços produtores ou a necessidade de utilizar poços injetores de água para aumentar a produtividade dos hidrocarbonetos. A água produzida junto com o petróleo é deslocada até a superfície com diversos contaminantes. Antes de ser condicionada ao descarte ou rejeição, necessita passar por uma série de tratamentos, dentre esses a coagulação, etapa importante para a remoção de material orgânico e inorgânico. O uso de coagulantes naturais apresenta-se como uma alternativa promissora para o tratamento de água e tem mostrado vantagens em relação aos coagulantes inorgânicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais. A *Moringa oleifera* Lam possui em suas sementes proteínas catiônicas com atividade coagulante, podendo substituir coagulantes químicos, tal como o sulfato de alumínio. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho do agente coagulante para tratamento de água produzida de petróleo a partir do extrato das sementes de *Moringa oleifera* Lam. Nos ensaios, a água utilizada foi a água produzida sintética juntamente com o petróleo proveniente do campo de Carmópolis/SE. Primeiramente, foram determinados o BSW, massa específica, °API e viscosidade do petróleo usado no preparo da água produzida sintética (APS). Depois de caracterizado o petróleo, foram realizadas as determinações centesimais da semente: umidade, cinzas, lipídeos por extração com Soxhlet e proteínas, pelo método Kjeldahl. Após, foram realizados os ensaios de coagulação/floculação a fim de avaliar diferentes métodos de preparo do agente coagulante moringa na redução de teor de óleos e graxas (TOG). Esses experimentos foram conduzidos em *jar test* variando a concentração de *Moringa oleifera* Lam entre 50 ppm e 300 ppm. Os dados obtidos pelos 7 métodos de preparo foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste Tukey, com 95% de probabilidade para verificar se há diferença significativa ou não entre as concentrações e métodos. Através da caracterização do petróleo os valores encontrados foram: 0,07 % de BSW, 0,899 g/cm³ de massa específica, 25,85 de °API e 699, 228, 173 e 127 cP de viscosidade nas temperaturas: 20, 40, 50 e 60 °C, nessa ordem. Os resultados obtidos para a composição centesimal da semente de moringa mostraram um alto teor de lipídeos (26%) e proteínas (45%) e baixo teor de umidade (6,82%), cinzas (3,47%) e carboidratos (7,31%). Conclui-se, então, que a semente de moringa como agente coagulante natural tem um potencial na remoção de TOG, podendo ser considerada como uma alternativa para o tratamento de água produzida de petróleo.

PALAVRAS CHAVES: *Moringa oleifera* Lam; Coagulante; Água produzida

ABSTRACT

At some point, the activity in a petroleum well will begin to produce water. This happens according to the conditions of the reservoir, the age of the productive wells, or the need to use water injectors to increase the productivity of the hydrocarbons. The produced water, together with the petroleum, is then pushed up to the surface along with an array of other contaminants, which, before being conditioned for disposal, need to pass through a series of treatments. Among these is coagulation, an important stage in the removal of the organic and inorganic materials. The use of natural coagulants presents itself as a promising alternative to the treatment of water, and has proved advantageous in relation to the inorganic coagulants, specifically in relation to biodegradability, low toxicity, and a low index of residual mud production. The *Moringa oleifera* Lam possesses cationic proteins in its seeds that have coagulating properties, thus being able to be used to substitute chemical coagulants like aluminum sulfate. As such, this work's objective is to evaluate the performance of the coagulating agent for the treatment of water produced by petroleum using the extract from seeds of the *Moringa oleifera* Lam plant. In the tests, the water utilized was synthetic produced water together with petroleum taken from the oilfield in Carmópolis/SE. First, the BSW, the specific mass, the °API, and the viscosity of the oil used for the preparation of synthetic produced water (SPW) was determined. After the analysis of the petroleum, the centesimal metrics of the seeds were determined: humidity, ash, lipids by extraction with Soxhlet and proteins, using the Kjeldahl method. After, coagulation/flocculation tests were conducted in order to evaluate the different preparation methods of the moringa coagulating agent in the reduction of the oil and gravel content (OGC). These experiments were conducted using the jar test, varying the concentration of the *Moringa oleifera* Lam between 50 ppm and 300 ppm. The data obtained via the 7 preparation methods were submitted to variance analysis (ANOVA) and the Tukey test, with a 95% rate of probability to verify if there was a significant difference or not among the concentrations and methods. In the analysis of the petroleum, the values found were: 0,7% or BSW, 0,899 g/cm³ of the specific mass, 25,85 of the °API and 699, 228, 173, and 127 cP of viscosity in the following temperatures: 20, 40, 50 and 60 °C, in that order. The results obtained for the centesimal composition of the moringa seed showed a high lipid content (26%) and proteins (45%) and a low humidity content (6,82%), ash (3,47%) and carbohydrates (7,31%). In conclusion, then, the moringa seed as a natural coagulating agent has a potential to remove the OGC, which can be considered an alternative for the treatment of water produced by petroleum.

KEYWORDS: *Moringa oleifera* Lam; Coagulant; Oil and Gravel Content (OGC); Produced water

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relações espaciais entre rochas geradoras, reservatórios e capeadoras.	18
Figura 2 - Aquífero natural ativo presente na zona de produção de petróleo.....	18
Figura 3 - Produção de água <i>onshore</i> e <i>offshore</i> global de 1990 até 2014.....	19
Figura 4 - Poro da rocha saturado com água e óleo.	20
Figura 5 - Diferentes tipos de emulsões.	22
Figura 6 - Projetos de tratamento de água produzida no centro-oeste e sudeste do Brasil.	25
Figura 7 - Separador gravitacional água-óleo.	26
Figura 8 - Mecanismos envolvidos na desestabilização de emulsões.	27
Figura 9 - Exemplo esquemático de um hidrociclone.	29
Figura 10 - Esquema de um tubo de despejo.....	30
Figura 11 - Partes da <i>Moringa oleifera</i> Lam: Planta adulta (A), as vagens (B), sementes (C) e as flores (D).	36
Figura 12 – Fluxograma dos diferentes métodos de preparo do agente coagulante à base de moringa.....	51
Figura 13 - Semente da moringa com e sem casca.....	52
Figura 14 - Prensa hidráulica MPH-30.....	53
Figura 15 - Preparo do coagulante em solução salina a 1M.....	54
Figura 16 - Distribuição Granulométrica da semente da Moringa.	60
Figura 17 - Composição química das sementes de moringa.	60
Figura 18 – Solução em meio salino recém preparada (esquerda) e solução em meio salino preparada a uma semana antes e armazenada em temperatura ambiente (direita).	69
Figura 19 – Normalização (CCO) dos ensaios com APS utilizando diferentes métodos <i>versus</i> a concentração do coagulante.	70
Figura 20 – Valores de pH para os diferentes métodos de preparo do agente coagulante à base de moringa após o processo de coagulação.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades dos coagulantes inorgânicos.	33
Tabela 2 - Número de espécies vegetais com capacidade coagulante.	34
Tabela 3 - Espécies mais comuns de moringa.	35
Tabela 4 - Todos os reagentes químicos utilizados neste trabalho.	45
Tabela 5 - Conjunto de peneiras	52
Tabela 6 - Características dos solventes recomendados pela Wilks, para aplicação nos equipamentos TOG/TPH modelos CVH e CVH-50 (Adaptado de Nascimento et al. (2008))	56
Tabela 7 – Propriedades do petróleo	59
Tabela 8 – Caracterização Granulométrica da Semente de Moringa	59
Tabela 9 - Comparativo entre o teor de proteína obtido com os encontrados na comunidade científica	61
Tabela 10 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma <i>Sint</i>	62
Tabela 11 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma <i>Sint</i> -35.....	63
Tabela 12 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma <i>Sint</i> -20.....	64
Tabela 13 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma <i>Sint</i> -14.....	65
Tabela 14 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma <i>Sdes</i>	66
Tabela 15 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa em meio aquoso.....	67
Tabela 16 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa em meio salino	68
Tabela 17 - Comparativo entre as eficiências para os diferentes métodos de preparo do coagulante à base de moringa na concentração de 150 ppm.	70
Tabela 18 - Comparativo entre a eficiência do coagulante moringa e coagulantes convencionais.	71

LISTA DE ABREVIATURAS

APS: Água produzida sintética

TOG: Teor de óleo e graxa

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

S_{int} : Método de preparo da forma *in natura*

S_{int-35} : Método de preparo com granulometria específica *mesh 35*.

S_{int-20} : Método de preparo com granulometria específica *mesh 20*.

S_{int-14} : Método de preparo com granulometria específica *mesh 14*.

S_{des} : Método de preparo da forma desengordurada.

S_{aquo} : Método de preparo em meio aquoso.

S_{sal} : Método de preparo em meio salino.

AP: Água produzida

SS: Sólidos suspensos

COD: Carbônico orgânico dissolvido

PAC: Policloreto de alumínio

M. oleifera: Moringa oleifera Lamarck

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo geral	15
1.1.2. Objetivos específicos	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1. PETRÓLEO	16
2.2. ORIGEM E FORMAÇÃO.....	17
2.3. ÁGUA PRODUZIDA.....	18
2.3.1. Origem da água produzida.....	20
2.3.2. Composição e características da água produzida	20
2.3.3. Emulsões.....	21
2.4. GERENCIAMENTO E TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA.....	23
2.4.1. Processos de tratamento.....	25
a) Tanques separadores gravitacionais	26
b) Tratamento físico-químico	26
c) Tratamento biológico.....	28
d) Tratamento por <i>stripping</i>	28
e) Outros equipamentos de separação.....	29
2.5. COAGULAÇÃO	30
2.5.1. Coagulantes inorgânicos.....	32
2.5.2. Coagulantes naturais.....	34
2.6. MORINGA OLEIFERA LAM	35
2.7. TRABALHORES ANTERIORES SOBRE A UTILIZAÇÃO DA MORINGA COMO COAGULANTE	38
3. METODOLOGIA.....	44
3.1. MATERIAIS.....	44
3.1.1. Óleo	44
3.1.2. Água produzida sintética (APS)	44
3.1.3. Sal	44
3.1.4. Moringa	44
3.1.5. Produtos químicos	45
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA	45

3.2.1.	Caracterização do petróleo	45
a)	Determinação do BSW (NBR 14647)	45
b)	Determinação da massa específica e °API (NBR 8916)	46
c)	Determinação da viscosidade (ASTM D-4455)	47
3.2.2.	Caracterização Química da semente moringa oleífera	48
a)	Determinação de umidade	48
b)	Determinação de cinzas	49
c)	Determinação de proteínas	49
d)	Determinação de Lipídeos	50
3.3.	MÉTODO DE PREPARO DO COAGULANTE NATURAL À BASE DE MORINGA.....	50
3.3.1.	Preparo do coagulante à base de <i>moringa oleífera</i> na forma <i>in natura</i>	51
3.3.2.	Preparo do coagulante à base de <i>moringa oleífera</i> com granulometria específica	51
3.3.3.	Preparo do coagulante à base de <i>Moringa oleífera</i> na forma desengordurada...	52
3.3.4.	Preparo do extrato coagulante da semente da <i>Moringa oleífera</i> Lam em solução	53
a)	Preparação do extrato coagulante à base de <i>Moringa oleífera</i> em meio aquoso	53
b)	Preparação do extrato coagulante à base de <i>Moringa Oleífera</i> Lam em meio salino	54
3.4.	PREPARO DA ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA	54
3.5.	DETERMINAÇÃO DA MELHOR CONCENTRAÇÃO DO COAGULANTE À BASE MORINGA.....	55
3.6.	VARIÁVEL RESPOSTA	55
3.6.1.	Análise do Teor de Óleo e Graxas.....	56
a)	Extração Líquido-Líquido	56
b)	Determinação Da Concentração de Óleos e Graxas (TOG)	57
3.3.	MONITORAMENTO DO PH.....	57
3.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	57
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA	59
4.1.1.	Caracterização do petróleo	59
4.1.2.	Caracterização da Moringa	59
c)	Análise granulométrica	59
d)	Caracterização química da semente de moringa	60

4.2. AVALIAÇÃO DOS DIFERENTES MÉTODOS DE PREPARO DO COAGULANTE À BASE DE MORINGA	62
4.2.1. Avaliação do coagulante à base de moringa na forma <i>in natura</i>	62
4.2.2. Avaliação do coagulante à base de moringa <i>Mesh 35</i>	63
4.2.3. Avaliação do coagulante à base de moringa <i>Mesh 20</i>	64
4.2.4. Avaliação do coagulante à base de moringa <i>Mesh 14</i>	65
4.2.5. Avaliação do coagulante à base de moringa na forma desengordurada	65
4.2.6. Avaliação do coagulante à base de moringa em meio aquoso	66
4.2.7. Avaliação do coagulante à base de moringa em meio salino	67
4.2.8. Avaliação conjunta dos sete métodos de preparo do coagulante à base de moringa	69
4.3. MONITORAMENTO DO PH PARA OS DIFERENTES MÉTODOS DE PREPARO DO COAGULANTE NATURAL MORINGA	72
5. CONCLUSÕES	73
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICE	90
APÊNDICE A - Procedimento operacional do <i>Infracall Analyzer Model Cvh</i>	91
APÊNDICE B - Eficiências de remoção de TOG obtidas para diferentes métodos do coagulante natural à base de moringa.	92
APÊNDICE C- Análise de Variância dos diferentes métodos de preparo do coagulante natural	93
APÊNDICE D- Teste Tukey para os diferentes métodos de preparo do coagulante natural ...	96

1. INTRODUÇÃO

A grande demanda de produção petrolífera gera benefícios econômicos e sociais, no entanto, pode causar sérios impactos ao meio ambiente e à qualidade de vida da população. Diante da situação ambiental atual e todas as consequências que o planeta vem sofrendo devido ao uso dos combustíveis fósseis como principal fonte de energia, a busca por fontes alternativas na matriz energética vem ganhando espaço em nível global (BORGES et al., 2017).

Na cadeia de exploração e produção de petróleo, a presença de água associada ao óleo provoca uma série de problemas nas etapas de produção, transporte e refino. Na produção, a presença de impurezas na água produzida, como cloretos, sulfatos e carbonatos de sódio, pode provocar a corrosão e a formação de incrustações nas paredes dos tubos de produção, limitando assim, a durabilidade e qualidade dos equipamentos. No transporte, devido à sua composição, a água pode, ao sofrer variações de temperatura e pressão, provocar problemas no tanque de armazenamento e equipamentos, que podem resultar em acidentes humanos e/ou ambientais. No refino, as consequências podem ser drásticas (poluição, explosão, perdas de produtos, lucros cessantes, etc) devido à presença de contaminante como o cloreto de cálcio, onde na presença do calor gera ácido clorídrico.

A água produzida (AP) é a água contida nos reservatórios subterrâneos de petróleo que é trazida à superfície juntamente com óleo e gás. A quantidade de água produzida associada ao óleo é variável, podendo alcançar até próximo de 100% do volume, ao atingir o fim da vida econômica dos poços (THOMAS, 2004).

Em sistemas *onshore* (áreas de produção em terra), a água produzida é tratada em um separador água/óleo (SAO) e reinjetada nos poços, para promover a recuperação secundária do óleo ou descartada no meio ambiente (SANTOS E WIESNER, 1997).

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a produção de petróleo no Brasil foi de 58.368 milhões barris em campos *onshore* e 831.300 mil barris em campos *offshore*, totalizando no ano de 2015 de 889.667 milhões barris (média de 2,4 milhões de barris/dia), gerando um volume de água produzida de 220.024.430,1 m³ (BRASIL, 2016A).

O Estado de Sergipe possui 22 campos terrestres em etapa de produção e 8 marítimos, contendo ao todo, 1.711 poços produtores terrestres e 35 poços marítimos. Em 2015, a produção de petróleo gerou 9.171 milhões barris em campos *onshore* e 2.992 milhões barris em campos *offshore* (BRASIL, 2016A).

Em Sergipe, o campo de Carmópolis, considerado o maior campo produtor terrestre do Brasil e o quarto em produção de óleo, apresenta uma produção média diária de 28.000 m³ de água produzida (RIBEIRO, 2013). Assim, um tratamento é inevitável para se estabelecer e manter o controle deste efluente.

No tratamento convencional da AP, a água bruta captada é enviada para a unidade de mistura rápida, onde ocorrem os processos de coagulação e floculação (RÔLA et al., 2016). O processo de coagulação-floculação pode ser usado como uma etapa preliminar ou intermediária entre outros processos de tratamento de água produzida de petróleo.

O processo de coagulação é considerado um dos processos de tratamento mais importantes da AP devido à sua simplicidade, eficácia e baixo consumo de energia (ZHRIM et al., 2017).

Um dos coagulantes inorgânicos mais utilizados no tratamento de água é o sulfato de alumínio. Atualmente, esse coagulante tem sido alvo de discussão, em função de existir evidências de que o Mal de Alzheimer pode estar associado ao alumínio residual presente na água destinada ao consumo humano. Além disso, alumínio não é biodegradável, podendo gerar problemas de disposição e tratamento do lodo gerado (DOS SANTOS et al., 2016). Coagulantes oriundos de fonte vegetal são, geralmente, considerados seguros para a saúde humana (VALVERDE et al., 2014).

A *moringa oleifera* também conhecida como lírio-branco é uma das 14 espécies pertencente à família *Moringaceae*. Esta espécie é detentora de uma ampla adequação climática e é fonte de vários princípios ativos (GUALBERTO, A. F. et al., 2015).

O extrato vegetal da *Moringa oleifera* Lam apresenta-se como coagulante natural promissor, podendo substituir o sulfato de alumínio. Uma das vantagens em utilizá-lo é que pode ser extraído após a remoção do óleo da semente, sem reduzir a eficácia no tratamento de água (FARIAS PEREIRA et al., 2011).

Deste modo, em muitos países, o extrato de numerosas plantas está sendo empregado como coagulante natural, no qual um pequeno número de biopolímeros vem sendo aplicado e estudado mais profundamente que outros, como é o caso da *Moringa oleifera* Lam, da quitosana e tamarindo (SANTANA, 2009; DOS SANTOS et al., 2016; MERAZ et al., 2016).

Diante da preocupação da indústria petrolífera com o grande volume de água produzida, principalmente em campos maduros *onshore*, resolveu-se avaliar o desempenho do agente coagulante natural a partir do extrato da semente da *Moringa oleifera* Lam, pela sua eficiência comprovada na coagulação e por apresentar baixo custo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

- Avaliar o desempenho do agente coagulante para tratamento de água produzida de petróleo a partir do extrato das sementes de *Moringa oleifera* Lam.

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar o petróleo utilizado para produção da água produzida sintética proveniente da bacia Sergipe/Alagoas, campo Carmópolis.
- Determinar a composição centesimal da semente de *moringa*, tais como: umidade, cinzas, lipídeos, proteínas e carboidratos.
- Avaliar diferentes métodos de preparo do coagulante à base *Moringa oleifera* Lam.
- Preparar a água produzida sintética (APS) utilizada no processo de tratamento de coagulação/floculação.
- Determinar a melhor concentração do agente coagulante obtido a partir do extrato das sementes de *Moringa oleifera* Lam para remoção do teor de óleo e graxas (TOG) nas amostras de água produzida sintética de petróleo.
- Comparar os valores obtidos de TOG com os estabelecidos pela Resolução CONAMA nº430/2011.
- Verificar se o pH após o tratamento permanece dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº430/2011.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste tópico foram abordados os assuntos referentes à temática da pesquisa, com conteúdo para explanação e entendimento dos resultados e conteúdo do trabalho.

2.1. PETRÓLEO

O petróleo é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e pode ser encontrado em várias tonalidades entre o negro e o castanho-claro, sendo constituído, basicamente, por uma mistura de hidrocarbonetos. Quando a mistura contém uma maior quantidade de moléculas leves, seu estado físico é gasoso e quando a mistura contém moléculas, pesadas, seu estado físico é líquido, nas condições normais de temperatura e pressão (THOMAS, 2004).

Em 1850, as pessoas do noroeste da Pensilvânia notaram manchas negras que flutuavam sobre rachaduras, córregos e nascentes. Sem saber ao certo qual sua aplicação, utilizavam o óleo para tentar controlar as doenças que, na época, atormentavam os norte-americanos, como a febre amarela, a varíola e a cólera. Em 1854, um grupo de empresários interessados na real utilidade desse misterioso líquido, financiou a pesquisa de um professor de química, Benjamin Silliman, que visava conhecer as potencialidades deste óleo (SHAH, 2007).

No Brasil, a primeira descoberta do petróleo ocorreu no estado da Bahia, no ano de 1858, quando o Marquês de Olinda assina o decreto n.º 2266 concedendo a José Barros Pimentel o direito de extrair mineral betuminoso para fabricação de querosene de iluminação, em terrenos situados nas margens do Rio Maraú. A partir de 1954, com a criação da PETROBRAS, o país passou a ter uma empresa estatal com a missão de explorar, refinar e distribuir o petróleo em território nacional, hoje considerada uma das maiores e mais importantes empresas petrolíferas do mundo (THOMAS, 2004; FEROLLA E METRI, 2006).

Em Sergipe as pesquisas em busca de petróleo foram intensificadas após a I Guerra Mundial, quando em 1919, o diretor do Serviços Geológico, Eusébio de Paula Oliveira, junto com Gerson de Faria Alvin e Eugênio Bourdot Dutra, estudaram algumas regiões do estado e ao final, comprovaram a existência de petróleo no estado (ARAÚJO, 2008).

O hidrocarboneto é a matéria prima essencial na vida cotidiana, sendo utilizado diretamente na fabricação de 6000 produtos. Dele se produzem a gasolina, o combustível de aviação, o gás de cozinha, lubrificantes, borrachas, plásticos, tecidos sintéticos, tintas e até mesmo energia elétrica (GAUTO, 2011).

2.2. ORIGEM E FORMAÇÃO

O petróleo é encontrado em rochas sedimentares, resultante da transformação e decomposição da matéria orgânica de plantas aquáticas e animais pré-históricos. Esses seres decompostos foram-se acumulando, ao longo de tempo (de 15 a 500 milhões de anos), no fundo dos mares, lagos e pântanos; e submetidos ao tempo, temperatura e pressão, transformaram-se na substância oleosa que é o petróleo (PEDROZO et al., 2002).

O tipo de hidrocarboneto gerado, óleo ou gás, é estabelecido pela constituição da matéria orgânica original e pela intensidade do processo térmico atuante sobre ela. O processo de geração de petróleo como um todo é resultado da captação da energia solar, através da fotossíntese que gera biomassa, e transformação de matéria orgânica acumulada com a contribuição do fluxo de calor oriundo da terra (THOMAS, 2004).

Para que ocorra a geração de petróleo é fundamental que existam algumas condições, como: rocha geradora, migração do petróleo, rocha selante e rocha reservatório. Para que o petróleo se acumule é necessário que após a geração tenha uma migração, a migração é dita primária quando o petróleo é expulso da rocha geradora e é dita secundária quando o petróleo atravessa a rocha porosa e permeável até a armadilha geológica (THOMAS, 2004; CIVAN, 2015).

Durante o trajeto de sua migração, os hidrocarbonetos encontram uma camada denominada rocha capeadora ou selante, que tem baixa porosidade e é impermeável o que impede que o fluido continue migrando para superfície, sendo trapeado no espaço denominado rocha reservatório.

A rocha reservatório tem grande capacidade de armazenamento, porém para ser considerada uma rocha reservatório duas condições são necessárias, a rocha deve apresentar poros interconectados entre os grãos, ligados uns aos outros por cimento natural, juntamente com a matriz e conter permeabilidade, como exemplos dessas rochas são os arenitos, calcarenitos, folhelhos e carbonatos com fraturas (CABRAL et al., 2017). A Figura 1 apresenta um esquema geológico ilustrando a migração do petróleo desde da rocha geradora até rochas-reservatório.

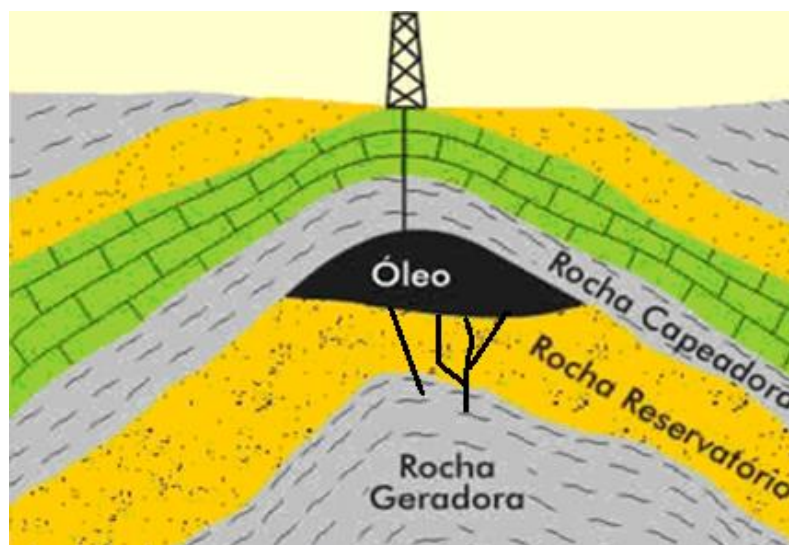


Figura 1 - Relações espaciais entre rochas geradoras, reservatórios e capeadoras.

Fonte: Adaptado de Teixeira et al. (2001).

2.3. ÁGUA PRODUZIDA

Em algum momento da atividade petrolífera, o poço irá começar a produzir água, isso ocorre devido às condições do reservatório, idade dos poços produtores e/ou a necessidade de utilizar poços injetores de água para aumentar a produtividade dos hidrocarbonetos. Uma quantidade significativa de água é produzida, representando a maior corrente de resíduos na produção de petróleo (THOMAS, 2004). A Figura 2 mostra um aquífero natural ativo em um reservatório de petróleo.

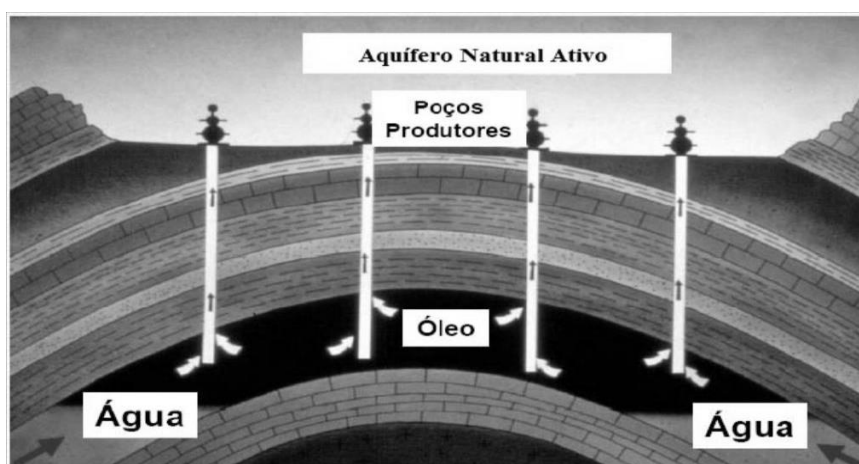


Figura 2 - Aquífero natural ativo presente na zona de produção de petróleo.

Fonte: Almeida (2004).

A água produzida, também conhecida como água conata ou água de formação se for considerada no início da produção do reservatório e que este não tenha sofrido processos de recuperação primária é o efluente líquido que possui maior volume na produção de petróleo (AMINI et al., 2012).

A quantidade de água que é produzida associada ao petróleo depende de uma série de fatores, tais como: características do reservatório de onde os fluidos são produzidos, idade dos poços produtores e métodos de recuperação de petróleo utilizados.

Segundo Dal Ferro e Smith (2007)

A produção mundial de água produzida é estimada em cerca de 250 milhões de barris por dia, em comparação com cerca de 80 milhões de barris por dia de petróleo. Como resultado, a proporção de água para óleo é de cerca de 3:1, ou seja, 70% de todo material extraído é água e a produção global da água continua crescendo diariamente

A Figura 3 mostra a produção global de água (bbls*1000/dia) nos campos *onshore* e *offshore* de 1990 até 2014.

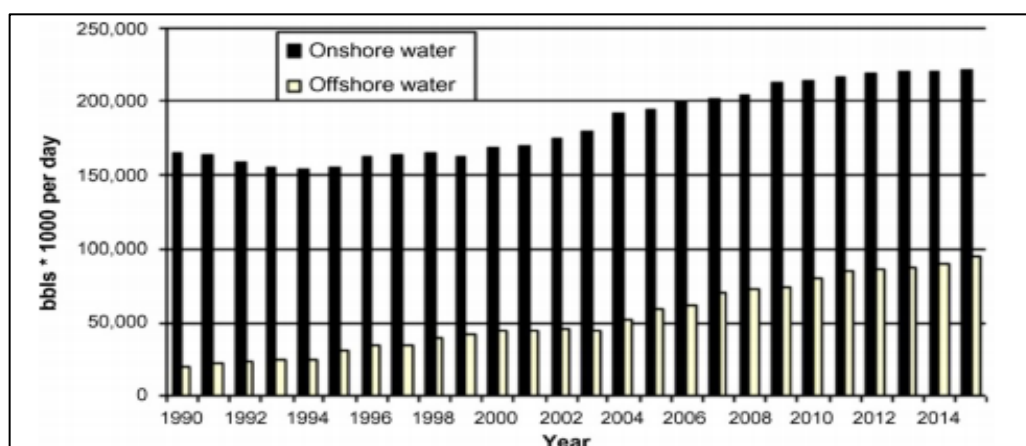


Figura 3 - Produção de água *onshore* e *offshore* global de 1990 até 2014.

Fonte: Dal Ferro e Smith (2007).

No estado de Sergipe em 2016 foram produzidos cerca de 46.095 m³/dia de água produzida (AP). Por campo, Carmópolis foi o maior produtor de AP, produzindo em média 32.002 m³/dia, acompanhada pelos campos de Siririzinho e Riachuelo, 6000 e 4033 m³/dia, respectivamente. Os campos que apresentaram as menores produções de AP em 2016 foram o de Foz do Vaza-Barris, cuja a produção foi de 0,007 m³/dia e o Carapitanga, produzindo em média 0,42 m³/dia de água produzida (BRASIL, 2016B).

2.3.1. Origem da água produzida

Rochas naturais, em subsuperfície, são geralmente permeadas por diferentes fluidos subterrâneos, como óleo, gás e água salina (ou combinações destes). A maioria das formações geológicas produtoras de petróleo são totalmente saturadas com água antes da invasão e trapeamento de petróleo (AMYX et al., 1960).

Conforme descrito por Fakhru'l-Razi et al. (2009) a rocha-reservatório antes reter o petróleo em seus poros interconectados, foram saturados com água salina. Os hidrocarbonetos menos densos migram para as posições trapeadas, deslocando água salina da formação dos reservatórios. Existem três fontes de água salina: fluxo a cima ou abaixo da zona de hidrocarbonetos; fluxo dentro da zona de hidrocarbonetos; fluxo de fluidos injetados e aditivos resultantes das atividades de produção. A Figura 4 mostra o poro da rocha saturado com água e óleo.

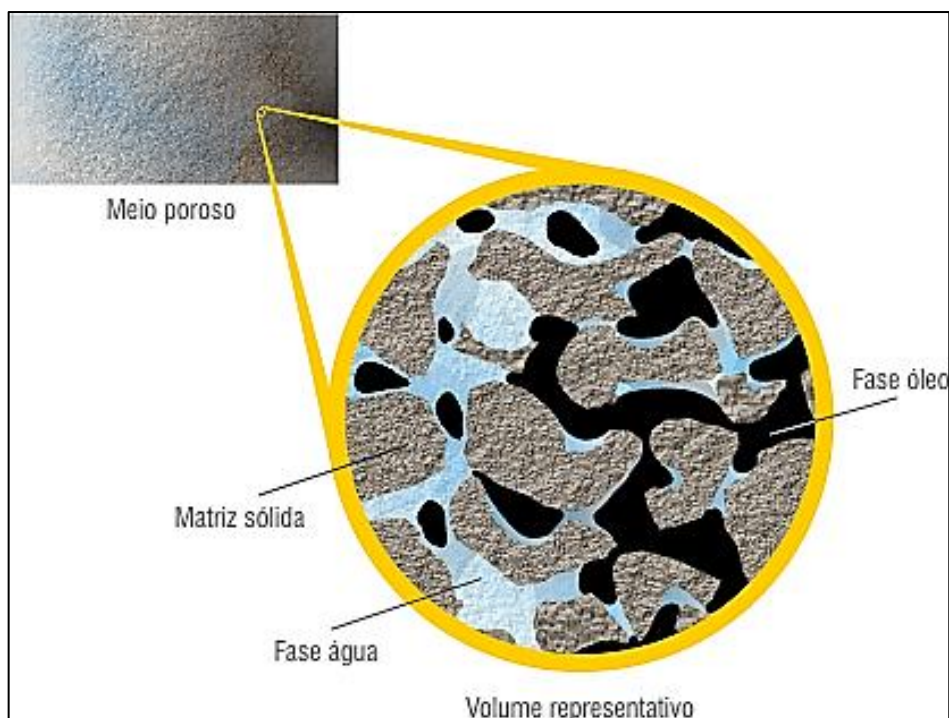


Figura 4 - Poro da rocha saturado com água e óleo.

Fonte: Maliska et al. (2017).

2.3.2. Composição e características da água produzida

Devido ao contato da água com o óleo no processo de produção de um poço, esta acaba absorvendo e carregando uma grande quantidade de contaminantes (THOMAS, 2004). Desta

forma as propriedades físicas e químicas da água produzida (AP) variam consideravelmente de acordo com a geologia de formação do reservatório, da posição geográfica do campo e do tipo de hidrocarboneto que está sendo produzido, podendo variar durante toda a vida de um reservatório (RIBEIRO, 2013).

Além disso, a água produzida de petróleo, após passar milhares de anos em contato com a rocha sedimentar, traz diferentes sais inorgânicos dissolvidos e componentes orgânicos.

Vários microrganismos, por exemplo algas, fungos, bactérias e outros, estão constantemente presentes na AP, tendo potencial de produzir substâncias de caráter corrosivo, como ácido sulfídrico. As águas produzidas apresentam maiores concentrações em cálcio do que em magnésio, possuem pequena concentração de sulfato e teores um pouco mais elevados de bário e estrôncio (BRASIL, 2016C). Tem, geralmente, pH menor que 7 e um teor de bicarbonato superior a 150 mg/L. Além desses constituintes, as AP são ricas em materiais em suspensão tais como, óleo e sólidos, provenientes das rochas (silte, argilas, gipsita e outros silicatos), de processos corrosivos (óxidos, sulfetos e hidróxidos de ferro) e de incrustações (carbonato de cálcio e sulfato de bário, estrôncio e cálcio) (THOMAS, 2004; MOTTA et al., 2013).

2.3.3. Emulsões

A emulsão é uma mistura de dois líquidos imiscíveis (não se mistura) em que uma das fases se encontra dispersa na outra sob a forma de finos glóbulos de tamanho microscópico ou coloidal, resultando uma mistura estável (SHAW, 1975).

As viscosidades individuais do óleo e da água podem ser consideravelmente menores do que as viscosidades das emulsões. Isto se deve ao comportamento não-Newtoniano mostrado por elas, causado pela aglomeração das gotas ou viscosidade estrutural. Em condições de equilíbrio, o óleo puro é imiscível na água pura, e não ocorre a formação de emulsões, ficando apenas óleo livre em suspensão na água. Para que exista uma emulsão são necessárias duas condições:

- Deve haver uma dispersão mecânica do óleo na água e vice-versa, com a introdução de minúsculas gotículas de uma fase no interior da outra.
- O meio deve conter algum agente químico que seja capaz de estabilizar essas gotículas de uma fase no interior da outra fase, impedindo a sua coalescência. Isto é, que as gotículas se unam umas às outras, crescendo e voltando a formar fases distintas. Na prática, a presença de óleo emulsionado é muito comum, e pode-se dizer que uma água

oleosa contém sempre óleo emulsionado, sendo o óleo livre a parcela de óleo que se encontra em excesso.

Ao longo da produção dos hidrocarbonetos, água pode vir emulsionada no óleo ou em forma de água produzida. A água emulsionada no petróleo deve ser extraída do sistema assim que passar da cabeça do poço, pois a mesma pode prejudicar etapas posteriores importantes nas áreas de produção, transporte e refino, e com isso aumentar os custos operacionais da empresa (DE SOUZA et al., 2016).

Um problema mais grave relacionado às emulsões de petróleo é a poluição das águas por óleo. Conforme descrito por Nicodem et al. (1997) a impureza das águas, ocasionada por petróleo e seus derivados estão em torno de 3,2 milhões de toneladas por ano, sendo que 92% são de modo direto relacionadas às atividades humanas e 8% deste é devido a acidentes em tanques de armazenamento. A geração de emulsões afeta diretamente na limpeza de um vazamento e na recuperação. Essa dificuldade está relacionada com as características da emulsão resultante: alta viscosidade e aumento de volume (DALMAZZONE et al., 1995).

Uma emulsão de óleo em água é uma dispersão de gotas de óleo numa fase contínua de água e pode ser chamada de emulsão óleo/água (O/A) ou água em óleo, (A/O), nas quais a fase contínua é óleo. Existe também as emulsões múltiplas, que são mais complexas, e consistem em minúsculas gotas suspensas em gotas maiores que estão suspensas na fase contínua, os tipos mais comuns são água/óleo/água (A/O/A) e óleo/água/óleo (O/A/O) (SOARES, 2016). A Figura 5 são apresentadas, esquematicamente, as estruturas das emulsões simples e múltiplas.

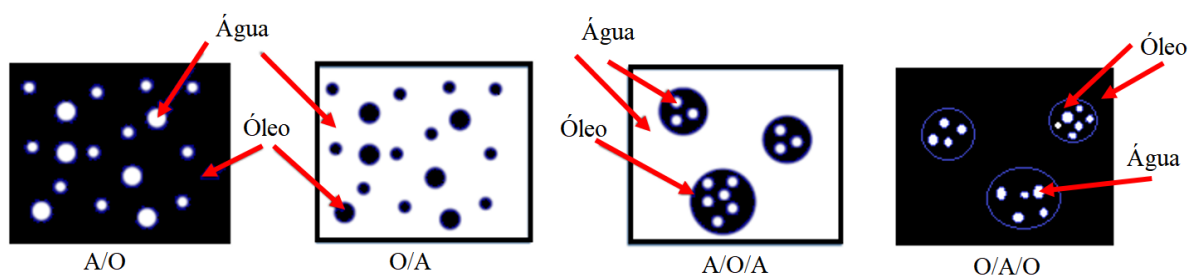


Figura 5 - Diferentes tipos de emulsões.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o trajeto do reservatório até a superfície, o óleo e água formam emulsões que podem apresentar maior ou menor estabilidade em função principalmente do regime de fluxo e

da presença de agentes emulsificantes como asfaltenos, resinas, argilas, sílicas e sais metálicos que impedem a coalescência das gotículas de água (THOMAS, 2004).

A desestabilização da emulsão é devida à ação de diferentes forças de campo: forças gravitacionais, forças repulsivas e atrativas intermoleculares, forças de fluxo e forças moleculares, estes são responsáveis pela ação dos mecanismos de desestabilização.

Para cada tipo de efluente é utilizado um processo específico de separação O/A, dependendo da natureza física do óleo, do teor total de óleo e da natureza química de outros componentes. Os métodos de tratamento mais comuns são a desestabilização química (coagulação/floculação), eletrocoagulação, centrifugação, processos de membrana e evaporação a vácuo (MATOS et al., 2016).

Segundo Thomas (2004) a adição de calor ou de produtos químicos minimizam o acúmulo de emulsão, porém estes procedimentos são preferencialmente aplicados na fase de tratamento do petróleo.

2.4. GERENCIAMENTO E TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA

Em campos terrestres a solução adotada para o destino água produzida (AP) é através da injeção em reservatórios, objetivando recuperar a pressão esgotada dentro do poço do reservatório e melhorar a recuperação do óleo. Nos campos terrestres, a AP também pode ser descartada na subsuperfície, após o devido tratamento, de forma que a mesma não venha ocasionar problemas ao meio ambiente e aos equipamentos de operações e ao reservatório do campo, através de corrosão e/ou entupimento. Em campos marítimos a AP pode ser lançada adequadamente ao mar, após reduzir o teor de óleo aos níveis exigidos pela legislação brasileira.

Em caso de descarte da água produzida, os requisitos da Resolução Conama nº 430 devem ser atendidos (BRASIL, 2011). Essa legislação complementa e altera a Resolução nº 357/2005. “Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA” no qual se refere a um valor padrão de teor de óleos e graxas (TOG) — concentração média mensal de até 20 mg/L, temperatura deve estar a baixo de 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura; — e define alguns parâmetros que devem ser monitorados, como os compostos inorgânicos, incluindo cromo (Cr), ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni) e chumbo (Pb). Além destes parâmetros, o pH deve estar entre 5 a 9.

Atualmente a norma criou a obrigatoriedade de análises diárias do TOG na água produzida a ser descartada no mar, com comunicado imediato à Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG) caso tais valores sejam ultrapassados.

O tratamento da água produzida de petróleo tem como objetivo recuperar parte do óleo emulsionado e condicioná-la para reinjeção ou descarte (MOTTA et al., 2013).

Thomas (2004) ressalta que, a água separada do petróleo é uma efluente cujo descarte tem que ser feito com os devidos cuidados, para não agredir o meio ambiente, em função:

- Do volume gerado. Em média, para cada barril de petróleo produzido são gerados de três a seis barris de água. Existem campos em que este número é superior ou igual a sete. Nas atividades de exploração, perfuração e produção, a água produzida responde por 98% de todos dos efluentes gerados;
- Da sua composição presença de sais, óleo e outros constituintes nocivos ao meio ambiente, ausência de oxigênio, temperatura elevada.

Grande parte da água que vem dos reservatórios juntamente com o óleo e o gás é facilmente separada por decantação simples nos separadores. No entanto, para remover o restante da água emulsionada, há necessidade de se utilizar processos físicos e químicos que aumentam a velocidade de coalescência (THOMAS, 2004). Os objetivos gerais dos operadores quando planejam tratamento da água produzida são:

- Desidratação - Remoção de óleo e graxa, livres e dispersos, presentes na água produzida.
- Compostos orgânicos solúveis- Remoção de compostos orgânicos dissolvidos.
- Desinfecção - Remoção de bactérias, microrganismos, algas, etc.
- Remoção de sólidos suspensos - Remoção de partículas em suspensão, areia, turbidez, etc.
- Eliminação de gases dissolvidos - Remoção de gases leves de hidrocarbonetos, dióxido de carbono, sulfureto de hidrogênio, etc.
- Dessalinização ou desmineralização - Remoção de sais dissolvidos, sulfatos, nitratos, contaminantes, agentes de incrustação, etc.
- Suavização - Remoção do excesso de dureza da água.
- Razão de adsorção de sódio (SAR) - Adição de íons cálcio ou magnésio na água produzida para ajustar os níveis de salinidade.
- Diversos - Remoção de materiais radioativos de ocorrência natural (NORM)

A Figura 6 mostra a localização de projetos de tratamento de água produzida no Brasil.



Figura 6 - Projetos de tratamento de água produzida no centro-oeste e sudeste do Brasil.

Fonte: Mitidiero (2017).

Em Carmópolis, a água para a rejeição é tratada na estação Bonsucesso, mas sua capacidade de tratamento está no limite, aumentando o risco do processo produtivo sofrer paradas frequentes, já que a água produzida não mais pode ser descartada no Rio Riachão nem em nenhum outro corpo d'água da região. Além disso, algumas vezes a água tratada para reinjeção não apresenta os requerimentos mínimos necessários, previsto na legislação brasileira, causando paradas de produção (CAMPOS et al., 2005). A planta de rejeição na estação Bonsucesso tem as seguintes especificações: capacidade de filtração de 22500 m³/d; peso vazio/operação cada filtro de 16,6/54,4 ton; dimensões de cada filtro: diâmetro igual a 3,66 m e altura total igual a 7,6 m; o TOG de entrada é igual a 60 mg/L, saída igual a 7-15 mg/L (NETO E MENDES, 2017).

2.4.1. Processos de tratamento

O tratamento e destino da água produzida dependem de várias condições, tais como: posicionamento da base de produção, legislação, viabilidade técnica, custos e disponibilidade de infraestrutura e de equipamentos (MOTTA et al., 2013). Para serem viáveis, as tecnologias de

tratamento de água produzida devem apresentar um custo operacional baixo e elevada eficiência em seu processo. A seguir, são detalhados alguns importantes processos de tratamento de água produzida.

a) Tanques separadores gravitacionais

Um tanque separador gravitacional de óleo/água é designado para promover uma remoção da água e do óleo livre, sendo o óleo mecanicamente coletado como material flotado. Frequentemente, é utilizado em conjunto com pré-tratamentos químicos empregados para quebrar emulsões e quando operado adequadamente pode remover de 50 a 70 % do óleo emulsionado. Os tanques separadores de óleo gravitacionais, como especificado pela API (*American Petroleum Institute*), são fundamentados na remoção das gotículas de óleo livre com glóbulos maiores de $150\mu\text{m}$ (LIMA, 1996). Possuem como desvantagem o fato de componentes solúveis de hidrocarbonetos totais do petróleo (TPH) não serem removidos com eficiência e a concentração do óleo livre pode estar numa escala de 15-100 mg/L. Normalmente, para remoção do óleo emulsificado é utilizada a técnica de flotação por ar dissolvido (FAD) auxiliada pela quebra da emulsão com adição de coagulantes e/ou polímeros flocculantes (ELLIS E FISCHER, 1973). A Figura 7 ilustra um separador gravitacional água-óleo.

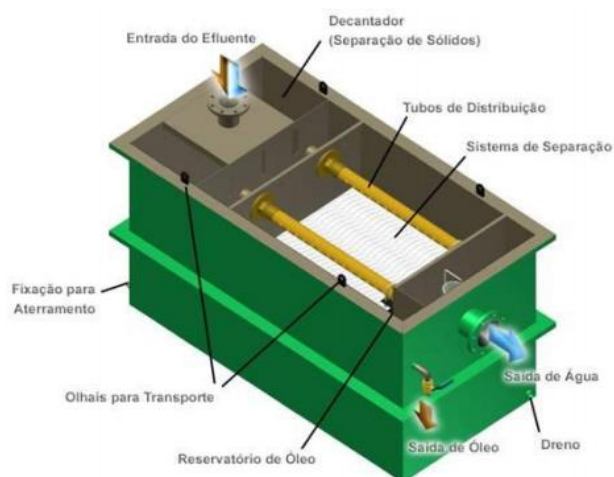


Figura 7 - Separador gravitacional água-óleo.

Fonte: Bioproject (2017).

b) Tratamento físico-químico

As fases de quebra da emulsão e de coagulação/floculação das gotículas de óleo são ocasionadas pela adição à água oleosa de um agente químico cujas características específicas

dependem do tipo de hidrocarboneto que está sendo tratado e do surfactante que existe no meio (SANTANA, 2009). No caso das águas oleosas, a redução da estabilidade é fundamental para se obter a separação das duas fases líquidas. O rompimento de uma emulsão se processa em três etapas diferentes, a saber, floculação, sedimentação e coalescência (SHAW, 1975).

Durante a desestabilização pela floculação de uma emulsão (Figura 8a), as gotículas se juntam e formam agregados sem perder o tamanho original como ilustrado na Figura 8(b). A floculação é um fenômeno de agregação de partículas mediante adição de polímeros floculantes. A floculação depende das interações entre as gotas, que incluem forças Van der Waals, forças eletrostáticas, forças de repulsão estérica e uma variedade de forças de curto alcance. O processo de sedimentação mostrado na Figura 8(c) pode ocorrer onde o tamanho e a distribuição de tamanho das gotas de emulsão não mudam. A sedimentação é causada pela gravidade, criando um gradiente de concentração devido às diferenças de densidade dos dois líquidos imiscíveis, por exemplo, as gotas de óleo de uma emulsão O/A podem estar sujeitas à sedimentação quando o óleo tem uma densidade mais baixa do que a fase aquosa. O aspecto principal que caracteriza a sedimentação é a manutenção da integridade física das gotas. A maturação de Ostwald mostrada na Figura 8(d) ocorre em emulsões onde a fase dispersa tem uma solubilidade limitada na fase contínua, de modo que grandes gotas crescem à medida que gotas menores diminuem de tamanho devido ao transporte do líquido solúvel da pequena gota para a grande gota através da fase contínua. A coalescência mostrada na Figura 8(e) é um fenômeno em que muitas as gotas se fundem para criar gotas cada vez maiores, reduzindo assim a área interfacial total do sistema. Outro processo pelo qual uma emulsão é transformada é a inversão de fase. Durante este processo, a fase dispersa torna-se a fase contínua e vice-versa.

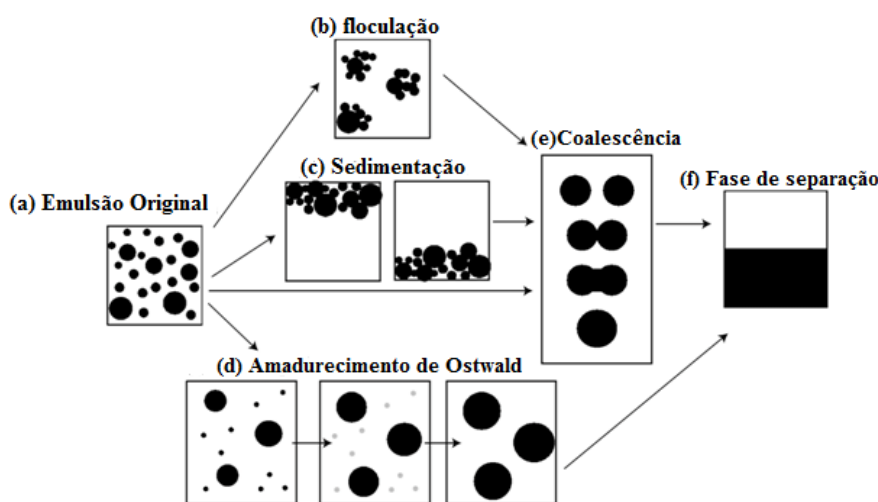


Figura 8 - Mecanismos envolvidos na desestabilização de emulsões.

Fonte: Lopetinsky et al. (2006).

c) Tratamento biológico

O tratamento biológico é dividido em dois tipos, aeróbio e anaeróbio. O sistema aeróbio que se caracteriza pela presença de oxigênio é o processo mais utilizado nos países desenvolvidos, pois a aeração requerida para fornecer oxigênio aos microrganismos aeróbios necessita de grandes quantidades de energia elétrica, além de produzir consideravelmente quantidades de CO₂. Já no sistema anaeróbico que se caracteriza pela ausência de oxigênio, ocorre a fermentação, que não convertendo totalmente a matéria orgânica pela ausência de oxigênio no meio, forma gases metano e CO₂ que podem ser aproveitados como forma de energia (METCALF E EDDY, 2015).

Dentre os tratamentos biológicos, as lagoas são as mais utilizadas, devido à facilidade encontrada na sua operação, manutenção e baixo consumo de energia (GRADY JR et al., 2011). Dentre as lagoas, as facultativas são as mais simples e constituem unicamente por processos naturais. Estas podem ser divididas em três zonas: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa. Apresentam eficiência de remoção que variam de 70 a 90 % de remoção de TOG, tendo como desvantagem o alto tempo de retenção hidráulica, que pode variar de 15 a 20 dias. A lagoa de mistura completa, diferente da citada anteriormente, é capaz de manter os sólidos suspensos e a biomassa dispersa na massa líquida e seu tempo de retenção hidráulica cai para a ordem de 2 a 4 dias, ocupando assim uma menor área entre todos os sistemas compostos por lagoas. Contudo, continua sendo a que consome maior quantidade de energia. O sistema de lodos ativados é o que necessita de menor área por exigir o menor tempo de retenção hidráulica que é bem pequeno, cerca de 6 a 8 horas, necessitando de recirculação de lodo, para aumentar a quantidade de microrganismos no tanque de aeração ou reator. Neste processo ocorre alto consumo de energia elétrica tanto para a aeração como para a recirculação de lodo (SANTANA, 2009). A eficiência do processo aeróbio irá depender da biodegradabilidade dos contaminantes presentes na água produzida, sendo a maioria dessas águas consideradas de fácil degradação (HANSEN, 1994).

d) Tratamento por *stripping*

O tratamento “*air stripper*” ou “*stripping*” é considerado uma tecnologia viável para tratar muitos compostos orgânicos voláteis (VOC's) dissolvido na água contaminada. No sistema pode ser utilizado o ar comprimido, o nitrogênio, o gás natural ou o vapor para remover VOC's na água transferindo-os para a fase gasosa.

As colunas recheadas têm sido amplamente aplicadas em indústrias petroquímicas e no tratamento de águas produzidas. Neste método, a água produzida (contaminada) é bombeada para o topo da coluna e o gás é introduzido na base da coluna. Os dois fluidos entram em contato em contracorrente. O gás contaminado, produto do topo da coluna de *stripping* é resfriado até 20°C, para condensação dos compostos orgânicos. Com isso, é possível remover 90% dos compostos aromáticos e 60% dos compostos alifáticos (MOACYR, 2008).

e) Outros equipamentos de separação

Os hidrociclones, utilizados em campos marítimos, os separadores API, nos sistemas de produção terrestres, e a flotação, que tanto é usada em campos marítimos quanto em campos terrestres, são os processos de separação óleo/água atualmente mais utilizados pela indústria de petróleo.

A flotação procura recuperar o resíduo de óleo através de separação gravitacional, enquanto que os hidrociclones (Figura 9) procuram acelerar este processo (THOMAS, 2004).

Hidrociclones são equipamentos que realizam a separação de misturas sólidas ou líquidas de um fluido. Esses equipamentos têm tido destaque nos processos de separação, devido à facilidade apresentada durante a construção e menor necessidade de espaço físico para sua instalação, se comparado a outros separadores (SVAROVSKY, 2000; SALVADOR et al., 2015).

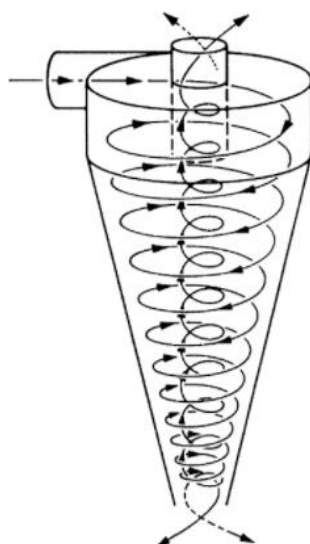


Figura 9 - Exemplo esquemático de um hidrociclone.

Fonte: Bradley (2013).

O tubo de despejo (Figura 10) também é outro equipamento utilizado para tratamento da água produzida, principalmente nos campos offshore. Este equipamento apresenta câmaras de decantação e anteparos de retenção para promover tempo extra de residência para separar qualquer óleo provenientes do hidrociclones. A água oleosa recuperada é enviada ao tanque recuperador, enquanto o restante é descartado para o meio ambiente (THOMAS, 2004).

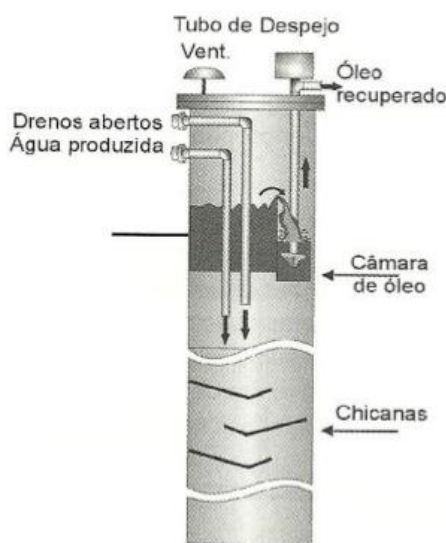


Figura 10 - Esquema de um tubo de despejo.

Fonte: Thomas (2004).

A corrosão é o principal problema causado pelas águas originárias da produção de petróleo. Assim, é necessário que os equipamentos utilizados durante a produção sejam de materiais metálicos com tratamento anticorrosivo, que resistam ao caráter agressivo dessa água.

2.5. COAGULAÇÃO

A coagulação são todas as reações e mecanismos envolvidos no processo de desarranjo das partículas coloidais, de maneira que forme partículas mais densas por meio da floculação. Esses flocos maiores são decorrência das colisões entre partículas (METCALF E EDDY, 2015). O coagulante é adicionado no tratamento do efluente objetivando melhorar o processo de floculação, reduzindo as forças de atração e permitindo que as partículas se incorporem, removendo o material em suspensão (FERNANDES, 2009).

Nas estações de tratamento de água, ocorre a coagulação/floculação, que é a aglomeração em flocos das partículas sólidas para que sejam removidas com mais facilidade.

Essa etapa visa aglomerar as partículas, aumentando o seu volume e peso, permitindo a decantação (DE SOUZA et al., 2015).

Para Di Bernardo (2004) a coagulação é resultante da ação individual ou combinada, de quatro mecanismos distintos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização de cargas, varredura e adsorção e formação de pontes:

- Compressão da camada difusa- a introdução de sais simples, como o cloreto de sódio em um sistema coloidal ocorre o aumento da concentração de íons positivos e negativos (força iônica grande) na água, ocasionando um acréscimo do número de íons na camada difusa, que, para se manter eletricamente neutra, tem seu volume reduzido (diminuição da espessura), de modo tal que as forças de van der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática (WIMMER, 2007).
- Adsorção e neutralização de cargas- a desestabilização de uma dispersão coloidal consiste nas interações entre coagulante-solvente, coagulante-coloide e solvente-coloide. Para grandes dosagens de coagulantes acontece a reestabilização dos coloides, fenômeno também conhecido como reversão de cargas, isto é, os coloides se tornam carregados positivamente pelo excesso de íons que têm carga +1. A quantidade de coagulante necessária para neutralização da carga será diretamente proporcional à área superficial do coloide, ou seja, para a água que apresentar maior número de partículas com menores tamanhos serão necessárias maiores concentrações de coagulante (LIBÂNIO, 2010). Di Bernardo (2004) afirma que este mecanismo é muito importante quando se aplicam tecnologias de filtração direta, pois não há necessidade de produção de flocos para posterior sedimentação, mas de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio granular dos filtros.
- Varredura- dependendo da quantidade adicionada de coagulante, do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons na água, poderá ocorrer a formação de precipitados do tipo $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$. O mecanismo de varredura é o mais utilizado em estações de tratamento de água (ETA's) convencionais, onde existe a coagulação, floculação e a sedimentação, devido à maior faixa de abrangência de pH, levando também a uma maior facilidade de operação. Os flocos que serão formados com o mecanismo da varredura devem ter densidade suficiente para serem sedimentados nos decantadores (DI BERNARDO E DANTAS, 2006; SANTOS et al., 2007).
- Adsorção e formação de pontes- processo que envolve o uso de polímeros naturais ou sintéticos de grandes cadeias moleculares, os quais servem de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas. Esses polímeros podem ser classificados como

aniônicos, catiônicos, anfotéricos e não-iônicos (DI BERNARDO E DANTAS, 2006). Nessa situação, a coagulação pode ocorrer por intermédio da formação das pontes químicas quando as partículas coloidais são adsorvidas na superfície das numerosas cadeias dos polímeros (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com Madrona et al. (2010), muitos coagulantes são largamente empregados nos processos convencionais de tratamento de água com base nas suas características químicas. Podem-se citar os coagulantes químicos, também chamados de sintéticos ou inorgânicos, e naturais.

2.5.1. Coagulantes inorgânicos

Os coagulantes inorgânicos ou sintéticos são comumente utilizados para o tratamento de águas residuais. Podem ser aplicados diretamente às águas residuais, a fim de desestabilizar os materiais coloidais e fazer com que as partículas pequenas se aglomerem em flocos maiores (FERNANDES, 2009; GOMES et al., 2014; RANA E SURESH, 2017).

De acordo com Tyler e Simmons (2017) os principais coagulantes químicos utilizados para o tratamento de água no mundo são:

- Sulfato de Alumínio- muitas vezes podem trazer riscos à saúde da população por exemplo, devido ao alumínio remanescente na água tratada e da grande quantidade de lodo produzido. Podem apresentar agentes corrosivos como ácido sulfúrico diluído. O alumínio é fabricado como um líquido, e a forma cristalina são desidratados do líquido.
- Cloreto de alumínio: Geralmente, o cloreto de alumínio funciona de forma semelhante ao sulfato de alumínio, mas geralmente é mais caro, perigoso e corrosivo. Por causa disto, é normalmente uma segunda escolha para o tratamento de água.
- Sulfato férrico e sulfato ferroso: Coagulantes de ferro funcionam de forma semelhante aos coagulantes de alumínio, mas o custo pode variar com base na fonte local de abastecimento. O sulfato férrico é o mais comumente utilizado, mas o sulfato ferroso é tipicamente utilizado em aplicações em que é necessário um agente redutor ou íons de ferro solúvel em excesso.
- Cloreto férrico: O cloreto férrico é geralmente o coagulante inorgânico mais barato, porque é gerado como um material residual de operações de fabricação de aço. No

entanto, é de longe o coagulante inorgânico mais corrosivo e perigoso, e seu uso é limitado a instalações equipadas para manuseá-lo com segurança.

As principais propriedades e especificações do sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico são apresentadas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Propriedades dos coagulantes inorgânicos.

Nome comercial	Composição típica	Concentração usuais aplicadas em estações de tratamento (mg/L)	Massa específica (kg/m³)	Disponibilidade
Sulfato de alumínio	Al ₂ (SO ₄) ₃ .H ₂ O	10 a 60	600 a 1400	Sólido ou líquido
Cloreto férrico	FeCl ₃ .6 H ₂ O	5 a 40	1425	Sólido ou Líquido
Sulfato férrico	FeSO ₄ .9 H ₂ O	5 a 40	1530 a 1600	Sólido ou Líquido

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2006).

As desvantagens associadas ao uso de coagulantes inorgânicos são: a ineficácia em baixa temperatura, produção de grandes volumes de lodo tóxico, efeito significativo sobre o pH da água tratada e efeitos adversos para a saúde humana (MORAES et al., 2005; VISHALI E KARTHIKEYAN, 2014).

Existem fortes evidências ligando os coagulantes à base de alumínio ao desenvolvimento da doença de Alzheimer no ser humano (MARTYN et al., 1989), além disso, os íons de alumínio em excesso no organismo dos seres humanos podem resultar na incapacidade de absorção de flúor, fósforo e cálcio, resultando no impedimento do crescimento e diminuição da densidade óssea (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO, 2000).

Segundo Barroso et al. (2016) os coagulantes clássicos ou convencionais, como por exemplo o cloreto férrico têm uma aplicação restrita a pH entre 5 e 11. Quando o pH da água não se encontra nessa faixa, costuma-se adicionar cal ou aluminato de sódio. Além disto, o cloreto férrico não é biodegradável, podendo ocasionar problemas na disposição e tratamento do lodo gerado.

Conforme descrito por Mitidiero (2017) são geradas 22 toneladas/ dia de lodo inorgânico no Brasil, mostrando assim, que o uso de coagulantes químicos é uma alternativa tecnológica com baixa sustentabilidade ambiental.

2.5.2. Coagulantes naturais

Os polímeros orgânicos naturais têm sido usados há mais de 2000 anos na Índia, África e China como coagulantes eficazes, inclusive em casos de alta turbidez da água. Eles podem ser fabricados a partir de sementes de plantas, folhas e raízes (KAWAMURA, 1991).

A coagulação com extratos de vegetação natural e renovável tem sido amplamente utilizada, devido ao fato de serem biodegradáveis, não alterarem o pH e serem seguros para a saúde humana. Existe uma variedade de coagulantes naturais usados em todo o mundo, dependendo da disponibilidade (OKUDA et al., 1999; VALVERDE et al., 2014; VISHALI E KARTHIKEYAN, 2014).

Foram identificados vários coagulantes eficazes a partir do extrato de origem vegetal: Nirmali, quiabo, mostarda, alho, feijão vermelho, açúcar e milho vermelho (BODLUND et al., 2014; RAVINDRAN et al., 2015; VIJAYARAGHAVAN E SHANTHAKUMAR, 2015; BANCHÓN et al., 2016; JONES E BRIDGEMAN, 2016), *Moringa oleifera* (BERGER et al., 1984; JAHN, 1988; SANTANA et al., 2010; VALVERDE et al., 2014; DOS SANTOS et al., 2016).

Coagulantes naturais têm futuro promissor e estão sendo procurados por muitos pesquisadores por causa de sua abundante fonte, baixo preço, multifuncional e natureza biodegradável.

Alguns coagulantes nos últimos anos vêm sendo estudados mais intensamente que os outros, como é o caso da *Moringa oleifera* Lam, da quitosana e tamarindo, devido à elevada eficiência nas remoções dos contaminantes da água. (MARTINS et al., 2014; FRIEDRICH et al., 2015; HERNÁNDEZ et al., 2015; FRANCO et al., 2017). A Tabela 2 apresenta as famílias e o número de espécies que são conhecidas pelas propriedades coagulantes das suas sementes.

Tabela 2 - Número de espécies vegetais com capacidade coagulante.

Família	Número de Espécies Usadas para Clarificar água Bruta
<i>Acanthaceae</i>	03
<i>Anacardiaceae</i>	05
<i>Annonaceae</i>	03
<i>Araceae</i>	02
<i>Cactaceae</i>	11
<i>Capparidaceae</i>	08
<i>Malvaceae</i>	05
<i>Moringaceae</i>	07
<i>Papilionideae</i>	13
<i>Tiliaceae</i>	07

Fonte: Jahn (1986).

Das várias espécies de plantas estudadas em todo mundo, as da família das *Moringaceae*, especificamente, as espécies *Moringa oleifera* Lam e a *Moringa Stenopetola* apresentam grande poder em tratar a água que contenham impurezas.

Moringa oleifera Lam são cultivadas em toda a faixa tropical e utilizadas para uma variedade de fins. Chegou ao Brasil por volta de 1950 e hoje pode ser encontrada na região nordeste, principalmente nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará (MATOS, 1998; LORENZI E MATOS, 2002). A Tabela 3 mostra as espécies mais comuns de moringa e sua distribuição pelo mundo.

Tabela 3 - Espécies mais comuns de moringa.

Ordem: <i>Cappridales</i>. Família: <i>Moringaceae</i>	
Espécies	Distribuição
<i>Moringa oleifera</i> Lam	Pantropical
<i>Moringa concanensis</i>	Índia
<i>Moringa peregrina</i>	Egito, Sudão, Península arábica
<i>Moringa stenopetala</i>	Etiópia, Quênia
<i>Moringa longituba</i>	Somália
<i>Moringa ovalifolia</i>	Namíbia
<i>Moringa Drouhardii</i>	Madagáscar

Fonte: Jahn (1986).

2.6. MORINGA OLEIFERA LAM

A *Moringa oleifera* Lam é uma das espécies da família *Moringaceae* originária no nordeste indiano, estando amplamente espalhada na Índia, Egito, Filipinas, Ceilão, Tailândia, Malásia, Burma, Paquistão, Singapura, Jamaica e Nigéria (RAMACHANDRAN et al., 1980; CORRÊA, 1985). Segundo Duke (1987) a *Moringa oleifera* Lam apresenta facilidade em se adaptar climaticamente, crescendo em regiões desde as subtropicais secas e úmidas, até tropicais secas e florestas úmidas.

Todas as partes da planta *Moringa oleifera* Lam são utilizadas. As folhas, frutos verdes, flores e até mesmo as sementes torradas são aproveitadas na alimentação. As folhas têm um elevado conteúdo de proteína (em torno de 27%) e são ricas em β -caroteno, ácido ascórbico, vitaminas A e C, cálcio, ferro e fósforo e atuam como uma boa fonte de antioxidantes naturais (FAHEY, 2005; KATAYON et al., 2006; MARINHO et al., 2016).

Na Índia os agricultores usam as folhas de *Moringa oleifera* Lam como alimento para recuperar crianças e adultos muito desnutridos (SANTANA et al., 2010; MARINHO et al., 2016). Na Figura 11 são mostradas a planta adulta (A), as vagens (B), sementes (C) e as flores (D).

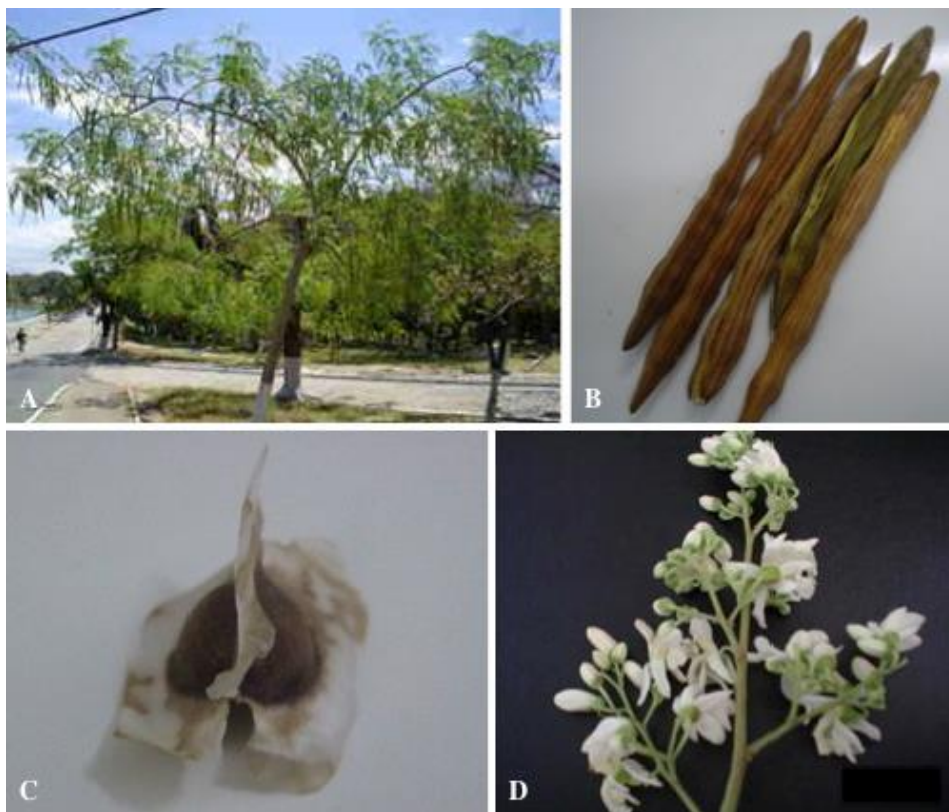


Figura 11 - Partes da *Moringa oleifera* Lam: Planta adulta (A), as vagens (B), sementes (C) e as flores (D).

Fonte: Ferreira et al. (2014).

No Oeste da África, muitos países a usam diariamente na alimentação humana, por apresentar altas concentrações de fósforo, ferro e proteína. A flor contém propriedades melíferas sendo, portanto, aproveitadas na apicultura. O chá de flores de moringa é bastante utilizado, por apresentar o uma boa fonte de compostos bioativos (ALVES et al., 2005; GUALBERTO, N. C. et al., 2015).

Segundo A Jesus et al. (2013) *Moringa oleifera* Lam foi altamente valorizada no mundo antigo:

- Era usada por romanos, gregos e egípcios na produção de perfume e loção, através da retirada do óleo das sementes. O óleo da moringa também era utilizado para a proteção da pele da população no clima desértico por antigos egípcios.

- Na Índia antiga, os guerreiros Maurian durante a guerra ingeriam as folhas pois acreditavam que as mesmas acrescentavam forças do seu corpo.
- Em 1817 nas ilhas jamaicanas foi apresentada em assembleia um requerimento sobre do óleo da moringa. O óleo da planta foi apresentado como sendo adequado para fins culinários, especificamente em saladas. As folhas e vagens foram utilizadas em receitas típicas da região.
- Nos últimos anos a moringa está sendo levada para vários continentes com diversos ambientes semitropicais e tropicais (como é o caso do Brasil).
- As folhas comestíveis vêm sendo consumidas em todas as regiões do mundo, desde o oeste da África até algumas áreas da Ásia. Além das folhas, outras partes (por exemplo, sementes e flores) são regularmente usadas para alimentação, medicina e fins terapêuticos.

A indústria de cosméticos também utiliza a semente da *Moringa oleifera* Lam devido a ampla quantidade de óleo existente em sua semente (GAMA et al., 2014).

Alguns coagulantes naturais, principalmente, a *Moringa oleifera* Lam se destaca como um dos mais favoráveis no tratamento de água contaminada (FERREIRA et al., 2014; VALVERDE et al., 2014; GOPALAKRISHNAN et al., 2016; BLANCO et al., 2017; FRANCO et al., 2017).

As sementes de *Moringa oleifera* Lam não são tóxicas e vêm sendo utilizadas por pesquisadores como coagulante natural no tratamento de água (CAMACHO et al., 2017).

Os elementos ativos nas sementes da *Moringa oleifera* Lam são considerados proteínas dímeras catiônicas. Estas proteínas são densamente carregados com peso molecular de cerca de 13kDa, sendo o mecanismo neutralização e adsorção responsáveis pela destabilização das partículas contidas na água (NDABIGENGESERE et al., 1995).

O uso de extrato das sementes de *Moringa oleifera* Lam é uma alternativa viável de agente coagulante associado com a filtração, oferecendo melhorias significativas no tratamento de efluente (VALVERDE, 2014B; MATEUS et al., 2015).

Dentre as vantagens da utilização da *Moringa oleifera* Lam no tratamento de água podem ser citados:

- O processo não modifica o pH da água e a condutividade após o tratamento, devido a *Moringa oleifera* Lam não consumir a alcalinidade do meio;
- Não causa problemas de corrosão;
- Como coagulante, o extrato da *Moringa oleifera* Lam não é tóxico, sendo biodegradável;

- O lodo formado é biodegradável e consequentemente processos envolvendo este coagulante representam uma tecnologia ambientalmente correta. Observa-se ainda um volume de quatro a cinco vezes menor do que o volume de lodo químico produzido pelo alumínio;
- Como fonte de coagulante natural, a *Moringa oleifera* Lam pode ser um substituto potencial viável ao sulfato de alumínio, sendo um método fácil e de baixo custo para países em desenvolvimento.

Dentre as desvantagens, pode ser mencionada a possibilidade de incremento de teor de carbono total da AP tratada devido à introdução da matéria orgânica adicional originária das sementes e que acompanha o agente coagulante efetivo, podendo causar problemas de cor, odor e sabor, se a dose adicionada for muito alta. No entanto, essas desvantagens não comprometem o descarte da água produzida após o tratamento, já que a resolução CONAMA nº 430/2011 não estabelece um padrão para esses parâmetros.

Mesmo que o custo dos coagulantes naturais seja maior que o custo dos sais de alumínio e ferro, as reduzidas dosagens requeridas diminuem o custo, próximos aos dos coagulantes inorgânicos (VAZ et al., 2010).

2.7. TRABALHORES ANTERIORES SOBRE A UTILIZAÇÃO DA MORINGA COMO COAGULANTE

Daud et al. (2015) investigaram a eficácia dos processos de coagulação/floculação para a remoção de sólidos suspensos (SS), cor, carbônico orgânico dissolvido (COD) e teor de óleos e graxas (TOG) a partir de águas residuais de biodiesel. Os coagulantes estudados foram o sulfato de alumínio, o policloreto de alumínio (PAC), o cloreto férrico e o sulfato férrico. Os autores mostraram que O PAC, na concentração ótima (300 mg/L), apresentou uma porcentagem de remoção de 97%, 95%, 75% e 97%, para os parâmetros SS, a cor, a COD e TOG, respectivamente. O sulfato de alumínio na concentração ótima (500 mg/L) teve eficiência de remoção de 92% para SS, 92% para cor, 53% para COD e 99% para TOG. O cloreto férrico na concentração ótima (350 mg/L) teve eficiência de remoção de 95% para SS, 93% para cor, 63% para COD e 97% para TOG. Já para o sulfato férrico na concentração ótima (450 mg/L) a eficiência de remoção foi de 88%, 88%, 54% e 94% para os parâmetros SS, a cor, a COD e TOG, respectivamente.

Rôla et al. (2016) avaliaram a eficiência de remoção de turbidez em águas captadas em período de estiagem usando dois coagulantes, o policloreto de alumínio (PAC) e o tanino (*Tanfloc*). A eficiência máxima utilizando o PAC foi 94%, em pH 7 e concentração de 0,028 g/L. Utilizando o tanino, a eficiência foi 92%, em pH 6,95 e concentração de 0,017 g/L. Os autores também realizaram um estudo de viabilidade econômica levando em conta os gastos com os coagulantes.

O policloreto de alumínio (PAC) foi utilizado como coagulante por Veréb et al. (2017) no tratamento de águas contaminadas. A concentração ótima do coagulante foi 20 mg/L. O PAC apresentou eficiência de remoção de 96,7% para turbidez, 96,4% para carbono orgânico dissolvido (COD) e 96,4% para teor de óleo e graxas (TOG). Resultados similares foram obtidos por Díaz et al. (2017), onde apresentaram uma eficiência de remoção de 96% para TOG, utilizando o mesmo coagulante na concentração ótima (150 mg/L).

Jones e Bridgeman (2016) utilizaram o extrato da semente do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) como coagulante natural no tratamento de água potável. Os autores analisaram os seguintes parâmetros; efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e pH da água. O extrato da semente do quiabo preparado em meio salino alcançou uma melhoria notável na eficiência do tratamento com o tempo de armazenamento e mostrou bom desempenho em qualidade após tratamento térmico nas temperaturas de 60, 97 e 140°C por 6, 4 e 2 horas, respectivamente. Verificou-se também que, nas concentrações ótimas do coagulante, ou seja, entre 40-60 mg/L, o pH da água após o tratamento não teve mudanças significativas. A eficiência máxima de remoção do parâmetro turbidez foi de 98%.

Freitas et al. (2015) estudaram a otimização do processo de coagulação/floculação para o tratamento de águas residuais industriais utilizando o extrato de sementes de quiabo (*Abelmoschus esculentus*) como coagulante natural, associado ao coagulante inorgânico cloreto férrico (Fe^{3+}). Os resultados mostraram que utilizando uma pequena concentração do extrato do quiabo; 3,20 mg/L e do cloreto férrico; 88,0 mg/L a pH 6,0, a eficiência de remoção foi 93,57% para cor, 97,24% para turbidez e 85,69% para o COD.

Madhavi e Rajkumar (2013) avaliaram a eficácia do pó da semente de tamarindo (*Tamarindus Indica*) como coagulante natural para redução da turbidez na melhoria da qualidade das águas residuais. Os resultados obtidos mostraram a redução de 78% para turbidez. Os autores verificaram também que, em condições ideais do sistema de pH, há uma redução significativa na concentração de coagulante necessária e, em alguns casos, um aumento adicional na remoção de turbidez.

Oladoja et al. (2017) utilizaram o extrato da semente de *Margaritaria discoidea* como coagulante primário na remoção de turbidez em sistema aquoso. A concentração ótima do coagulante foi de 10 mL/L, obtendo uma eficiência de remoção acima de 90% do parâmetro turbidez. Os autores também realizaram as determinações dos perfis do tempo-concentração na remoção de turbidez, onde os ensaios mostraram que o valor inicial da turbidez influenciou significativamente os valores das eficiências de coagulação obtidas, no tempo de amostragem de cinco minutos, os valores da eficiência de coagulação obtida variaram entre 0,5% (para o menor valor de turbidez inicial, ou seja, 87,5 NTU) e 76,6% (para o maior valor inicial de turbidez, ou seja, 1400 NTU), mostrando que a eficiência de remoção do parâmetro turbidez, foram maiores em valores de turbidez iniciais elevados do que em valores de turbidez iniciais inferiores.

Hernández et al. (2015) avaliaram o uso do extrato de sementes de tamarindo (*Tamarindus Indica*) como coagulante alternativo no tratamento de águas com alta turbidez. A faixa de turbidez da água estudada variou entre 100 a 350 NTU e a concentração do extrato entre 60 e 111 ppm. As melhores concentrações foram 61,83 ppm, para a turbidez inicial de 100-200 NTU, 86,56 ppm, para a turbidez inicial de 300 NTU e 74,19 ppm, para a turbidez inicial de 350 NTU. Os resultados mostraram a eficiência do coagulante, obtendo porcentagens de remoção para a turbidez após o tratamento entre 72,45% e 89,09% nas concentrações ótimas, antes da filtração; e entre 98,78% e 99,71%, após o processo de filtração.

Wang et al. (2017) estudaram o comportamento do coagulante obtido a partir do extrato da quitosana em diferentes espécies de alumínio (Al), para tratar águas residuais. Foram investigados os efeitos das concentrações de coagulante e pH inicial na remoção de cor e formação de flocos. Os resultados mostraram que a eficiência poderia ser significativamente melhorada com a adição do extrato, devido à forte interação entre flocculantes e agregados de corantes Al. Com base na eficiência de remoção de cor e custo de coagulantes, a concentração ótima foi de 8 mg/L e 2 mg/L para diferentes espécies de Al (Al_a, Al_b, Al_c) e quitosana. A influência do pH foi avaliada sob diferentes faixas, variando entre 4 a 9 na concentração ótima, a eficiência de remoção de cor alcançou os valores de pico a pH 6. O tamanho dos flocos foi aumentado à medida que adicionou quitosana, especialmente em concentrações inferiores de Al.

Já Rao (2015) avaliou o uso da quitosana como coagulante no tratamento de águas residuais da indústria têxtil. Os parâmetros operacionais foram a concentração ótima de quitosana, pH e tempo de mistura. Os resultados dos autores mostraram que a concentração ótima de quitosana para o processo de coagulação e floculação efetiva é de 30 mg/L e o tempo

de mistura ótima é de 20 minutos a 175 rpm. O floco produzido pelo quitosana aparece rapidamente e forma um tamanho grande a pH 4. A partir do estudo experimental, a % de redução de carbono orgânico dissolvido (COD) de águas residuais têxteis foram cerca de 63 - 64% usando a quitosana como coagulante. Ahmad et al. (2006) concluíram que a quitosana é mais eficiente do que os coagulantes tradicionais sulfato de alumínio e policloreto de alumínio (PAC) em um estudo sobre o tratamento do óleo residual e sólido suspenso do efluente do moinho de óleo de palma. Para alcançar os mesmos objetivos de tratamento, a operação com o polímero natural requer menor concentração de coagulantes, menos tempo de mistura e menor tempo de sedimentação.

Camacho et al. (2017) estudaram a utilização do extrato da semente da Moringa (*Moringa oleifera* Lam) como coagulante natural no tratamento de águas superficiais. Diferentes métodos de preparo do coagulante foram propostos a partir do extrato da semente da planta. A preparação do extrato foi feita com e sem células *Microcystis aeruginosa*, em pó integral (com óleo), com extração do óleo contido nas sementes com etanol e com extração em meio salino. O método em pó integral, na concentração de 50 mg/L, foi o que apresentou a melhor eficiência de remoção, obtendo uma redução de 85% de turbidez, mostrando assim, que a extração do óleo não é necessária. Também foi demonstrado pelos autores que a moringa é capaz de remover parte da matéria orgânica presente na água, obtendo uma eficiência entre 40 e 50% ao usar o extraído com NaCl.

Vijayaraghavan e Shanthakumar (2015) avaliaram a eficiência do extrato da semente da moringa e de feijão (*Phaseolus vulgaris*) como coagulante para a remoção do corante vermelho do Congo a partir de uma solução aquosa e compararam com o coagulante inorgânico sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$. Os parâmetros analisados pelos autores foram o pH, concentração ótima do coagulante, concentração inicial de corante e tempo de estabilização. A condição ótima para a remoção máxima de cor foi obtida com: pH 4, concentração de coagulante de 30 mg/L para moringa e sulfato de alumínio e 30 mL/L para o feijão. O tempo ótimo de estabilização foi de 60 minutos para os coagulantes naturais estudados e 50 minutos para o coagulante inorgânico sulfato de alumínio. As melhores eficiências de remoções do corante foram de 83% e 73% e 77% para a moringa, o feijão e sulfato de alumínio, respectivamente.

Bodlund et al. (2014) realizaram testes com diferentes variedades de sementes mostarda (*Sinapsis alba*) quanto à presença de proteína coagulante em comparação com o extrato de sementes de moringa e sua potencial aplicação no tratamento da água. O extrato de

mostarda e a semente de moringa apresentaram uma eficiência de remoção de 70 % e 85% de turbidez, após 90 min, respectivamente.

Garde et al. (2017) utilizaram o extrato da semente de moringa como coagulante para tratar as águas residuais da fermentação do café, variando em cinco níveis o pH (3-7) e a concentração do coagulante. Os autores também avaliaram os sólidos suspensos totais (SST), carbono orgânico dissolvido (COD), nitrato, nitrito, nitrogênio total e pH do sobrenadante de cada teste. Os resultados obtidos mostraram a redução de SST de 8% - 54%. A remoção de COD insolúvel variou de 26% a 100% e a remoção de COD total variou de 1% a 25%. A eficiência de remoção de nitrato e nitrito variou de 20% a 100%.

O sulfato de alumínio associado ao extrato das sementes de moringa em meio aquoso, foram utilizados por Freitas et al. (2016) como coagulantes para reduzir a turbidez e a toxicidade de águas residuais. A eficiência de remoção do parâmetro turbidez foi de 96,8%, utilizando o sulfato de alumínio seguido pelo extrato da semente de moringa e 91,3%, aplicando o coagulante sintético e natural, simultaneamente. Os autores verificaram também que o uso combinado do sulfato com o extrato da semente diminuiu a concentração residual do sulfato.

Valverde et al. (2016) investigaram a eficiência da associação da moringa juntamente com o coagulante inorgânico policloreto de alumínio (PAC) em diferentes dosagens e pHs de coagulação. Todos os ensaios de coagulação/floculação e sedimentação foram realizados no equipamento *jar-test*. Os parâmetros de qualidade analisados foram; cor aparente, turbidez e compostos com absorção em UV_{254nm}. Quando utilizado a associação do coagulante natural e sintético, obteve resultados satisfatórios, apresentando uma eficiência de remoção superior a 90% para cor aparente e turbidez, e 80% para compostos com absorção em UV_{254nm}.

Arantes et al. (2016) utilizaram o extrato de moringa (*Moringa oleifera* Lan) e tanino (*Tanfloc SG líquido*) como coagulantes naturais em sistema de tratamento de água, com a finalidade de remover o parâmetro turbidez. Nos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, a concentração ótima de coagulante utilizada foi igual a 0,5 g/L. Quando utilizado o *Tanfloc*, os valores de remoção de turbidez foram sempre superiores a 99%, já com a *M. oleifera*, variaram na faixa de 96% a 99%.

Bongiovan et al. (2013) avaliaram o uso do extrato da semente da moringa como coagulante alternativo para remoção da turbidez presente nas amostras de águas, analisadas posterior a filtração convencional e ultrafiltração. Os ensaios foram realizados no *jar-test* para a determinação da concentração ótima do coagulante. A eficiência de remoção foi de 95,8% para turbidez, após a filtração convencional e 99,6%, após a ultrafiltração.

Mohamed et al. (2014) estudaram a eficiência de remoção dos coagulantes sintéticos, sulfato de alumínio e ferroso e dos coagulantes naturais, moringa (*Moringa oleifera*) e *Strychnos Potatorum* no tratamento de águas residuais gerado na lavagem de carros. Os melhores resultados utilizando os coagulantes naturais foram obtidos nas concentrações de 30-80 mg/L. O agente coagulante moringa apresentou uma remoção de 90% para turbidez, enquanto que *Strychnos Potatorum* mostrou remoção de 96% para turbidez. Já utilizando o sulfato de alumínio e ferroso, os resultados foram 87% e 77% de turbidez, na concentração ótima (150 mg/L).

Magalhães et al. (2015) avaliaram o potencial de um coagulante alternativo natural à base de *Moringa oleifera* Lam para o tratamento da água produzida, comparando sua eficiência com dois coagulantes normalmente utilizados pela indústria (A e B). O coagulante convencional A apresentou eficiência de remoção de 93% para teor de óleo e graxas (TOG), seguido do coagulante B com remoção de 91%. Já o coagulante alternativo moringa apresentou eficiência de remoção de, em média, 77%. Os coagulantes comerciais A e B foram fornecidos pela Petrobras cujos nomes não foram divulgados no estudo por respeito à política de confidencialidade da empresa.

Jisha e Chinnamma (2017) utilizaram moringa (*Moringa oleifera*), lablab (*Dolichos lablab*) e grão-de-bico (*Cicer arietinum*) como coagulantes no tratamento de águas residuais provenientes das estações de serviço dos automóveis. Os autores mostraram que a moringa é um coagulante alternativo viável. A eficiência de remoção para os parâmetros analisados foram: 95,58% para COD; 99,75% para TOG; 79,04% para alcalinidade; 70,83% para dureza; 77,69% para condutividade; 44,94% para sulfato, 97,22% para composto fenólico; 99,44% para SST e 99,95% para o parâmetro turbidez.

Baptista e Silva e et al. (2015) avaliaram o potencial da semente de Moringa em pó integral e desengordurada como coagulante para tratamento de águas superficiais. A extração do óleo foi realizada quimicamente utilizando etanol. Os autores prepararam o coagulante em meio salino. O coagulante integral atingiu remoções máximas de 88,20% de cor e 87,84% de turbidez e o coagulante desengordurado 92,48% e 89,29% para os mesmos parâmetros.

3. METODOLOGIA

Toda parte experimental do trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Tecnologias Alternativas (LTA) do Núcleo de Competência em Petróleo e Gás de Sergipe (NUPEG), no Laboratório de Biotecnologia Ambiental (LABAM) do Departamento de Engenharia Química (DEQ) e no Laboratório de Fenômeno de Transporte do Departamento de Engenharia Química (DEQ), todos pertencentes a Universidade Federal de Sergipe (UFS). Este capítulo está dividido em dois principais itens. A seção 3.1 trata dos materiais utilizados na parte experimental e a partir da seção 3.2 até 3.5 descreve os procedimentos empregados durante o desenvolvimento do estudo.

3.1. MATERIAIS

3.1.1. Óleo

As amostras de petróleo utilizadas no estudo foram provenientes da Bacia Sergipe e Alagoas, campo Carmópolis.

3.1.2. Água produzida sintética (APS)

A água utilizada no preparo da água produzida sintética foi destilada com suas propriedades controladas para que não ocorra interferência dos sais contidos na amostra de óleo.

3.1.3. Sal

O sal utilizado no preparo da APS foi o Cloreto de Sódio-NaCl P.A – A.C.S. da *Synth*.

3.1.4. Moringa

As sementes da Moringa (*Moringa oleífera* Lam) foram provenientes das plantas existentes na própria Universidade Federal de Sergipe.

3.1.5. Produtos químicos

Tabela 4 - Todos os reagentes químicos utilizados neste trabalho.

REAGENTE ANALÍTICO	FÓRMULA MOLECULAR	FABRICANTE	PESO MOLECULAR (g/mol)	PESO LÍQUIDO
Tetracloroetileno	C ₂ Cl ₄	NEON	165,83	1000 mL
Ácido clorídrico	HCl	SYNTH	36,46	1000 mL
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	SYNTH	98,079	1000 mL
Azul de metileno	C ₁₆ H ₁₈ N ₃ SCl.3H ₂ O	IMPEX	319,86	100 g
Éter de petróleo	C ₄ H ₁₀ O	ÊXODO	74,12	1000 mL
Hidróxido de sódio	NaOH	VETEC	40,00	1000 g
Vermelho de metila	C ₁₅ H ₁₅ N ₃ O ₂	SYNTH	269,30	100 g
Tolueno	C ₇ H ₈	NUCLEAR	92,14	1000 mL= 870 g
Sulfato de sódio	Na ₂ SO ₄	NEON	142,04	500 g
Sulfato de Cobre	CuSO ₄	NEON	159,61	500 g

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

3.2.1. Caracterização do petróleo

A seguir, são mostradas as técnicas e respectivas normas que foram utilizadas na caracterização das principais propriedades do petróleo, incluindo viscosidade e densidade e teor de água (BSW).

a) Determinação do BSW (NBR 14647)

Para a determinação do teor de água e sedimentos (BSW) foi empregado o método de destilação de acordo com a norma ABNT NBR 14647. Em dois tubos cônicos de capacidade de 100 mL, foram adicionados 50 mL do petróleo e 50 mL de tolueno previamente saturado em água. Os tubos foram firmemente tampados, agitados até uma completa homogeneização e então colocados em banho-maria a 60°C, durante 10 minutos. Em seguida, as misturas foram

colocadas em uma centrífuga com velocidade de 1600 rpm por 15 minutos e foi analisado o BSW conforme a graduação marcada nos tubos. Para o cálculo do BSW foi usado a equação 1.

$$V = \frac{V_{S1} + V_{S2}}{V_{L1} + V_{L2}} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde V é a porcentagem em volume de água e sedimentos da amostra, V_{S1} é o volume de água e sedimentos no tubo 1 (mL), V_{S2} é o volume de água e sedimentos no tubo 2 (mL), V_{L1} é o volume da amostra no tubo 1 (mL) e V_{L2} é o volume da amostra no tubo 2 (mL).

b) Determinação da massa específica e °API (NBR 8916)

Para determinação da massa específica ou densidade do óleo foi empregado o método do picnômetro de acordo com a norma ABNT NBR 8916. O Picnômetro é um recipiente de vidro com tampa esmerilhada, vazada por tubo capilar que permite seu completo enchimento com líquidos. A capacidade volumétrica da vidraria é facilmente determinada pela pesagem de um líquido tomado como padrão de densidade, na condição de operação (CÉSAR et al., 2004).

A densidade do óleo foi obtida por um procedimento experimental realizado em condições padrões de 60°F e 1 atm. O sistema volumétrico foi previamente calibrado empregando-se água destilada na condição desejada ($\rho_w@60^\circ\text{F} = 0,9995 \text{ g/mL}$). A metodologia consistiu nos seguintes passos:

- I. Pesar o picnômetro (com tampa) vazio e seco;
- II. Colocar água destilada no picnômetro até que o volume do líquido ficasse acima do colo;
- III. Colocar a tampa capilar, verificar se está cheio e enxugar cuidadosamente o excesso do líquido;
- IV. Pesar o picnômetro com água destilada;
- V. Esvaziar o picnômetro e em seguida secar adequadamente;
- VI. Colocar a amostra de óleo no picnômetro até o nível do líquido ficar acima do colo;
- VII. Colocar a tampa capilar e enxugar cuidadosamente o excesso do líquido;
- VIII. Pesar o picnômetro com a amostra.

Por conhecimento teórico, a densidade da amostra pode ser determinada pela equação 2.

$$\rho_{amostra@60^{\circ}F} = \frac{m_{cheio} - m_{vazio}}{V_{calibração}} \quad (2)$$

Onde: $\rho_{amostra@60^{\circ}F}$ é a densidade da amostra analisada nas condições padrões, m_{cheio} é a massa do picnômetro (com tampa) completo com a amostra, m_{vazio} é a massa do picnômetro (com tampa) vazio e seco e $V_{calibração}$ é o volume do picnômetro determinado na calibração usando água destilada na condição de operação.

A massa específica de um líquido ou de uma mistura líquida também pode ser expressa em grau API ($^{\circ}API$), uma função hiperbólica da densidade, comumente empregada na indústria do petróleo (ROSA et al., 2011). Assim, com o valor determinado pela equação 2, pode-se determinar $^{\circ}API$ utilizando a equação 3:

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{\rho_{amostra @60^{\circ}F} / \rho_{W@60^{\circ}F}} - 131,5 \quad (3)$$

c) Determinação da viscosidade (ASTM D-4455)

Nesta análise foi utilizado um reômetro de acordo com a norma ASTM D-4455, da Lamy *Technology* modelo RM300, acoplado a um banho termostatizado da Tecnal. As curvas reológicas do reômetro foram obtidas através do *software* Rhematic-P. Para a realização dos ensaios reológicos do óleo bruto (devidamente enquadrado, ou seja, BSW < 1%), inicialmente foi realizado o ajuste da temperatura da amostra, e esta foi mantida constante durante a realização de cada ensaio. Tal procedimento foi realizado com o auxílio do aparelho de banho termostatizado Tecnal modelo TE- 2005. Este aparelho foi conectado por mangueiras à base do reômetro em uma estrutura chamada de Jaqueta, por onde o fluxo da água quente saiu do banho percorrendo e transferindo calor para a amostra a ser analisada. O procedimento de obtenção das curvas reológicas foi realizado da seguinte maneira:

- I. Escolher qual o BOB a ser utilizado de acordo com a faixa de viscosidade e taxa de cisalhamento desejada. Para a realização da análise, recomenda a utilização do BOB DIN 125, já que *range* de viscosidade do mesmo permite determinar os valores entre 0,020 e 70 Pa.s;
- II. Colocar 20 mL de amostra dentro do copo adequado para ser utilizado junto com o

BOB escolhido. Por fim, encaixar o copo no reômetro;

- III. Com o reômetro conectado ao computador, iniciar o *software* Rheomatic- P e selecionar os dados de entrada para o início do ensaio e obtenção da curva de fluxo;
- IV. Escolher o tipo de rampa, o sistema de unidades a ser adotado, a temperatura de operação, o tempo de análise, a faixa da taxa de cisalhamento a ser aplicada e o tipo de BOB que está sendo usado;
- V. A análise iniciará automaticamente quando a temperatura estipulada nos dados de entrada for alcançada;

Para os ensaios foram utilizadas temperaturas de 20, 40, 50 e 60°C, plotando uma curva para cada uma destas temperaturas. A taxa de cisalhamento será de 1 a 100 s⁻¹, gerando uma curva com 30 pontos, num tempo de 300 segundos.

3.2.2. Caracterização Química da semente *moringa oleífera*

a) Determinação de umidade

Para determinar o teor de umidade foi pesado cerca de 5 g da amostra homogeneizada em um cadinho, previamente seco e tarado. O manuseio do cadinho foi feito com pinça para que a umidade da mão não causasse erro na análise. O cadinho com amostra foi aquecido na estufa por 6 horas, a 105°C. Retirou-se o cadinho da estufa com uma pinça e colocou num dessecador para que fosse resfriado até alcançar a temperatura ambiente. Após, pesou-se em uma balança analítica, depois de frio, o conjunto cadinho mais amostra seca (CECCHI, 2003). Os cálculos da umidade foram realizados utilizando a equação 4.

$$T_u = \frac{P - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde: T_u = teor de umidade em percentual; P = Peso da amostra; P_s = Peso da amostra seca.

b) Determinação de cinzas

Para determinar as cinzas, inicialmente foram colocados os cadinhos limpos, secos e nomeados, na mufla, por meia hora, a 550°C. Esfriou-se em dessecador para que sua massa ficasse estabilizada em temperatura ambiente, anotou-se o peso do cadinho vazio. Foi pesado cerca de 5 g da amostra seca e incinerada com auxílio da chapa aquecedora até que a saída de fumaça da amostra foi interrompida. Logo após o cadinho com a amostra já transformada em carvão foram conduzidos a mufla durante o período de 4 horas a 550°C e armazenados em dessecador por cerca de 30 min e pesados novamente. A diferença entre o peso do conjunto e o peso do cadinho vazio dá a quantidade de cinza na amostra (CECCHI, 2003). Os cálculos para determinação do teor de cinzas foram realizados utilizando a equação 5.

$$\% T_c = \frac{(C_t \cdot 100)}{P} \quad (5)$$

Onde: T_c = teor de cinzas; C_t = Cinzas totais; P = Peso da amostra.

c) Determinação de proteínas

O método utilizado para a quantificação de proteína foi o de Kjeldahl, que determina o teor de nitrogênio de origem orgânica que é diretamente proporcional a quantidade de proteínas. Na determinação de proteínas, pesou-se em papel manteiga cerca de 60 mg da amostra seca e 1,95 gramas da mistura catalítica (1,9 g de Na_2SO_4 junto com 0,05 g de CuSO_4). Transferiu-se para o tubo de digestão e foram colocados 2,5 mL de H_2SO_4 . Manteve-se essa mistura digerida no bloco digestor no tempo de 3 horas, a 300° C, fazendo com que o composto virasse nítido, com cor azul clara. Ulteriormente, os tubos contendo a amostra digerida foram acoplados diretamente no destilador de Kjeldahl, onde adicionou-se 10 mL de NaOH a 60 % e iniciou-se a destilação, recebendo o destilado em Erlenmeyer de 125 mL contendo 5 mL da solução de ácido bórico saturada e 4 gotas do indicador (vermelho de metila + azul de metileno). Foi recolhido cerca de 50 mL do destilado, seguido de titulação do íon borato com a solução padrão de HCl 0,01 mol.L⁻¹ com fator de correção conhecido (1,0277) (LUTZ, 1985). Foi utilizada a equação 6 para a determinar teor de proteínas.

$$T_p = \frac{(MM_N \cdot V_{HCl} \cdot F_c \cdot M_{HCl})}{P_a} \cdot 100 \quad (6)$$

Onde: T_p = teor de proteínas em percentual; V_{HCl} = volume da solução de ácido clorídrico usado na titulação; M_{HCl} = concentração do ácido clorídrico padrão; MM_N = massa molar do nitrogênio; F_c = fator de correção e P_a é a massa da amostra em gramas.

d) Determinação de Lipídeos

Na quantificação de lipídios, inicialmente o balão de Soxhlet foi lavado e secado a 105° C por 1h e após secagem foi registrado o seu peso em balança analítica. Pesou-se em papel manteiga cerca de 5 g da amostra seca e transferiu para os cartuchos de Soxhlet. Em seguida, foi colocado o balão com 90 mL de éter de petróleo no extrator tipo Soxhlet, o equipamento foi iniciado e ajustado para se manter a temperatura de 70°C por 6 horas. Após atingir o tempo de 6 horas retirou-se os balões com os lipídeos e colocou por 1 hora na estufa a 105 °C para evaporação do solvente (éter de petróleo) remanescente. Posteriormente, as amostras foram retiradas e colocadas em dessecador por 30 min. Pesou-se os balões após no final do processo (LUTZ, 1985). Os cálculos do teor de lipídeos foram feitos usando a equação 7.

$$\% \text{ Lipídeos} = \frac{(P_{Bg} - P_B)}{P_a} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde: P_{Bg} = Peso do balão com gordura; P_B = Peso do balão; P_a = Peso da amostra

3.3. MÉTODO DE PREPARO DO COAGULANTE NATURAL À BASE DE MORINGA

Na Figura 12 apresenta um fluxograma dos sete métodos de preparo do agente coagulante à base de moringa, que serão discutidos nos subitens a seguir.

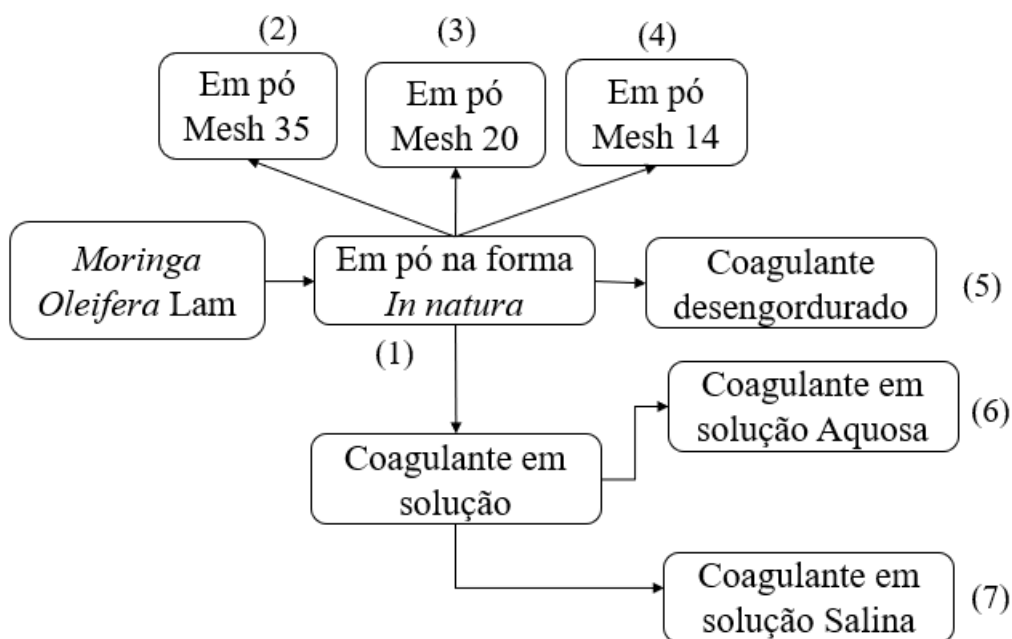


Figura 12 – Fluxograma dos diferentes métodos de preparo do agente coagulante à base de moringa

3.3.1. Preparo do coagulante à base de *moringa oleifera* na forma *in natura*

O preparo do coagulante natural na forma *in natura* sem granulometria específica (S_{int}) foi adaptado a partir da metodologia descrita por Valverde et al. (2014), 50 g de sementes de moringa, inicialmente descascadas, foram trituradas em moinho (Tecnal TE 633), de forma que um material homogêneo fosse obtido e em seguida foi colocada em estufa (BRASDONTOMod. 2) com circulação e renovação de ar a 40°C até massa constante. Após concluída a etapa de secagem o material foi analisado em função da sua granulometria, conforme descrito no procedimento a seguir.

3.3.2. Preparo do coagulante à base de *moringa oleifera* com granulometria específica

A distribuição granulométrica das sementes trituradas foi efetuada no laboratório de Fenômeno de Transporte do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Para a obtenção do coagulante com granulometria específica, 100 g das sementes preparada como descrito anteriormente (forma *in natura*) foram homogeneizadas em um conjunto de peneiras da marca Bertel com aberturas entre 1,19 mm e 0,35 mm durante 1 h (Tabela 5) (VALVERDE, 2014B).

Tabela 5 - Conjunto de peneiras

Peneiras Mesh	Aberturas (mm)
14	1,19
20	0,84
28	0,59
35	0,50
42	0,35

Após a distribuição granulométrica, as 3 maiores massas retidas na análise foram utilizadas. A porcentagem em peso acumulada foi calculada a partir da massa retida em cada peneira e depois plotada em relação aos tamanhos de peneira.

3.3.3. Preparo do coagulante à base de *Moringa oleifera* na forma desengordurada

As sementes da Moringa utilizadas são provenientes da própria Universidade Federal de Sergipe para realizar os ensaios. As sementes com e sem casca, respectivamente, são mostradas na Figura 13. Foi realizada a extração do óleo das sementes de *M. oleifera* para a obtenção do coagulante desengordurado (S_{des}) por meio de uma prensa mecânica (Figura 14). 15 g da semente da *M. oleifera* na forma *in natura* foram coladas manualmente na prensa e deixada por um período de 24h. Após essa etapa, a semente desengordurada foi armazenada em recipientes com tampa.



Figura 13 - Semente da moringa com e sem casca.

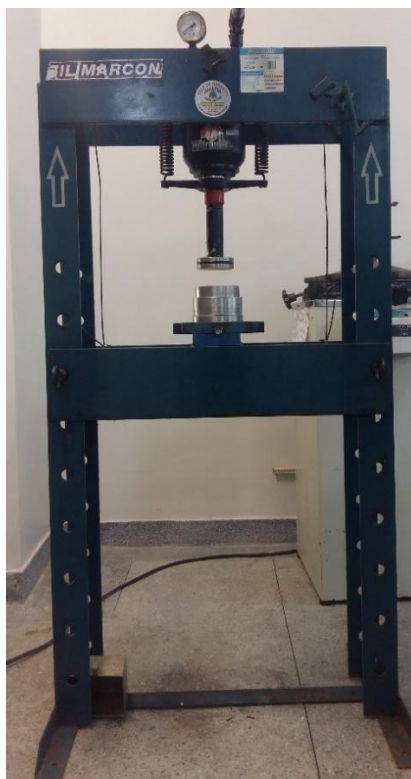


Figura 14 - Prensa hidráulica MPH-30.

Como resultado final destes procedimentos obteve-se a torta da semente da *Moringa* sem óleo.

3.3.4. Preparo do extrato coagulante da semente da *Moringa oleifera* Lam em solução

Com a semente triturada na forma *in natura* foram obtidos os extratos coagulantes em meio aquoso e meio salino, preparados conforme será descrito a seguir.

a) Preparação do extrato coagulante à base de *Moringa oleifera* em meio aquoso

No preparo do extrato de *Moringa* em meio aquoso, utilizou-se um béquer de 100 mL, onde foi adicionado 50 mL de água destilada e 1 g da semente de *Moringa* obtida após o processo de preparo descrito anteriormente no item 3.3.1. Em seguida, a solução foi homogeneizada com agitação a 1000 rpm durante 30 minutos. A mistura obtida foi separada utilizando uma filtração a vácuo, onde o filtrado comporta-se como o extrato de *Moringa* em

meio aquoso, utilizado como coagulante natural para tratamento de água produzida (FARIAS PEREIRA et al., 2011).

b) Preparação do extrato coagulante à base de *Moringa Oleifera* Lam em meio salino

No preparo do extrato de moringa em meio salino, usou-se um béquer de 100 mL, onde foi adicionado 50 mL de solução de cloreto de sódio 1 M e 1 g da semente de moringa obtida após o processo de preparo descrito anteriormente no item 3.3.1. Em seguida, a solução foi homogeneizada e filtrada da mesma forma empregada no preparo do coagulante em meio aquoso. A Figura 15 apresenta um fluxograma esquemático do preparo do coagulante em solução salina.

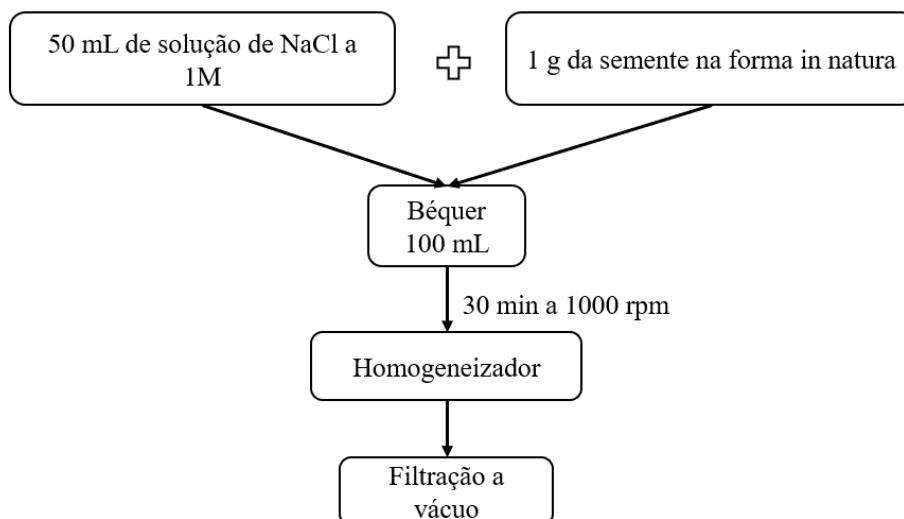


Figura 15 - Preparo do coagulante em solução salina a 1M.

Estes coagulantes foram utilizados em diferentes concentrações para avaliar a eficiência no tratamento da água produzida. A seguir, detalha-se o preparo e caracterização da água produzida sintética.

3.4. PREPARO DA ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA

As emulsões óleo/água sintéticas para o desenvolvimento deste trabalho foram preparadas no LABAM, utilizando água destilada, NaCl P.A. e o óleo citado no item 3.1.

No preparo da água produzida sintética (APS) para cada 1 litro de água destilada foram adicionados 35 g de NaCl e cerca de 0,5 g de petróleo. Essas concentrações foram baseadas no

relatório de análise da Petrobras para água produzida da bacia Sergipe-Alagoas (BRASIL, 2016c). A mistura foi feita empregando-se um homogeneizador modelo 713D, marca FISATOM a uma rotação de 2.500 rpm, durante 30 minutos.

3.5. DETERMINAÇÃO DA MELHOR CONCENTRAÇÃO DO COAGULANTE À BASE MORINGA

A determinação da melhor concentração do coagulante à base de moringa, foi realizada por meio do *jar test* analógico modelo JT-112 A6 de seis provas. Nesta etapa o sistema foi submetido à rotação rápida de 100 rpm por 3 minutos e em seguida à rotação lenta de 15 rpm por 15 minutos, conforme a metodologia descrita por Madrona et al. (2012). Posteriormente a água produzida sintética (APS) descansou por 60 min com o objetivo de consolidar a coagulação/floculação. Essa fase é importante para que ocorra a decantação e/ou flotação das partículas. Por fim, foi retirada uma alíquota de 25 mL do centro do béquer, evitando o mínimo de suspensão do decantado e foi analisada a concentração do teor de óleo e graxas (TOG) pós tratamento. As concentrações do coagulante à base de *M. oleifera* utilizada nos ensaios de coagulação/floculação foram: 50; 100; 150; 200; 250; e 300 ppm.

3.6. VARIÁVEL RESPOSTA

A variável resposta desse estudo é a eficiência da redução do TOG, calculada a partir dos TOGs inicial e final da água a ser analisada. Dessa forma, calculou-se a eficiência (η) do tratamento da água produzida considerando o teor de óleos e graxas inicial (TOG_i) e final (TOG_f) da amostra utilizada, conforme a equação 8.

$$\eta\% = \frac{TOG_i - TOG_f}{TOG_i} \cdot 100 \quad (8)$$

Em que:

η = eficiência da redução de TOG;

TOG_i = leitura do TOG antes do tratamento (TOG inicial);

TOG_f = leitura do TOG após o tratamento (TOG final).

3.6.1. Análise do Teor de Óleo e Graxas

Segundo a Wilks (empresa fabricante do equipamento) alguns solventes podem ser aplicados no equipamento infravermelho TOG/TPH: O tetracloreto de etileno, o Ak-225, o S-316 e o Freon-113. A Tabela 6 apresenta algumas características destes solventes.

Tabela 6 - Características dos solventes recomendados pela Wilks, para aplicação nos equipamentos TOG/TPH modelos CVH e CVH-50 (Adaptado de Nascimento et al. (2008))

	Tetracloreto de etileno	Ak-225	S-316	Freon-113
Pureza recomendada	99+%	99+%	99+%	N/A
Eficiência de extração	87%	88%	98%	91%
Ponto de ebulição (°C)	121	54	134	48
Custo médio	\$85	\$140	\$480	\$205
Método de extração	USEPA 413.1/418.1	USEPA 413.1/418.1	USEPA 413.1/418.1	USEPA 413.1/418.1

O solvente utilizado nos ensaios foi o tetracloreto de etileno (marca *Neon pureza*, 99,99 %). Mesmo sendo relativamente tóxico, este solvente é largamente usado para limpeza a seco de produtos e desengraxe de metais, podendo ser aceitável para uso em laboratório, além de apresentar um custo inferior aos outros, como observado na tabela anterior.

a) Extração Líquido-Líquido

Esse procedimento foi utilizado em dois momentos distintos durante a realização dos ensaios e está relacionado à determinação do TOG. O primeiro, no início do processo, é realizado após preparar água produzida sintética (APS) e o segundo, ao final do processo de coagulação/ floculação, com o objetivo de calcular a eficiência de remoção do TOG do processo nas condições determinadas. Para isso foram utilizados, para cada amostra, 25 mL de APS e 25 mL do solvente tetracloreto de etileno.

A água produzida sintética foi transferida em seu total do balão volumétrico para um funil de separação de 250 mL. Em seguida o tetracloreto de etileno foi adicionado ao balão volumétrico de 25 mL onde estava sendo mantida a amostra com o objetivo de lavar o balão, removendo qualquer óleo remanescente que pudesse estar preso às paredes.

Por fim, uma parte dos 25 mL do tetracloroetileno foi inserido no funil de separação e a mistura (APS + solvente) foi agitada mecanicamente. Esse processo foi repetido 3 vezes, transferindo assim, todo o solvente para o funil. O funil ficou estático por 1 minuto quando se obteve separação das duas fases, “óleo + tetracloroetileno” e água.

b) Determinação Da Concentração de Óleos e Graxas (TOG)

A análise do TOG foi realizada por meio do aparelho INFRACAL, marca Wilks Enterprise, modelo CVH, o qual deve ser ligado, no mínimo, uma hora antes do início de sua utilização.

Para a determinação do TOG das amostras foram utilizadas duas cubetas de quartzo. A primeira foi usada para analisar a amostra do estudo e a segunda foi usada antes das medições e no intervalo de cada uma delas, nomeada branco ou limpo. O equipamento é dito limpo quando a leitura é dada entre -2 e 2. Caso contrário, é necessário limpá-lo outra vez e repetir o procedimento. Após essa etapa, a amostra foi colocada na primeira cubeta e inserida com o lado fosco virada para o operador no equipamento num volume de 10 mL. Por fim, pressionou-se a opção **RUM** na plataforma de operação e aguardou-se até o resultado aparecer no *display*. Esse procedimento foi repetido para todas as amostras. O procedimento operacional do *Infracall Analyzer Model Cvh* está apresentado detalhadamente no Apêndice A.

3.3. MONITORAMENTO DO PH

O monitoramento do pH teve como objetivo verificar se o coagulante natural à base de moringa após o processo de coagulação/floculação altera o pH da água produzida a ponto de comprometer o descarte da água produzida. O pH foi determinado pela imersão do eletrodo do pHmetro (modelo Hanna pH 21) diretamente na amostra, após a calibração. O eletrodo foi lavado com água deionizada entre uma medida e outra. Por fim, foram anotados os valores para cada amostra (RIBEIRO, 2013). Esse procedimento foi realizado para os diferentes métodos de preparo da coagulante moringa.

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a comparação dos resultados foram empregados a análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação de medias, teste de Tukey, com significância de $P < 0,05$, ou seja, com

grau de confiança de 95%, para as médias das duplicatas dos parâmetros: TOG, pH, umidade, cinzas, proteínas, lipídeos e carboidratos. A verificação das diferenças significativas foi realizada utilizando o programa estatístico SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

Para a avaliação da remoção do TOG, após os processos de coagulação/floculação realizados na etapa do método de preparo do coagulante à base de moringa (item 3.3.) utilizou-se o delineamento fatorial 7x6, sendo os fatores: métodos (7 métodos de preparo da *M. oleifera* para a utilização como coagulante natural) e concentrações (seis concentrações de *M. oleifera*), com duas repetições, totalizando 84 ensaios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

4.1.1. Caracterização do petróleo

A Tabela 7 apresenta as propriedades das amostras do óleo utilizado na preparação da água produzida sintética, onde pode-se verificar um grau API de 25,85, indicando que essa amostra é um petróleo médio, ou a base de naftênica e, além de possuir alcanos, contém também da sua composição de 25% a 30% de hidrocarbonetos aromáticos.

Tabela 7 – Propriedades do petróleo

Teor de água (%)	Densidade a 20° C e 1 atm (g/cm ³)	°API	Viscosidade (cP) a 40,76 s ⁻¹			
			20° C	40° C	50 ° C	60 ° C
0,07	0,8992	25,85	698,6	227,9	172,5	126,6

4.1.2. Caracterização da Moringa

c) Análise granulométrica

Na análise granulométrica foi utilizado 100 g da semente de moringa. Após a peneiração obteve-se uma massa de 95,87 g que resultou em uma perda de 4,13 g. Os resultados encontrados por meio do método de peneiração são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Caracterização Granulométrica da Semente de Moringa

Peneiro	Dimensão (Mesh)	Abertura (mm)	Diâmetro médio	Massa retida (g)	Massa que passa (g)	Fração que passa (%)	Fração retida
1	14	1,190	1,015	27,832	68,039	70,970	0,290
2	20	0,840	0,715	17,538	50,501	52,676	0,183
3	28	0,590	0,545	10,941	39,560	41,264	0,114
4	35	0,500	0,425	15,306	24,253	25,298	0,160
5	42	0,350	0,175	10,048	14,205	14,817	0,105
Fundo	0	0,000	0,000	14,210	0,000	0,000	0,148
TOTAL=		95,87g					

Relacionando a massa retida com o diâmetro médio foi possível plotar o gráfico da distribuição granulométrica da semente de moringa, mostrado na Figura 16.

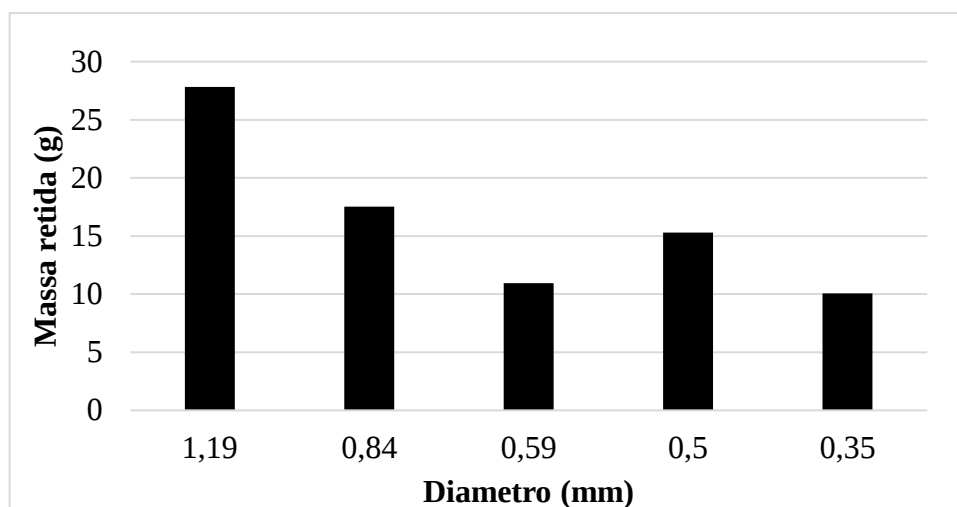


Figura 16 - Distribuição Granulométrica da semente da Moringa.

Conforme mostrado na Tabela 8 e Figura 16, as granulometrias de *mesh*: 14 (1,19 mm), 20 (0,84mm) e 35 (0,50 mm) foram as que obtiveram a maior massa retida das sementes trituradas fundamentando a escolha de tais granulometrias nos ensaios de preparo do coagulante com granulometria específica.

d) Caracterização química da semente de moringa

Os resultados da composição centesimal das sementes da *Moringa oleifera* Lam. encontram-se na Figura 17.

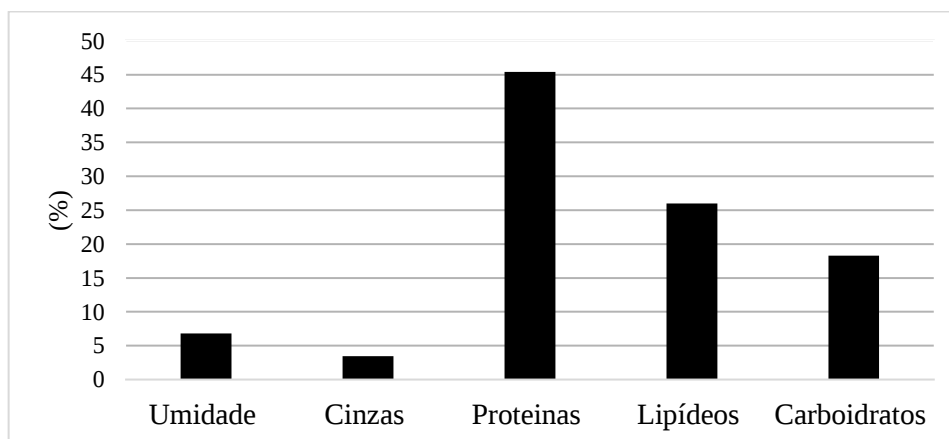


Figura 17 - Composição química das sementes de moringa.

A partir da Figura 17 observou-se que a semente da moringa se caracteriza por um elevado teor de lipídeos e proteínas. Essa constatação é confirmada por Oliveira et al. (2009) e Gallão et al. (2006) utilizando pó da semente de *Moringa Oleífera Lam.* A Tabela 9 apresenta o comparativo entre o teor de proteína da semente moringa obtido nesse estudo com outros encontrados na literatura utilizando a mesma parte.

Tabela 9 - Comparativo entre o teor de proteína obtido com os encontrados na comunidade científica

Proteínas %*	Referência
45,40	Próprio autor
32,01	Vieira (2017)
41,00	Silva (2013)
34,73	Verma e Nigam (2014)
29,40	Hammam et al. (2016)
23,29	Dos Passos et al. (2013)
39,30	Gallão et al. (2006)
25,14	Oliveira et al. (2009)

* Resultados apresentados em valores médios.

De acordo com a Tabela 9, verificou-se que o teor médio de proteína presente na semente (45,40%) ficou acima dos demais encontrados na literatura. Segundo Moura et al. (2009) a proteína presente na semente pode variar de acordo com a idade fisiológica e a origem botânica. Os diferentes percentuais de proteínas também podem ser influenciados devido as diferenças na variedade de clima de cultivo, estágio de maturação e método adotado para determinação da proteína.

Para o tratamento de água produzida de petróleo a proteína da semente de moringa é o composto de maior importância. É descrito por Ndabigengesere et al. (1995) que a *moringa oleifera* apresenta proteínas catiônicas dimérica, com um peso molecular de aproximadamente de 13kDa. A presença dessa proteína desestabiliza as partículas contidas na água e através do mecanismo de neutralização e adsorção de partículas, floculam os colóides seguindo-se de sedimentação.

A porcentagem centesimal de proteína encontrada na semente *moringa oleifera* (45,40%) foi muito superior ao teor de proteínas (3,3%) obtido por Saavedra (2016) empregando o tamarindo, outro gênero botânico usado como coagulante natural para o tratamento de água residuais (HERNÁNDEZ et al., 2015).

O teor de umidade das sementes foi de 6,82%. Resultados semelhantes foram encontrados nos trabalhos realizados por Vieira et al. (2012) e Gallão et al. (2006) obtendo um percentual de 6,63% e 6,30%, respectivamente. O baixo teor de umidade é uma indicação de

que as sementes podem ser armazenadas por um longo período de tempo. De acordo com Colato (2006), para taxas de umidade entre 12-13% é necessário um processo de secagem simples. Contudo, o teor de umidade da semente estudada está abaixo do teor de umidade em que pode se estragar, mostrando assim, que a semente de *Moringa Oleífera Lam* não necessita de secagem para o seu armazenamento.

O teor de cinzas encontrado (3,47%) demonstrou-se próximos aos citados por Olagbemide e Philip (2014), Hammam et al. (2016) e Abiodun et al. (2012), que encontraram 3,87 %, 2,25% e 4,10%, respectivamente, utilizando a mesma parte da moringa. Já os resultados encontrados na análise centesimal da semente de moringa para os parâmetros lipídeo e carboidratos foram de 26,00% e 7,31%, na devida ordem.

4.2. AVALIAÇÃO DOS DIFERENTES MÉTODOS DE PREPARO DO COAGULANTE À BASE DE MORINGA

Foi avaliado o desempenho do agente coagulante da semente de moringa em diferentes métodos de preparo (Ver Apêndice B C e D) na remoção do Teor de óleo e Graxas (TOG) presente de água produzida sintética. Nesta etapa o volume utilizado foi de 200 mL em cada béquer.

4.2.1. Avaliação do coagulante à base de moringa na forma *in natura*

Na Tabela 10 são apresentados os resultados obtidos após os ensaios de coagulação/floculação e sedimentação utilizando o coagulante à base de moringa na forma bruta integral (S_{int}). Os experimentos foram realizados com uma amostra de água produzida sintética (APS) com TOG inicial médio de 286 ppm.

Tabela 10- Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma S_{int} .

Concentração Inicial de Óleo em Água de 286 ppm ⁽¹⁾		
Concentração do coagulante (ppm)	TOG (ppm)	Remoção (%)
50	26,1	90,9± 0,49 ^a
100	22,3	92,3± 0,12 ^{a b}
150	13,7	95,2± 0,37 ^c
200	16,5	94,3± 0,24 ^{c d}
250	20,0	93,10±0,49 ^{b d}
300	42,2	85,38± 0,00 ^e

⁽¹⁾ TOG's apresentados em valores médios. Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 de nível de significância (Apêndice C a D).

Utilizando a semente da moringa na forma *in natura* (S_{int}), observa-se uma variação na eficiência de remoção de TOG variando de 85% e alcançando 95%. O melhor desempenho foi obtido na concentração de 150 ppm, obtendo um percentual de remoção de TOG de $95 \pm 0,37\%$. Por meio da análise estatística verificou-se que com o aumento da concentração do coagulante à base de moringa na forma S_{int} implica no aumento da eficiência de remoção de TOG, contudo verificou-se que para a concentração aproximada de 200 ppm, existe uma situação máxima de remoção de TOG, indicando um excesso do coagulante no tratamento da água produzida sintética.

De todos os experimentos realizados, o coagulante S_{int} não conseguiu atender ao requisito ambiental descrito na Resolução CONAMA nº 430 em relação ao TOG (< 20 ppm) nas seguintes condições: (1) concentração = 50 ppm (TOG final = 26 ppm); (2) concentração = 100 ppm (TOG final = 22 ppm); (3) concentração = 250 ppm (TOG final = 21 ppm) e (4) concentração = 300 ppm (TOG final = 42 ppm).

4.2.2. Avaliação do coagulante à base de moringa Mesh 35

A Tabela 11 mostra a concentração final do TOG e percentual de remoção, após os ensaios de coagulação/floculação, utilizando diferentes concentrações do coagulante à base de moringa com granulometria específica (S_{int-35}).

Tabela 11- Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma S_{int-35} .

Concentração Inicial de Óleo em Água de 211 ppm ⁽¹⁾		
Concentração do coagulante (ppm)	TOG (ppm)	Remoção (%)
50	37,8	$82,1 \pm 0,39^a$
100	19,6	$90,7 \pm 0,37^{cd}$
150	16,0	$92,4 \pm 0,65^d$
200	23,2	$89,0 \pm 0,58^c$
250	23,7	$88,8 \pm 0,97^{bc}$
300	28,9	$86,4 \pm 0,38^b$

⁽¹⁾ TOG's apresentados em valores médios. Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 de nível de significância (Apêndice C a D).

De acordo com a Tabela 11, observou-se que a melhor concentração foi de 150 ppm, apresentando remoção de $92,4 \pm 0,65\%$ do parâmetro TOG, contudo quando analisado estatisticamente os dados por meio do programa SISVAR, verificou-se que não houve diferença significativa entre as concentrações de 100 e 150 ppm, sendo possível utilizar tanto a

concentração de 100 ppm quanto a concentração de 150 ppm. Deste modo, tendo em vista o custo do tratamento, é mais vantajoso utilizar a concentração de 100 ppm, obtendo uma percentagem de remoção de $91 \pm 0,37\%$.

Apenas as concentrações de 100 e 150 ppm conseguiram se adaptar as exigências legais explicitadas na Resolução CONAMA nº 430, obtendo TOG final de 20 e 16 ppm, respectivamente.

4.2.3. Avaliação do coagulante à base de moringa *Mesh 20*

A Tabela 12 apresenta a concentração final do TOG e percentual de remoção nas concentrações de 50; 100; 150; 200; 250; e 300 ppm, após o processo de coagulação/floculação, utilizando o coagulante à base de moringa com granulometria específica (S_{int-20}).

Tabela 12- Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma S_{int-20} .

Concentração Inicial de Óleo em Água de 234 ppm ⁽¹⁾		
Concentração do coagulante (ppm)	TOG (ppm)	Remoção (%)
50	26,2	$88,8 \pm 0,64^a$
100	8,4	$96,4 \pm 1,06^b$
150	11,2	$95,2 \pm 0,44^b$
200	17,6	$92,7 \pm 0,32^c$
250	19,5	$91,6 \pm 1,36^c$
300	22,0	$90,8 \pm 0,27^c$

⁽¹⁾ TOG's apresentados em valores médios. Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 de nível de significância (Apêndice C a D).

De acordo com os dados mostrados na Tabela 12, a melhor concentração foi de 100 ppm, obtendo um percentual de remoção de TOG de $96,4 \pm 1,06\%$. Já a menor eficiência de remoção, utilizando esse método de preparo foi observada na concentração de 50 ppm, apresentando o TOG médio final de $88,8 \pm 0,64\%$. Verificou-se também que por meio do teste Tukey que as concentrações 200; 250 e 300 ppm não diferem estatisticamente entre si na remoção final do TOG.

Em quase todas as concentrações analisadas, este coagulante foi capaz de atender ao requisito ambiental descrito na Resolução CONAMA nº 430, exceto em duas condições: (1) concentração = 50 ppm (TOG=26 ppm) e (2) concentração = 300 ppm (TOG=22).

4.2.4. Avaliação do coagulante à base de moringa *Mesh 14*

Na Tabela 13 é apresentado a concentração de TOG remanescente e porcentagem de remoção, em diferentes concentrações, após os ensaios de coagulação/floculação realizados em *jar test*. O TOG inicial médio da amostra de APS utilizado nesta etapa foi de 222 ppm.

Tabela 13- Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma S_{int-14} .

Concentração Inicial de Óleo em Água de 222 ppm ⁽¹⁾		
Concentração do coagulante (ppm)	TOG (ppm)	Remoção (%)
50	26,7	88,0± 0,28 ^a
100	15,0	93,2± 0,67 ^b
150	8,40	96,0 ± 0,31 ^c
200	10,0	95,5± 0,63 ^c
250	18,6	91,6±0,30 ^b
300	23,1	89,6± 0,68 ^a

⁽¹⁾ TOG's apresentados em valores médios. Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 de nível de significância (Apêndice de C a D).

A partir dos dados mostrado na Tabela 13 da concentração final e eficiência de remoção de TOG no processo de tratamento da água produzida sintética (APS) ao se utilizar o agente coagulante moringa com granulometria específica (S_{int-14}), a concentração na qual se obteve o melhor resultado foi a de 150 ppm, tendo uma eficiência de 96% na retirada de TOG da APS e concentração final de 8,40 ppm. Verificou-se, através do teste Tukey que a percentagens de remoção de TOG não apresentaram variações significativas nas seguintes concentrações: 50 e 300 ppm; 100 e 250 ppm; 150 e 250 ppm.

De todos os ensaios realizados, o coagulante S_{int-14} , não conseguiu atingir se enquadrar na legislação brasileira em relação ao TOG (< 20 ppm) em apenas duas condições: concentração=20 ppm, cujo a concentração de TOG remanescente foi de 26,7 ppm e concentração= 300 ppm, obtendo concentração final de 23,1 ppm.

4.2.5. Avaliação do coagulante à base de moringa na forma desengordurada

A Tabela 14 mostra os resultados obtidos utilizando o agente coagulante à base de moringa desengordurada (S_{des}), em concentrações preestabelecidas. Os ensaios foram

realizados com uma amostra de água produzida sintética (APS) com um TOG inicial médio de 283 ppm.

Tabela 14 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa na forma S_{des} .

Concentração Inicial de Óleo em Água de 283 ppm ⁽¹⁾		
Concentração do coagulante (ppm)	TOG (ppm)	Remoção (%)
50	87,9	67,6± 1,70 ^a
100	64,1	76,4± 1,16 ^b
150	39,4	85,5 ± 0,36 ^c
200	56,5	79,2± 0,74 ^b
250	61,0	77,7±0,83 ^b
300	70,0	74,5± 2,07 ^b

⁽¹⁾ TOG's apresentados em valores médios. Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 de nível de significância (Apêndice C a D).

De acordo com a Tabela 14, verificou-se que na concentração de 150 ppm do coagulante preparado na forma S_{des} alcançou uma remoção máxima de TOG de 85,5 ± 0,36%, dentre os métodos de preparo, as amostras da semente desengordurada (S_{des}) foram as que apresentaram menores percentuais de remoções do parâmetro TOG. Durante os experimentos, pôde-se observar que as partículas continuaram em suspensão após o processo de coagulação/floculação, e durante a retirada de uma alíquota de 25 mL do centro do jarro, houve uma coleta significativa dessas partículas o que pode ter influenciado na eficiência de remoção do TOG. Segundo Valverde (2014a) quanto menor o tamanho das partículas das sementes de moringa, menor a eficiência do processo, já que se admite que não há condições para a formação dos flocos densos, por conseguinte dificultando o processo de sedimentação. Os resultados negativos desta foram obtidos em frações com abertura menor que 0,300 mm. O maior percentual de remoção TOG, 86%, foi observado na concentração de 150 ppm. Contudo, nenhum dos ensaios realizados foi capaz de atender ao requisito ambiental descrito na Resolução CONAMA nº 430.

4.2.6. Avaliação do coagulante à base de moringa em meio aquoso

Na Tabela 15 são apresentadas as médias dos resultados obtidos para o percentual de remoção de TOG, considerando o método de preparo do coagulante à base de moringa em meio aquoso (S_{aquo}). A concentração média inicial de TOG foi de 285 ppm.

Tabela 15 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa em meio aquoso

Concentração Inicial de Óleo em Água de 285 ppm ⁽¹⁾		
Concentração do coagulante (ppm)	TOG (ppm)	Remoção (%)
50	39,9	86,2± 0,20 ^a
100	9,50	96,7± 0,41 ^b
150	21,5	92,6 ± 0,41 ^c
200	0,5	99,8± 0,24 ^d
250	25,8	91,1±0,83 ^{e c}
300	31,3	89,2± 0,63 ^f

⁽¹⁾ TOG's apresentados em valores médios. Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 de nível de significância (Apêndice de C a D).

De acordo com a Tabela 15 as melhores remoções de TOG obtidas foram 99,8%, 96,7% e 92,6 % para as concentrações de 200 ppm, 100 ppm e 150 ppm, respectivamente. Observou-se que estatisticamente, apenas os percentuais de remoções de TOG, nas concentrações 150 ppm e 250 ppm, são semelhantes, mostrando assim, que a concentração do coagulante é um fator importante na remoção do TOG.

Verificou-se também que um aumento na concentração do coagulante a partir de 250 ppm não implicou na melhora no percentual de remoção do TOG na APS. Segundo Baptista e Coldebella e et al. (2015) o coagulante à base de moringa preparado em meio aquoso tem seu uso limitado, visto que o aumento na concentração do coagulante causa uma maior carga orgânica na água tratada, contribuindo negativamente no processo de coagulação/floculação e sedimentação. De todos os ensaios realizados, o coagulante preparado em meio aquoso obteve êxito ao atender à legislação brasileira em relação ao TOG (< 20 ppm) em apenas duas condições: (1) concentração = 100 ppm (TOG=10 ppm) e (2) concentração = 200 ppm (TOG=1 ppm).

4.2.7. Avaliação do coagulante à base de moringa em meio salino

A Tabela 16 apresenta os resultados do teor de óleo e graxa (TOG) nas concentrações do agente coagulante em meio salino (S_{sal}), entre 50 e 300 ppm, após o tempo de decantação. O TOG médio antes do tratamento foi de 212 ppm.

Tabela 16 - Eficiência de remoção do TOG para o método de preparo da coagulante à base de moringa em meio salino

Concentração Inicial de Óleo em Água de 212 ppm ⁽¹⁾		
Concentração do coagulante (ppm)	TOG (ppm)	Remoção (%)
50	5,18	97,6± 0,56 ^a
100	3,03	98,6± 0,29 ^a
150	1,74	99,2 ± 0,00 ^b
200	20,2	90,5± 0,82 ^c
250	9,89	95,3±0,30 ^a
300	3,46	98,4± 0,57 ^a

⁽¹⁾ TOG's apresentados em valores médios. Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 de nível de significância (Apêndice de C a D).

Diante dos resultados mostrados na Tabela 16, pode-se confirmar que a melhor concentração do agente coagulante moringa em meio salino foi de 150 ppm, com a qual se obteve uma remoção de óleo em água de 99,2%, esse percentual ficou acima do encontrado por Farias Pereira et al. (2011), utilizando o mesmo método de preparo.

O coagulante em meio salino apresentou valores de remoções de TOG superior ao encontrado em solução em meio aquoso, essa diferença se deve à força iônica da solução extratora que melhora a eficiência de extração do componente ativo das sementes de Moringa e faz com que o coagulante em meio salino tenha um desempenho melhor que o do coagulante em meio aquoso (MADRONA et al., 2010).

Apenas a concentração de 200 ppm não conseguiu atingir os padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 430/2011, ou seja, TOG até 20 ppm.

Nesse método foi possível verificar que o armazenamento do coagulante em meio salino em uma semana causou uma mudança na sua tonalidade, como pode ser observado na Figura 18.



Figura 18 – Solução em meio salino recém preparada (esquerda) e solução em meio salino preparada a uma semana antes e armazenada em temperatura ambiente (direita).

Conforme descrito por Borba (2001) a explicação para esse efeito pode estar relacionado ao estado de conservação inadequado das sementes de moringa, que é responsável pela diminuição de sua proteína coagulante, provavelmente ocasionada por reações enzimáticas, atribuída à presença de fungos e bactérias, ou ainda devido às reações de oxiredução que ocorrem entre a proteína e o vapor de água ou outros componentes da atmosfera, na presença da luz, provocando sua incapacidade de coagulação/floculação. Sendo assim, para utilizar esse método de preparo é recomendado utilizar o coagulante em meio salino logo após o seu preparo.

Magalhães (2014) utilizou o coagulante natural moringa em solução com idades diferentes e verificou que o coagulante em solução é afetado pelo tempo e pelas condições de armazenamento. Em seus ensaios realizados, a autora observou que soluções antigas de moringa não apresentaram o mesmo aspecto visual de formação dos flocos quando comparada às soluções novas.

4.2.8. Avaliação conjunta dos sete métodos de preparo do coagulante à base de moringa

A Figura 19 mostra a eficiência de remoção do parâmetro TOG para os métodos de preparo do coagulante à base de moringa nas formas S_{int} , S_{des} , S_{int-35} , S_{int-20} , S_{int-14} , S_{aquo} e S_{sal} . Por ter trabalhado com água produzida sintética foi difícil manter a mesma concentração inicial de TOG em água nos 7 métodos estudados. Em função disso, para uma melhor visualização dos dados foi feito um gráfico de normalização (C/C_0) versus concentração de coagulante.

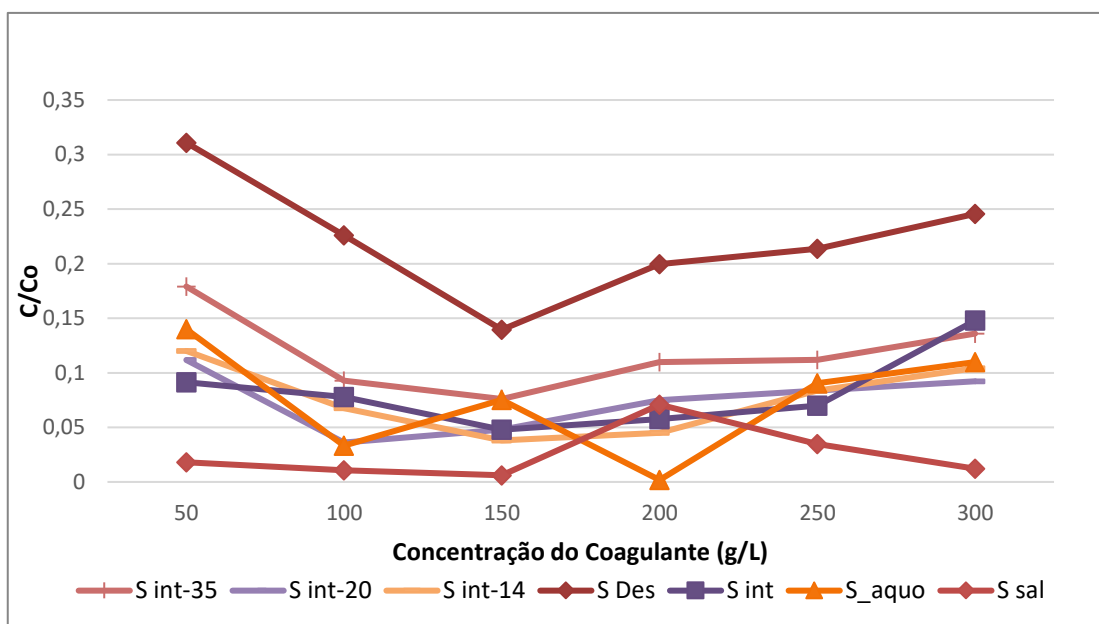


Figura 19 – Normalização (C/C_0) dos ensaios com APS utilizando diferentes métodos versus a concentração do coagulante.

Pode-se observar pelos resultados da Figura 19, que a concentração 150 ppm, de forma geral, apresentou as melhores eficiências de remoção do parâmetro TOG. Assim, optou-se em utilizar esta concentração a fim de definir qual o método mais eficiente, dentre os sete estudados. A Tabela 17 apresenta os resultados comparativos dentre os cinco métodos na eficiência de atuação na diminuição do TOG presente na APS.

Tabela 17 - Comparativo entre as eficiências para os diferentes métodos de preparo do coagulante à base de moringa na concentração de 150 ppm.

Métodos de preparo	Eficiência de remoção TOG ⁽¹⁾	Concentração final de TOG
S_{int}	95% $\pm$ 0,37 ^a	14 ppm $\pm$ 1,00 ^{a b}
S_{int-35}	92% $\pm$ 0,65 ^a	16 ppm $\pm$ 1,43 ^b
S_{int-20}	95% $\pm$ 0,44 ^a	11 ppm $\pm$ 1,07 ^{a c}
S_{int-14}	96% $\pm$ 0,31 ^a	8 ppm $\pm$ 0,70 ^c
S_{des}	86% $\pm$ 0,36 ^b	39 ppm $\pm$ 1,41 ^d
S_{aquo}	93% $\pm$ 0,41 ^a	22 ppm $\pm$ 1,21 ^e
S_{sal}	99% $\pm$ 0,00 ^c	2 ppm $\pm$ 0,00 ^f

⁽¹⁾ Eficiência de remoção apresentadas em valores médios $\pm$ desvio padrão. Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 de nível de significância.

Através da Tabela 17 é possível observar que os métodos de preparo nas formas S_{int} , S_{int-14} e S_{sal} apresentaram os melhores resultados na eficiência de remoção de TOG e

concentração final, obtendo-se percentuais acima de 94% e concentrações remanescentes abaixo de 15 ppm. Por meio da análise estatística, observou-se que houve variações expressivas entre os métodos estudados, principalmente no método de preparo na forma desengordurada (S_{des}). O coagulante em meio salino (S_{sal}) foi o que teve o melhor desempenho (99%), no entanto esse foi o que apresentou visualmente mudanças em sua coloração em uma semana, o que pode degradar a proteína do coagulante, diminuindo assim a sua eficiência no tratamento de efluentes (BORBA, 2001). Tendo em vista o lado econômico do processo, bem como facilidade da sua aplicação em uma indústria e sua eficiência de remoção de TOG, o método mais vantajoso é o com granulometria específica, mesh 14 (S_{int-14}) e o menos recomendado é o método de preparo na forma desengordurada (S_{des}). Apenas os métodos na forma aquosa (S_{aquo}) e desengordurada (S_{des}) na concentração de 150 ppm não conseguiram atingir os padrões estabelecidos pela CONAMA nº 430/2011, ou seja, a concentração final de TOG ficou acima de 20 ppm. A Tabela 18 mostra o comparativo entre o coagulante à base de moringa com granulometria mesh 14 (S_{int-14}) e os coagulantes convencionais utilizados no tratamento de água produzida de petróleo.

A partir dos dados apresentados na Tabela 18, observa-se que o coagulante natural moringa apresenta-se como uma alternativa eficiente e promissora ao uso de coagulante inorgânicos para tratamento de água produzida de petróleo, tendo como vantagens adicionais de ser um agente natural, biodegradável, não tóxico, de fácil método e baixo custo.

Tabela 18 - Comparativo entre a eficiência do coagulante moringa e coagulantes convencionais.

Coagulante	Origem	Concentração utilizada	Eficiência de Remoção de TOG	Referência
Semente de <i>Moringa oleifera</i> Lam com granulometria mesh 14	Orgânica	150 ppm	96%	Fonte própria
Policloreto de alumínio	Inorgânica	300 ppm	97%	Daud et al. (2015)
Cloreto de Ferro	Inorgânica	350 ppm	97%	Daud et al. (2015)
Sulfato de Ferro	Inorgânica	450 ppm	94%	Daud et al. (2015)
Policloreto de Alumínio	Inorgânica	150 ppm	96%	Díaz et al. (2017)

4.3. MONITORAMENTO DO PH PARA OS DIFERENTES MÉTODOS DE PREPARO DO COAGULANTE NATURAL MORINGA

A Figura 20 mostra os valores monitorados de pH após o processo de coagulação/floculação utilizando o coagulante natural à base de moringa preparados distintamente.

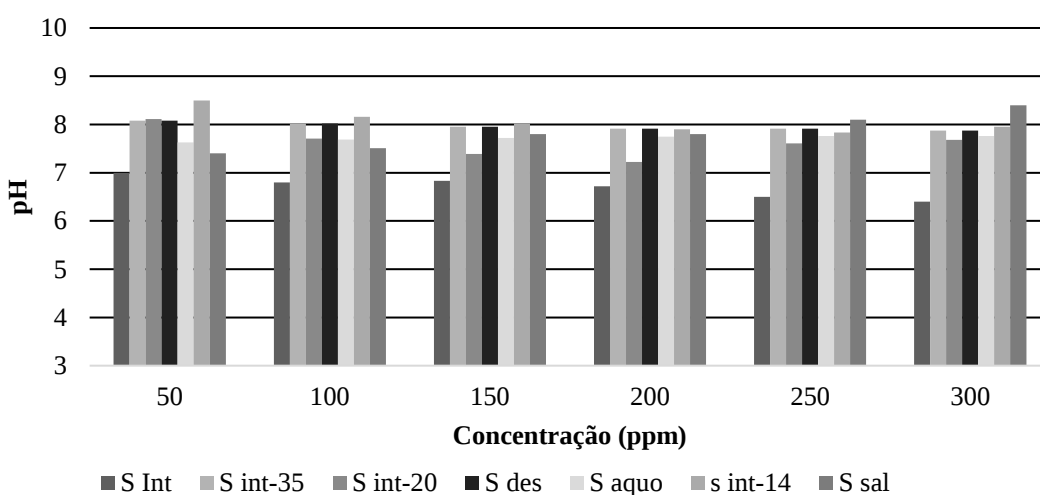


Figura 20 – Valores de pH para os diferentes métodos de preparo do agente coagulante à base de moringa após o processo de coagulação.

Por meio da Figura 20 verificou-se que o coagulante à base de moringa nas formas S_{int} , S_{des} , S_{int-35} , S_{int-20} , S_{int-14} , S_{aquo} e S_{sal} não alteram o pH significativamente a ponto de comprometer o descarte da água produzida, permanecendo dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA nº 430/2011, ou seja, entre 5 e 9 (BRASIL, 2011). Este fato implica que a aplicação direta do agente coagulante moringa numa estação tratamento de água produzida contribui para reduzir os custos adicionais para o processo de correção pH da água, como normalmente ocorre quando se utiliza coagulantes inorgânicos (MAGESHKUMAR E KARTHIKEYAN, 2016).

5. CONCLUSÕES

Analisando a etapa de caracterização da matéria prima, pode-se afirmar que:

- O petróleo que foi utilizado em todo o processo para o preparo da água produzida sintética apresentou um grau API de 25,85, indicando que essa amostra é um petróleo médio, ou a base de naftênica e, além de possuir alcanos, contém também da sua composição de 25% a 30% de hidrocarbonetos aromáticos.
- Na composição centesimal da semente moringa verificou-se que a semente se caracteriza por um elevado teor de proteínas (45,40%) e lipídeos (26,00%) e baixo teor de umidade (6,82%), cinzas (3,47%) e carboidratos (7,31%).

Avaliando os diferentes métodos de preparo do coagulante à base de moringa, pode-se afirmar que:

- A concentração e o método de preparo influenciam significativamente na remoção do TOG presente na água produzida
- Estatisticamente os métodos de preparo nas formas: granulometria *mesh 20* e *mesh 14* não apresentaram variações significativas na concentração residual de TOG, comportamento semelhante foi observado para os métodos de preparo na forma *in natura* (S_{int}) e com específica-*mesh 35* ($S_{int\ 35}$).
- Tendo em vista os problemas encontrados durante o preparo do coagulante, facilidades no preparo e % de redução de TOG os métodos indicados são com granulometria específica-*mesh 14* e *mesh 20*, ambos na concentração de 150 ppm obtiveram uma eficiência de remoção de TOG de 96% e 95%, respectivamente. A concentração remanescente de TOG na água estudada foi de 8 ppm, para *mesh 14* e 11 ppm para o *mesh 20*.
- O método de preparo na forma desengordurada (S_{des}) apresentou a menor eficiência em termo de remoção de TOG dentre os sete métodos de preparo estudados. Mesmo alcançando uma eficiência máxima de 86%, este não foi capaz de atender à legislação brasileira em relação ao TOG (até 20 ppm), sendo o menos recomendado.

Analisando a etapa de monitoramento de pH, pode-se afirmar que:

- Os valores de pH's monitorados após o processo de coagulação/floculação permaneceram dentro dos padrões estabelecidos pela CONAMA nº 430/2011, ou seja, entre 5 e 9. Assim, a utilização do coagulante natural à base de moringa não compromete o descarte

da água produzida e nem necessita da correção de pH.

Conclui-se que a utilização do coagulante à base de *moringa oleifera*, apresenta-se como uma alternativa eficiente e promissora ao uso coagulante inorgânicos para os tratamentos de efluentes na água produzida.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se explorar:

- Avaliação do processo de coagulação/floculação utilizando a semente Lam com casca e sem casca, objetivando verificar se é possível utilizar as sementes com cascas como coagulante no tratamento de água produzida.
- Desempenho do extrato coagulante moringa na remoção do teor de óleo e graxa em diferentes concentrações de emulsificante na água produzida, a fim de determinar influência do emulsificante.
- Estudar diferentes formas de armazenamento do extrato coagulante moringa em meio aquoso e meio salino, pois sabe-se que após algum tempo de armazenamento, a moringa oleifera Lam perde suas propriedades coagulantes.
- Um estudo sobre a viabilidade econômica da utilização das sementes de moringa oleifera para o tratamento de água produzida de petróleo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIODUN, O.; ADEGBITE, J.; OMOLOLA, A. Chemical and Physicochemical Properties of Moringa Flours and Oil. **Global Journal of Science Frontier Research**, v. 12, n. 5, p. 1-6, 2012.

AHMAD, A.; SUMATHI, S.; HAMEED, B. Coagulation of Residue Oil and Suspended Solid in Palm Oil Mill Effluent by Chitosan, Alum and Pac. **Chemical Engineering Journal**, v. 118, n. 1, p. 99-105, 2006. ISSN 1385-8947.

ALMEIDA, A. S. D. Recuperação Secundária Em Campos De Produção. Seminário De Recursos Energéticos Do Brasil: Petróleo, Gás, Urânio E Carvão, 2004, Rio de Janeiro. Clube de Engenharia p.1-48.

ALVES, M. D. C. S.; MEDEIROS FILHO, S.; BEZERRA, A. M. E.; DE OLIVEIRA, V. C. Germinação De Sementes E Desenvolvimento De Plântulas De Moringa Oleifera L. Em Diferentes Locais De Germinação E Submetidas À Pré-Embebição Seed Germination and Seedling Development of Moringa Oleifera L. Under Different Environments and Submitted to Pre-Soaking. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1083-1087, 2005. ISSN 1413-7054.

AMINI, S.; MOWLA, D.; GOLKAR, M.; ESMAEILZADEH, F. Mathematical Modelling of a Hydrocyclone for the Down-Hole Oil–Water Separation (Dows). **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, n. 12, p. 2186-2195, 2012. ISSN 0263-8762.

AMYX, J. W.; BASS, D. M.; WHITING, R. L. **Petroleum Reservoir Engineering: Physical Properties**. McGraw-Hill College, 1960.

ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; TATEOKA, M. S. S.; SILVA, G. K. Uso De Coagulantes Naturais À Base De Morin Ga Oleifera E Tanino Como Auxiliares Da Filtração Em Mantas Sintéticas Não Tecidas. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, 2016. ISSN 1809-4430.

ARAÚJO, P. B. D. **Petróleo: Por Que Sabotado? História Do Petróleo No Brasil E Em Sergipe** 1ª. Aracaju-Sergipe: Editora J. Andrade 2008. p 218.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Alumínio E Saúde**. 2 ed. São Paulo: ABAL, 2000. 7 p.

BANCHÓN, C.; BAQUERIZO, R.; MUÑOZ, D.; ZAMBRANO, L. Coagulación Natural Para La Descontaminación De Efluentes Industriales. **Enfoque UTE**, v. 7, n. 4, p. pp. 111-126, 2016. ISSN 1390-6542.

BAPTISTA, A. T. A.; COLDEBELLA, P. F.; CARDINES, P. H. F.; GOMES, R. G.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Coagulation–Flocculation Process with Ultrafiltered Saline Extract of Moringa Oleifera for the Treatment of Surface Water. **Chemical Engineering Journal**, v. 276, p. 166-173, 2015/09/15/ 2015. ISSN 1385-8947.

BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; DE MORAES PINTO, L. A.; CARDINES, P. H. F.; MATEUS, G. A. P.; TAVARES, F. O.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Avaliação Do Potencial Coagulante De Semente Desengordurada De Moringa Oleífera Lam Aplicada No Processo De Tratamento De Águas Superficiais. **Blucher Biochemistry Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 325-325, 2015. ISSN 2359-5043.

BARROSO, J. A. D.; DE SOUZA OLIVEIRA, I. C.; DA SILVA DOMINGOS, I. D. K.; DA CUNHA, S. D.; DA CUNHA, R. N. Avaliação Do Cloreto Férrico Como Coagulante No Tratamento De Efluente Proveniente Da Produção De Fertilizantes Fosfatados. Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura-CENAR, 2016, v. 2. p.1-4.

BERGER, M.; HABS, M.; JAHN, S. A. A.; SCHMAHL, D. Toxicological Assessment of Seeds from Moringa Oleifera and Moringa Stenopetala, Two Highly Efficient Primary Coagulants for Domestic Water Treatment of Tropical Raw Waters. **East African Medical Journal**, v. 61, n. 9, p. 712-7, 1984.

BIOPROJECT, E. A. Separador Água E Óleo 2017. Disponível em: < <http://www.bioproject.com.br/Edital/BioProject%20-%20Edital%20N%2026.pdf> >. Acesso em: 31/08/2017.

BLANCO, L. M.; DE ALMEIDA MINHONI, R. T.; COSTA, G. H. G. Coagulantes Orgânico E Químico No Tratamento De Água. **Environmental Research Science & Technology**, v. 1, n. 1, p. 10-15, 2017. ISSN 2526-6802.

BODLUND, I.; PAVANKUMAR, A. R.; CHELLIAH, R.; KASI, S.; SANKARAN, K.; RAJARAO, G. Coagulant Proteins Identified in Mustard: A Potential Water Treatment Agent. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 11, n. 4, p. 873-880, 2014. ISSN 1735-1472.

BONGIOVAN, M. C.; VALVERDE, K. C.; BERGAMASCO, R. Utilização Do Processo Combinado Coagulação/Floculação/Uf Como Processo Alternativo Ao Tratamento Convencional Utilizando Como Coagulante a Moringa Oleifera Lam. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, 2013. ISSN 1980-0827.

BORBA, L. R. **Viabilidade Do Uso Da Moringa Oleifera Lam No Tratamento Simplificado De Água Para Pequenas Comunidades**. 2001. 92f Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Ciências Exata e da Natureza, Programa

Regional de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, Brasil.

BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Energias Renováveis: Uma Contextualização Da Biomassa Como Fonte De Energia//\\Renewable Energy: A Contextualization of the Biomass as Power Supply. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, 2017. ISSN 1982-5528.

BRADLEY, D. **The Hydrocyclone: International Series of Monographs in Chemical Engineering**. Elsevier, 2013. ISBN 1483155706.

BRASIL. **Resolução Nº 430**. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, C. Brasília/DF: Ministério do Meio Ambiente 2011.

BRASIL. **Anuário Estatístico Brasileiro Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis**. PETROBRAS. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). 2016a.

BRASIL. **Panorama Anual Da Produção Nacional De Petróleo E Gás Natural Por Campos**. PETROBRAS. Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) 2016b.

BRASIL. **Relatório De Análise Física-Química Em Água**. PETROBRAS. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.: Aracaju-SE 2016c.

CABRAL, R. C.; DOS SANTOS BARROS, L. M.; DOS SANTOS FEITOZA, J. R.; DOS SANTOS GRANJA, L. P.; SANTOS, D. F. Análise Da Distribuição Do Tamanho De Poros Aplicado À Rocha Reservatório. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 3, n. 3, p. 33, 2017. ISSN 2357-9919.

CAMACHO, F.; SOUSA, V.; BERGAMASCO, R.; RIBAU, T. The Use of Moringa Oleifera as a Natural Coagulant in Surface Water Treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, n. Supplement C, p. 226-237, 2017/04/01/ 2017. ISSN 1385-8947.

CAMPOS, A.; RABELO, T.; SANTOS, R.; MELO, R. Produção Mais Limpa Na Indústria De Petróleo: O Caso Da Água Produzida No Campo De Carmópolis-Se. Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental 2005, Campo Grande. p.1-7.

CECCHI, H. M. **Fundamentos Teóricos E Práticos Em Análise De Alimentos**. Editora da UNICAMP, 2003. ISBN 8526806416.

CÉSAR, J.; PAOLI, M.; ANDRADE, J. Determinação Da Densidade De Sólidos E Líquidos. **CHEMKEY, Liberdade para aprender**, v. 4, n. 16, p. 16-22, 2004.

CIVAN, F. **Reservoir Formation Damage**. Gulf Professional Publishing, 2015. ISBN 0128019107.

COLATO, G. A. **Apostila De Análises De Materiais Biológicos**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola 2006.

CORRÊA, M. **Dicionário Das Plantas Úteis Do Brasil E Das Exóticas Cultivadas**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1985. 1926-1978 p.

DAL FERRO, B.; SMITH, M. Global Onshore and Offshore Water Production. **Oil and Gas Review, OTC edition**, 2007.

DALMAZZONE, C.; BOCARD, C.; BALLERINI, D. Ifp Methodology for Developing Water-in-Crude Oil Emulsion Inhibitors. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 2, n. 2-3, p. 143-150, 1995. ISSN 1353-2561.

DAUD, Z.; AWANG, H.; NASIR, N.; RIDZUAN, M. B.; AHMAD, Z. Suspended Solid, Color, Cod and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation Processes. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 195, p. 2407-2411, 2015. ISSN 1877-0428.

DE SOUZA, D. R. Q. A.; FERREIRA, G. F. D.; LOBATO, A. K. D. C. L.; DA SILVA, A. C. M.; DOS SANTOS, L. C. L. Influência Do Cotensoativo Em Sistemas Microemulsionados Na Quebra De Emulsão De Petróleo. **RUnPetro-ISSN 2316-6681**, v. 4, n. 2, p. 33-42, 2016. ISSN 2316-6681.

DE SOUZA, F. A.; SENRA, R.; CARBO, L.; MACHADO, N. G.; MELLO, G. J. Estação De Tratamento De Água E Ensino De Ciências: Uma Experiência Didática. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 15, 2015. ISSN 2447-8733.

DI BERNARDO, A. S. **Desempenho De Sistemas De Dupla Filtração No Tratamento De Água Com Turbidez Elevada**. 2004. 301f Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento)-

Escola de Engenharia de São Carlos Universidade Federal de São Paulo, São Carlos-SP, Brasil.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, Â. D. B. Metodos E Tecnicas De Tratamento De Agua. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 107-107, 2006. ISSN 1413-4152.

DÍAZ, M.; RIVAS, L.; FERNÁNDEZ, D.; SALAZAR, D.; MILLER, S.; LA MAZA, N. Selección De Programa Químico De Tratamiento Para Aguas Residuales Oleosas. **Centro Azúcar**, v. 44, n. 2, p. 89-100, 2017. ISSN 2223-4861.

DOS PASSOS, M.; DA CONCEIÇÃO SANTOS, D. M.; DOS SANTOS, B. S.; SOUZA, D. C. L.; DOS SANTOS, J. A. B.; DA SILVA, G. F. Qualidade Pós-Colheita Da Moringa (Moringa Oleifera Lam) Utilizada Na Forma in Natura E Seca. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 3, n. 1, p. 113-120, 2013. ISSN 2237-0722.

DOS SANTOS, T. R. T.; BONGIOVANI, M. C.; SILVA, M. F.; NISHI, L.; COLDEBELLA, P. F.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R. Trihalomethanes Minimization in Drinking Water by Coagulation/Flocculation/Sedimentation with Natural Coagulant Moringa Oleifera Lam and Activated Carbon Filtration. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 94, n. 7, p. 1277-1284, 2016. ISSN 1939-019X.

DUKE, J. Moringaceae: Horseradish-Tree, Benzolive-Tree, Drumstick-Tree, Sohnja, Moringa, Murunga-Kai, Malunggay Moringa a Multipurpose Tree That Purifies Water. **Science and Technology for Environment and Natural Resources**, p. 19-28, 1987.

ELLIS, M.; FISCHER, P. Clarifying Oilfield and Refinery Waste Waters by Gas Flotation. **Journal of petroleum Technology**, v. 25, n. 04, p. 426-430, 1973. ISSN 0149-2136.

FAHEY, J. W. Moringa Oleifera: A Review of the Medical Evidence for Its Nutritional, Therapeutic, and Prophylactic Properties. Part 1. **Trees for life Journal**, v. 1, n. 5, p. 1-15, 2005.

FAKHRU'L-RAZI, A.; PENDASHTEH, A.; ABDULLAH, L. C.; BIAK, D. R. A.; MADAENI, S. S.; ABIDIN, Z. Z. Review of Technologies for Oil and Gas Produced Water Treatment. **Journal of hazardous materials**, v. 170, n. 2, p. 530-551, 2009. ISSN 0304-3894.

FARIAS PEREIRA, D.; AMARAL ARAÚJO, N.; MENEZES SANTOS, T.; RAMOS SANTANA, C.; SILVA, G. F. D. Aproveitamento Da Torta Da Moringa Oleifera Lam Para Tratamento De Água Produzida. **Exacta**, v. 9, n. 3, 2011. ISSN 1678-5428.

FERNANDES, K. S. **Remoção De Óleo Do Meio Filtrante No Processo De Retrolavagem Em Filtros De Areia**. 2009. 108f Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas)- Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brasil.

FEROLLA, S. X.; METRI, P. **Nem Todo O Petróleo É Nosso**. São Paulo, SP: Paz e Terra, 2006. ISBN 8577530094.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Computer Statistical Analysis System. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. ISSN 1413-7054.

FERREIRA, P. M. P.; DE ARAÚJO, É. J. F.; DO NASCIMENTO SILVA, J.; DE FREITAS, R. M.; DE JESUS COSTA, N. D.; DE CARVALHO OLIVEIRA, S. F.; PEREIRA, J. B. A.; PINHEIRO, J. A. F.; DE ABREU, M. C.; PESSOA, C. Safety and Efficacy of Moringa Oleifera Lamarck (1785)—Therapeutic and Toxicological Properties. In: (Ed.). **Pharmacology and Therapeutics**: InTech, 2014.

FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A.; OLIVEIRA, L. F. C. D.; KOHN, G. P.; FIA, R. Coagulation with Moringa Oleifera Seed Prepared by Different Methods in Water Turbidity of 20 to 100 Unt. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 781-788, 2017. ISSN 1413-4152.

FREITAS, J. H. E. S.; DE SANTANA, K. V.; DO NASCIMENTO, A. C. C.; DE PAIVA, S. C.; DE MOURA, M. C.; COELHO, L. C. B. B.; DE OLIVEIRA, M. B. M.; PAIVA, P. M. G.; DO NASCIMENTO, A. E.; NAPOLEÃO, T. H. Evaluation of Using Aluminum Sulfate and Water-Soluble Moringa Oleifera Seed Lectin to Reduce Turbidity and Toxicity of Polluted Stream Water. **Chemosphere**, v. 163, p. 133-141, 2016. ISSN 0045-6535.

FREITAS, T.; OLIVEIRA, V.; DE SOUZA, M.; GERALDINO, H.; ALMEIDA, V.; FÁVARO, S.; GARCIA, J. Optimization of Coagulation-Flocculation Process for Treatment of Industrial Textile Wastewater Using Okra (A. Esculentus) Mucilage as Natural Coagulant. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 538-544, 2015. ISSN 0926-6690.

FRIEDRICH, T.; SOUSA, L.; SIMÃO, B.; CARDOSO, V.; REIS, M. Uso Da Quitosana Para Coagulação/Floculação Dos Sólidos Solúveis No Chá Verde. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 3, p. 1866-1871, 2015. ISSN 2359-1757.

GALLÃO, M. I.; FERNANDES DAMASCENO, L.; SOUSA DE BRITO, E. Avaliação Química E Estrutural Da Semente De Moringa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, 2006. ISSN 0045-6888.

GAMA, G.; DA SILVA, G. F.; DE OLIVEIRA BARRETO, L. C.; DE OLIVEIRA, D. S.; VILLANOVA GOIS, J. M.; DOS SANTOS, J. A. B. Moringa Oleifera Lam. Identification of Opportunities for the Brazilian Market through Patent Landscape Analysis. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 4, n. 2, p. 925-939, 2014. ISSN 2237-0722.

GARDE, W. K.; BUCHBERGER, S. G.; WENDELL, D.; KUPFERLE, M. J. Application of Moringa Oleifera Seed Extract to Treat Coffee Fermentation Wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 329, p. 102-109, 2017. ISSN 0304-3894.

GAUTO, M. A. **Petróleo S. A. Exploração, Produção, Refino E Derivados** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2011. p.129 ISBN 978-85-399-0014-5.

GOMES, L. L.; ESQUERRE, K. O.; MAGALHÃES, R. Avaliação Do Desempenho De Modelos Para Predição De Coagulante E Controle De Ph No Tratamento De Água. **Iniciação Científica Cesumar**, v. 16, n. 2, 2014. ISSN 2176-9192.

GOPALAKRISHNAN, L.; DORIYA, K.; KUMAR, D. S. Moringa Oleifera: A Review on Nutritive Importance and Its Medicinal Application. **Food Science and Human Wellness**, v. 5, n. 2, p. 49-56, 2016. ISSN 2213-4530.

GRADY JR, C. L.; DAIGGER, G. T.; LOVE, N. G.; FILIPE, C. D. **Biological Wastewater Treatment**. CRC press, 2011. ISBN 142000963X.

GUALBERTO, A. F.; FERRARI, G. M.; DE ABREU, K. M. P.; DE LIMA PRETO, B.; FERRARI, J. L. Características, Propriedades E Potencialidades Da Moringa (Moringa Oleifera Lam.): Aspectos Agroecológicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 19-25, 2015. ISSN 1981-8203.

GUALBERTO, N. C.; SILVA, G. S.; CARNEIRO, T. S.; DA CONCEIÇÃO SANTOS, D. M.; DE SOUZA BERY, C. C.; DA SILVA, G. F. Avaliação Dos Compostos Bioativos Presentes Na Infusão Do Chá Da Flor Da Moringa Oleífera L. Seca E in Natura. **Revista Tecnológica**, p. 265-273, 2015. ISSN 2447-2476.

HAMMAM, M. A.; KALIL, G. A.; EL-SAYED, S. M.; AHMED, I. A. Effects of Moringa Oleifera Lam (Moringaceae) Seeds in Rats Fed with High Fat Diet. **J. Pharm. Chem. Biol. Sci**, v. 4, n. 1, p. 76-87, 2016.

HANSEN, B. E. Autoregressive Conditional Density Estimation. **International Economic Review**, p. 705-730, 1994. ISSN 0020-6598.

HERNÁNDEZ, B.; MENDOZA, I.; SALAMANCA, M.; FUENTES, L.; CALDERA, Y. Semillas De Tamarindo (Tamarindus Indica) Como Coagulante En Aguas Con Alta Turbiedad. **REDIELUZ**, v. 3, n. 1 y 2, 2015. ISSN 2244-7334.

JAHN, S. A. A. Proper Use of African Natural Coagulants for Rural Water Supplies; Research in the Sudan and a Guide for New Projects. In: (Ed.). **Proper Use of African Natural Coagulants for Rural Water Supplies; Research in the Sudan and a Guide for New Projects**: GTZ, 1986.

JAHN, S. A. A. Using Moringa Seeds as Coagulants in Developing Countries. **Journal-American Water Works Association**, v. 80, n. 6, p. 43-50, 1988. ISSN 0003-150X.

JESUS, A. R.; MARQUES, N. D. S.; SALVI, J. N. T.; TUYUTY, P. L.; PEREIRA, S. A. **Dossiê Técnico: Cultivo Da Moringa Oleífera** Instituto Euvaldo Lodi - IEL/BA: 2013. 23.

JISHA, T. J.; CHINNAMMA, M. Effect of Natural Coagulants on the Treatment of Automobile Service Station Waste Water. **International Journal of Engineering Development and Research**, v. 5, n. 4, p. 358- 364, 2017.

JONES, A. N.; BRIDGEMAN, J. An Assessment of the Use of Native and Denatured Forms of Okra Seed Proteins as Coagulants in Drinking Water Treatment. **Journal of water and health**, v. 14, n. 5, p. 768-779, 2016. ISSN 1477-8920.

KATAYON, S.; NOOR, M. M. M.; ASMA, M.; GHANI, L. A.; THAMER, A.; AZNI, I.; AHMAD, J.; KHOR, B.; SULEYMAN, A. Effects of Storage Conditions of Moringa Oleifera Seeds on Its Performance in Coagulation. **Bioresource technology**, v. 97, n. 13, p. 1455-1460, 2006. ISSN 0960-8524.

KAWAMURA, S. Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment. **Journal (American Water Works Association)**, p. 88-91, 1991. ISSN 0003-150X.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos De Qualidade E Tratamento De Água**. 3ª ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 494 p.

LIMA, A. **Caracterização E Estudo Da Bioconversão Da Matéria Orgânica Dissolvida Em Efluentes Da Petrobras No Rio Grande Do Norte**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte., Natal, Brasil.

LOPETINSKY, R.; MASLIYAH, J.; XU, Z. **In Colloidal Particles at Liquid Interfaces; Binks, Bp; Horozov, Ts, Eds**: Cambridge University Press: Cambridge 2006.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. **Plantas Medicinais No Brasil: Nativas E Exóticas**. 2002. ISBN 8586714186.

LUTZ, I. A. **Métodos Químicos E Físicos Para Analise De Alimentos**. São Paulo: IMESP, 1985. p.25-26.

MADHAVI, T. P.; RAJKUMAR, R. Utilisation of Natural Coagulant for Reduction of Turbidity from Waste Water. **International journal of chemtech research**, v. 5, n. 3, p. 1119-1123, 2013.

MADRONA, G. S.; BRANCO, I. G.; SEOLIN, V. J.; DE ABREU ALVES FILHO, B.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; BERGAMASCO, R. Evaluation of Extracts of Moringa Oleifera Lam Seeds Obtained with Nacl and Their Effects on Water Treatment-Doi: 10.4025/Actascitechnol. V34i3. 9605. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 3, p. 289-293, 2012. ISSN 1807-8664.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. Study of the Effect of Saline Solution on the Extraction of the Moringa Oleifera Seed's Active Component for Water Treatment. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 211, n. 1-4, p. 409-415, 2010. ISSN 0049-6979.

MAGALHÃES, E.; PAULO, J.; SOUZA, E.; AZEVEDO, S.; PESSOA, L.; CARVALHO, F. Aplicação Da Técnica Combinada Floculação/Flotação No Tratamento Da Água Produzida Na Indústria Do Petróleo: Utilização De Floculante Natural À Base De Moringa Oleifera. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 8095-8102, 2015. ISSN 2359-1757.

MAGALHÃES, E. R. B. **Avaliação De Floculante Natural À Base De Moringa Oleifera No Tratamento De Água Produzida Na Indústria Do Petróleo: Aplicação Da Técnica Combinada Floculação/Flotação**. 2014. 83f Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Química., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil.

MAGESHKUMAR, M.; KARTHIKEYAN, R. Modelling the Kinetics of Coagulation Process for Tannery Industry Effluent Treatment Using Moringa Oleifera Seeds Protein. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 32, p. 14954-14964, 2016. ISSN 1944-3994.

MALISKA, C. R.; SILVA, A. F. C.; HURTADO, F. S. V.; AMBRUS, J.; CONTESSI, B. A.; CORDAZZO, J. **Projeto Relp (Relative Permeability)**. Florianópolis-SC: Laboratório de simulação numérica em mecânica dos fluidos e transferência de calor 3 p. p. 2017.

MARINHO, J. B. M.; DE ARRUDA, A. M. V.; FERNANDES, R. T. V.; DA SILVA MELO, A.; DE SOUZA, R. F.; DOS SANTOS, L. O. G.; DE FIGUEIRÊDO, L. C.; FERNANDES, R. T. V.; DE MESQUITA, A. C. N. Uso Da Moringa Na Alimentação Animal E Humana: Revisão. **PUBVET**, v. 10, p. 580-635, 2016.

MARTINS, A. A.; DE OLIVEIRA, R. M. S.; GUARDA, E. A. Potencial De Uso De Compostos Orgânicos Como, Coagulantes, Floculantes E Adsorventes No Tratamento De Água E Efluentes. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 12, 2014. ISSN 1980-0827.

MARTYN, C.; OSMOND, C.; EDWARDSON, J.; BARKER, D.; HARRIS, E.; LACEY, R. Geographical Relation between Alzheimer's Disease and Aluminium in Drinking Water. **The Lancet**, v. 333, n. 8629, p. 61-62, 1989. ISSN 0140-6736.

MATEUS, G. A. P.; BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; DE MORAES PINTO, L. A.; NISHI, L.; VIEIRA, A. M. S.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R. Tratamento De Efluente Lácteo Sintético Utilizando Diferentes Concentrações Do Coagulante Natural Moringa Oleifera Lam Em Comparação Ao Coagulante Policloreto De Alumínio. **Blucher Biochemistry Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 323-323, 2015. ISSN 2359-5043.

MATOS, F. **Farmácias Vivas Sistemas De Utilização De Plantas Medicinais Projetadas Para Pequenas Propriedades**: Fortaleza: Ed. UFC 1998.

MATOS, M.; GARCÍA, C. F.; SUÁREZ, M. A.; PAZOS, C.; BENITO, J. M. Treatment of Oil-in-Water Emulsions by a Destabilization/Ultrafiltration Hybrid Process: Statistical Analysis of Operating Parameters. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 59, n. Supplement C, p. 295-302, 2016/02/01/ 2016. ISSN 1876-1070.

MERAZ, K. A. S.; VARGAS, S. M. P.; MALDONADO, J. T. L.; BRAVO, J. M. C.; GUZMAN, M. T. O.; MALDONADO, E. A. L. Eco-Friendly Innovation for Nejayote Coagulation–Flocculation Process Using Chitosan: Evaluation through Zeta Potential Measurements. **Chemical Engineering Journal**, v. 284, p. 536-542, 2016. ISSN 1385-8947.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento De Efluentes E Recuperação De Recursos**. McGraw Hill Brasil, 2015. ISBN 8580555248.

MITIDIERO, L. **Padrões De Lançamento De Efluentes Na Resolução Conama 357/05**. TRANSPETRO: Ministério do Meio Ambiente 2017.

MOACYR, P. R. **Minimização Do Efluente Líquido Da Planta De Produção De Óxido De Propeno Da Dow Brasil**. 2008. 44f Monografia (especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) Departamento de Engenharia Ambiental-DEA, Universidade Federal da Bahia Salvador-BA, Brasil.

MOHAMED, R.; SAPHIRA, R. M.; KUTTY, A. I.; MARIAM, N.; KASSIM, M.; HASHIM, A. Efficiency of Using Commercial and Natural Coagulants in Treating Car Wash Wastewater Treatment. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 8, n. 16, p. 227-234, 2014. ISSN 1991-8178.

MORAES, L.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C.; RIBEIRO, R. Utilização Do Polímero Natural Quitosana No Processo De Coagulação/Floculação/Ultrafiltração Para a Produção De Água Potável. **Congresso Brasileiro de Engenharia e Sanitária Ambiental**, p. 1-8, 2005.

MOTTA, A. R. P. D.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAUJO, P. M.; BRANCO, L. D. P. N. Produced Water Treatment for Oil Removal by Membrane Separation Process. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 15-26, 2013. ISSN 1413-4152.

MOURA, A.; SOUZA, A.; JUNIOR, A.; LIRA, M.; SILVA, G. Caracterização Físicoquímica Da Folha, Flor E Vagem Da Moringa (Moringa Oleifera Lamarck). **Encontro Nacional da Moringa, Aracaju**, 2009.

NASCIMENTO, A.; ZIOLLI, R.; ARARUN JR, J.; PIRES, C.; SILVA, T. Avaliação Do Desempenho Analítico Do Método De Determinação De Tph (Total Petroleum Hydrocarbon) Por Detecção No Infravermelho. **Eclética Química**, v. 33, n. 1, p. 35-42, 2008.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. Active Agents and Mechanism of Coagulation of Turbid Waters Using Moringa Oleifera. **Water research**, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995. ISSN 0043-1354.

NETO, R.; MENDES, R. **Reinjeção De Água Produzida**. PETROBRAS: Ministério do Meio Ambiente 2017.

NICODEM, D. E.; GUEDES, C. L.; CORREA, R. J.; FERNANDES, M. C. Z. Photochemical Processes and the Environmental Impact of Petroleum Spills. **Biogeochemistry**, v. 39, n. 2, p. 121-138, 1997. ISSN 0168-2563.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Improvement of Extraction Method of Coagulation Active Components from Moringa Oleifera Seed. **Water research**, v. 33, n. 15, p. 3373-3378, 1999. ISSN 0043-1354.

OLADOJA, N.; SALIU, T.; OLOLADE, I.; ANTHONY, E.; BELLO, G. A New Indigenous Green Option for Turbidity Removal from Aqueous System. **Separation and Purification Technology**, 2017. ISSN 1383-5866.

OLAGBEMIDE, P. T.; PHILIP, C. Proximate Analysis and Chemical Composition of Raw and Defatted Moringa Oleifera Kernel. **Advances in Life Science and Technology**, v. 24, p. 92-99, 2014.

OLIVEIRA, I.; TEIXEIRA, E.; GONÇALVES, C.; PEREIRA, L. Avaliação Centesimal Da Semente De Moringa Oleifera Lam. **II Seminário Iniciação Científica-IFTM, Campus Uberaba, MG**, v. 20, 2009.

PEDROZO, M. D. F. M.; BARBOSA, E. M.; CORSEUIL, H. X.; SCHNEIDER, M. R. S.; LINHARES, M. M. **Ecotoxicologia E Avaliação De Risco Do Petróleo**. Salvador: Centro de Recursos Ambientais: 2002. 230 p.

RAMACHANDRAN, C.; PETER, K.; GOPALAKRISHNAN, P. Drumstick (Moringa Oleifera): A Multipurpose Indian Vegetable. **Economic botany**, v. 34, n. 3, p. 276-283, 1980. ISSN 0013-0001.

RANA, S.; SURESH, S. Comparison of Different Coagulants for Reduction of Cod from Textile Industry Wastewater. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 2, Part A, p. 567-574, 2017. ISSN 2214-7853.

RAO, L. N. Coagulation and Flocculation of Industrial Wastewater by Chitosan. **International Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 2, p. 2394-3661, 2015.

RAVINDRAN, G.; NATAJI, K.; DHARANYA, A.; DINESH, P.; ELANGO, G.; SARAVANAN, S. Treatment of Dyeing Waste Water by Using Garlic Extract as a Natural Coagulant. **International Journal of Water Resources Engineering**, v. 1, n. 1, p. 23-30, 2015.

RIBEIRO, V. S. **Caracterização De Águas Produzidas Provenientes De Campos Petrolíferos Onshore Do Estado De Sergipe**. 2013. 89f Dissertação (Mestrado em Química)-Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil.

RÔLA, A. K. K.; CASTRO, G. M. D.; SANTANA, H. F.; SOUZA, J. J. L. L. D.; SILVA, D. D. J. Avaliação Da Eficiência De Coagulantes Comerciais Para Aplicação Em Sistemas De Tratamento De Água. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 2, n. 3, p. 014-033, 2016. ISSN 2527-1075.

ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, J. A. D. **Engenharia De Reservatórios De Petróleo**. 3ª Edição Interciência, 2011.

SAAVEDRA, M. **Extracción Y Caracterización Del Aceite Esencial De Las Semillas De Tamarindo (Tamarindus Indica)**. 2016. 85 f Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial y Comercio Exterior Universidad Señor de Sipan, Peru

SALVADOR, F.; SILVA, N.; BARROZO, M.; VIEIRA, L. Estudo Experimental Do Tipo De Separação De Partículas Em Um Hidrociclone Concentrador. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 5894-5901, 2015. ISSN 2359-1757.

SANTANA, C. R. **Tratamento De Água Produzida Através Do Processo De Flotação Utilizando a Moringa Oleífera Lam Como Coagulante Natural**. 2009. 153f Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil.

SANTANA, C. R.; PEREIRA, D. F.; ARAÚJO, N. D.; CAVALCANTI, E. B.; SILVA, G. D. Caracterização Físico-Química Da Moringa (Moringa Oleifera Lam). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v. 12, n. 1, p. 55-60, 2010.

SANTOS, E. P. C. C. D.; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P.; LIBÂNIO, M.; PÁDUA, V. L. D. Estudo Da Coagulação Aplicada À Filtração Direta Descendente. **Eng. sanit. ambient**, v. 12, n. 4, p. 361-370, 2007. ISSN 1413-4152.

SANTOS, S. M.; WIESNER, M. R. Ultrafiltration of Water Generated in Oil and Gas Production. **Water Environment Research**, v. 69, n. 6, p. 1120-1127, 1997. ISSN 1061-4303.

SHAH, S. **A História Do Petróleo**. Porto Alegre: L&PM Editores, 2007. 240 p.

SHAW, D. J. Introduction to Colloid and Surface Chemistry. **Elsevier**, 1975.

SILVA, M. O. **Caracterização Física E Química Da Semente De Moringa Oleifera E Estudo Do Processo De Obtenção Do Óleo**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, Brasil.

SOARES, I. A. A. **Estudo De Sistemas Microemulsionados E Nanoemulsionados Contendo Glicerina Como Retentores De Umidade No Solo**. 2016. 150f Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Petróleo Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

SVAROVSKY, L. **Solid-Liquid Separation**. Elsevier, 2000. ISBN 0080541445.

TEIXEIRA, W.; DE TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. 557 p. ISBN 8586238147.

THOMAS, J. E. **Fundamentos De Engenharia De Petróleo**. 2ª Edição Rio de Janeiro: Interciência 2004. ISBN 8571930996.

TYLER, H. R.; SIMMONS, W. P. Flocculation and Coagulation Treatment Chemicals Are Used in Effluent Water Treatment Processes for Water Clarification. 2017. Disponível em: < <http://www.chemtreat.com/solutions/coagulants-flocculants/> >. Acesso em: 23/04/2017

VALVERDE, K. C. **Avaliação Do Processo De Tratamento De Água Utilizando a Associação Do Coagulante Natural Moringa Oleifera Lam E Coagulantes Químicos** 2014a. 153f Tese (Doutorado em Engenharia Química)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, Brasil.

VALVERDE, K. C. **Avaliação Do Processo De Tratamento De Água Utilizando a Associação Do Coagulante Natural Moringa Oleifera Lam E Coagulantes Químicos**. 2014b. 185f Tese (Doutorado em Engenharia Química)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, Brasil.

VALVERDE, K. C.; COLDEBELLA, P. F.; NISHI, L.; MADRONA, G. S.; CAMACHO, F. P.; DOS SANTOS, T. R. T.; DOS SANTOS, O. A. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação Do

Tempo De Degradação Do Coagulante Natural Moringa Oleifera Lam Em Pó No Tratamento De Água Superficial. **e-xacta**, v. 7, n. 1, p. 75-82, 2014. ISSN 1984-3151.

VALVERDE, K. C.; COLDEBELLA, P. F.; SILVA, M. F.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R. Estudo Da Clarificação Da Água Superficial Por Meio Da Associação Dos Agentes Coagulantes Moringa Oleifera Lam E Policloreto De Alumínio. **e-xacta**, v. 9, n. 2, p. 1-8, 2016. ISSN 1984-3151.

VAZ, L. G. D. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A. D.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação Da Eficiência De Diferentes Agentes Coagulantes Na Remoção De Cor E Turbidez Em Efluente De Galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010. ISSN 0100-4670.

VERÉB, G.; NAGY, L.; KERTÉSZ, S.; KOVÁCS, I.; HODÚR, C.; LÁSZLÓ, Z. Highly Efficient Purification of Finely Dispersed Oil Contaminated Waters by Coagulation/Flocculation Method and Effects on Membrane Filtration. **STUDIA UNIVERSITATIS BABES-BOLYAI CHEMIA**, v. 62, p. 259-270, 2017. ISSN 1224-7154.

VERMA, K. S.; NIGAM, R. Nutritional Assessment of Different Parts of Moringa Oleifera Lamm Collected from Central India. **J Nat Prod Plant Resour**, v. 4, n. 1, p. 81-86, 2014.

VIEIRA, G. D. F. **Determinação De Macro E Micro Nutrientes De Frutos De Moringa Oleífera Lamark (Parede Interna E Externa Da Casca) E Sementes**. 2017. Dissertação (Mestrado em Química)-

Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Brasil.

VIEIRA, R.; VIEIRA, P.; CARDOSO, S.; RIBEIRO, E.; CARDOSO, V. Sedimentation of Mixed Cultures Using Natural Coagulants for the Treatment of Effluents Generated in Terrestrial Fuel Distribution Terminals. **Journal of hazardous materials**, v. 231, p. 98-104, 2012. ISSN 0304-3894.

VIJAYARAGHAVAN, G.; SHANTHAKUMAR, S. Efficacy of Moringa Oleifera Andphaseolus Vulgaris (Common Bean) as Coagulants for the Removal of Congo Red Dye from Aqueous Solution. **J. Mater. Environ. Sci**, v. 6, n. 6, p. 1672-1677, 2015.

VISHALI, S.; KARTHIKEYAN, R. A Comparative Study of Strychnos Potatorum and Chemical Coagulants in the Treatment of Paint and Industrial Effluents: An Alternate Solution. **Separation Science and Technology**, v. 49, n. 16, p. 2510-2517, 2014. ISSN 0149-6395.

WANG, W.; YUE, Q.; LI, R.; SONG, W.; GAO, B.; SHEN, X. Investigating Coagulation Behavior of Chitosan with Different Al Species Dual-Coagulants in Dye Wastewater

Treatment. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 78, p. 423-430, 2017. ISSN 1876-1070.

WIMMER, A. C. S. **Aplicação Do Processo Eletrolítico No Tratamento De Efluentes De Uma Indústria Petroquímica**. 2007. 195f Dissertação (Engenharia Metalúrgica e de Materiais)- Programa de PósGraduação em Engenharia Metalúrgica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. , Rio de Janeiro- RJ, Brasil.

ZAHRIM, A.; DEXTER, Z.; JOSEPH, C.; HILAL, N. Effective Coagulation-Flocculation Treatment of Highly Polluted Palm Oil Mill Biogas Plant Wastewater Using Dual Coagulants: Decolourisation, Kinetics and Phytotoxicity Studies. **Journal of Water Process Engineering**, v. 16, p. 258-269, 2017. ISSN 2214-7144.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Procedimento operacional do *Infracall Analyzer Model Cvh*

O Infracal tem que estar pelo menos 1 hora ligado para este e qualquer outro procedimento.

a) Primeiro Procedimento:

Zerar o TOG:

1. Inserir no Infracall a cubeta com solvente limpo;
2. Pressionar por alguns segundos o **ZERO** até aparecer **bAL**;
3. Esperar até aparecer o número decimal (o número só é de interesse em caso de problemas com fim de repórta assistência);
4. Pressionar RUN, até aparecer (00 ± 02), se não, repetir o processo a partir do passo 2;

Obs: Sempre fazer esse procedimento sempre que for utilizar a TOG

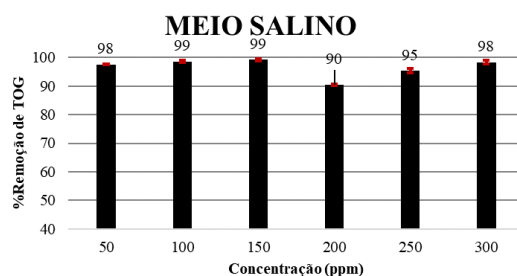
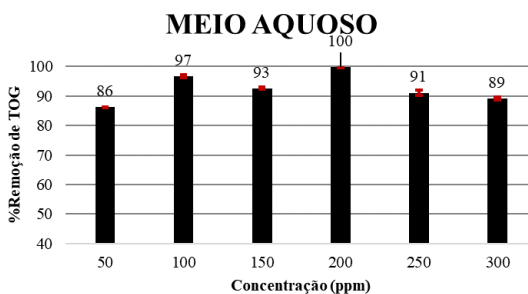
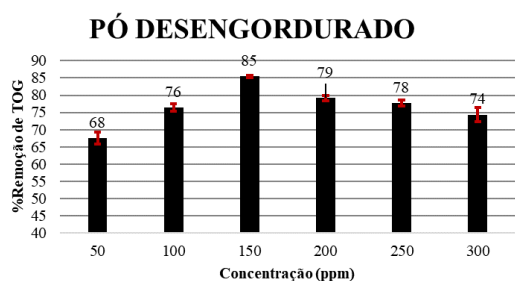
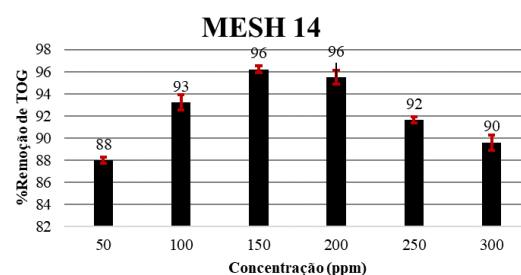
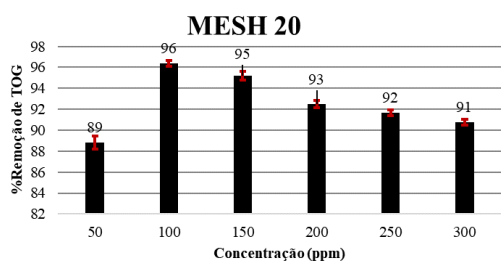
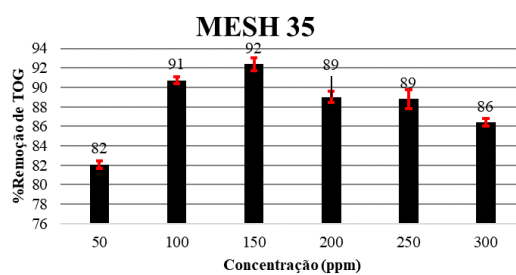
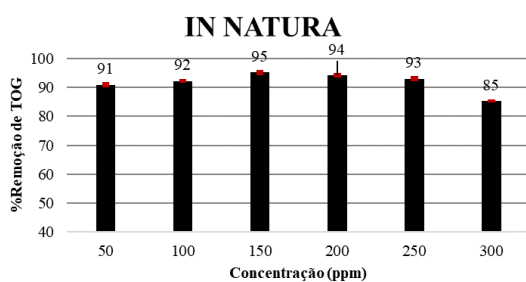
b) Procedimento para leitura de amostras

1. Realizar o branco (Descrito no **procedimento 1**);
2. Inserir a cubeta com o lado fosco virador para o operador e pressione **RUN**, o resultado irá aparecer no display. (Certifique – se que a cubeta esteja limpa e que o solvente utilizando seja tetracloroetileno.);
3. Após a análise de uma amostra sempre verificar o zero colocando a cubeta com solvente e pressionando **RUN**. (Caso o valor que aparecer esteja fora de 00 ± 02 , repita o **procedimento 3**.)

A cada nova amostra repita os passos 1 e 2

APÊNDICE B - Eficiências de remoção de TOG obtidas para diferentes métodos do coagulante natural à base de moringa.

Esse apêndice apresenta as eficiências de remoção obtidas para os 7 métodos de preparo em função das concentrações: 50; 100; 150; 200; 250; e 300 ppm.



APÊNDICE C- Análise de Variância dos diferentes métodos de preparo do coagulante natural

Anova: fator único do método de preparo com granulometria específica *mesh-35*

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
50	2	164,1777	82,08884	0,159288
100	2	181,4409	90,72045	0,137033
150	2	184,801	92,40052	0,426004
200	2	178,0107	89,00533	0,344638
250	2	177,6092	88,80459	0,959848
300	2	172,8093	86,40465	0,147951

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	131,1447	5	26,22894	72,36361	2,79645E-05	4,387374
Dentro dos grupos	2,174762	6	0,36246			
Total	133,3194	11				

Anova: fator único do método de preparo com granulometria específica *mesh-20*

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
50	2	177,6509	88,82547	0,416595
100	2	192,7824	96,3912	0,086797
150	2	190,4055	95,20275	0,196961
200	2	185,0001	92,50004	0,107956
250	2	183,273	91,63648	0,078445
300	2	181,544	90,77198	0,076972

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	79,3246	5	15,86492	98,77224	1,11966E-05	4,387374
Dentro dos grupos	0,963727	6	0,160621			
Total	80,28833	11				

Anova: fator único do método de preparo com granulometria específica mesh-14**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
50	2	175,9819	87,99094	0,08067
100	2	186,4615	93,23077	0,443712
150	2	192,3896	96,19482	0,096197
200	2	191,0234	95,51168	0,397225
250	2	183,2742	91,63711	0,087402
300	2	179,1692	89,5846	0,45932

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	105,4226	5	21,08451	80,85969	2,02E-05	4,387374
Dentro dos grupos	1,564526	6	0,260754			
Total	106,9871	11				

Anova: fator único do método de preparo na forma desengordurada**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
50	2	135,1071	67,55355	2,886733
100	2	152,8126	76,4063	1,35591
150	2	170,9027	85,45135	0,128069
200	2	158,3613	79,18065	0,542499
250	2	155,4104	77,7052	0,681691
300	2	148,7078	74,35391	4,282534

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	345,9286	5	69,18571	42,02652	0,000136038	4,387374
Dentro dos grupos	9,877435	6	1,646239			
Total	355,806	11				

Anova: fator único do método de preparo na forma in natura**RESUMO**

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
50	2	181,9516	90,97578	0,244902
100	2	184,576	92,28801	0,015306
150	2	190,5248	95,26242	0,137757
200	2	188,6002	94,30011	0,061225
250	2	186,1507	93,07536	0,244902
300	2	170,7538	85,3769	0

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	124,002	5	24,80039	211,3391	1,17363E-06	4,387374
Dentro dos grupos	0,704093	6	0,117349			
Total	124,7061	11				

Anova: fator único do método de preparo em meio aquoso

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
50	2	172,4025	86,20126	0,043961
100	2	193,4551	96,72754	0,175842
150	2	185,1527	92,57634	0,175842
200	2	199,6541	99,82706	0,059813
250	2	182,1875	91,09376	0,703369
300	2	178,3328	89,16641	0,395645

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	248,5395	5	49,70789	191,8641	1,56482E-06	4,387374
Dentro dos grupos	1,554472	6	0,259079			
Total	250,0939	11				

Anova: fator único do método de preparo em meio Salino

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
50	2	195,1091	97,55454	0,319297
100	2	197,1326	98,56631	0,084861
150	2	198,3494	99,1747	7,44E-06
200	2	180,9254	90,46268	0,685923
250	2	190,6482	95,3241	0,091217
300	2	196,7264	98,3632	0,334722

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	107,6121	5	21,52242	85,17956	1,73204E-05	4,387374
Dentro dos grupos	1,516027	6	0,252671			
Total	109,1281	11				

APÊNDICE D- Teste Tukey para os diferentes métodos de preparo do coagulante natural

Teste Tukey para o método de preparo do coagulante com granulometria mesh 35

Média harmônicas do número de repetições (r): 2
 Erro padrão: 0,462826461358178

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	82.090000	a1
6	86.400000	a2
5	88.805000	a2 a3
4	89.005000	a3
2	90.500000	a3 a4
3	92.400000	a4

Teste Tukey para o método de preparo do coagulante com granulometria mesh 20

Média harmônica do número de repetições (r): 2
 Erro padrão: 0,343426362800915

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	88.825000	a1
6	90.775000	a2
5	91.500000	a2
4	92.500000	a2
3	95.180000	a3
2	96.390000	a3

Teste Tukey para o método de preparo do coagulante com granulometria mesh 14

Média harmônica do número de repetições (r): 2
 Erro padrão: 0,359368659364352

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
50	87.990000	a1
300	89.585000	a1
250	91.640000	a2
100	93.230000	a2
200	95.515000	a3
150	96.195000	a3

Teste Tukey para o método de preparo do coagulante na forma in natura

Média harmônica do número de repetições (r): 2
 Erro padrão: 0,260839989265449

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
6	85.600000	a1
1	90.965000	a2
2	92.300000	a2 a3
5	93.050000	a3 a4
4	94.300000	a4 a5
3	95.250000	a5

Teste Tukey para o método de preparo do coagulante em meio aquoso

Média harmônica do número de repetições (r): 2
 Erro padrão: 0,443325501183947

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	85.700000	a1
6	89.165000	a2
5	91.095000	a2 a3
3	92.575000	a3
2	96.725000	a4
4	99.825000	a5

Teste Tukey para o método de preparo do coagulante em meio salino

Média harmônica do número de repetições (r): 2
 Erro padrão: 0,35371834369547

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
200	90.465000	a1
250	95.325000	a2
50	97.560000	a3
300	98.360000	a3
100	98.565000	a3
150	99.175000	a3

Teste Tukey para os 7 métodos de preparo na concentração de 150 ppm

Média harmônica do número de repetições (r): 2
 Erro padrão: 0,535083438086327

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Desengordurado	85.450000	a1
Mesh 35	92.400000	a2
Aquoso	92.575000	a2
Mesh 14	95.195000	a2
Mesh 20	95.205000	a2
In natura	95.260000	a2
Salino	99.175000	a3