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

KRYSLAINE MACHADO DE ALMEIDA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DE UM MEIO FILTRANTE UTILIZANDO A MORINGA *OLEÍFERA* LAM PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA

São Cristovão (SE)
2015

KRYSLAINE MACHADO DE ALMEIDA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DE UM MEIO FILTRANTE UTILIZANDO A MORINGA *OLEÍFERA* LAM PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Francisco da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. José Jailton Marques

São Cristovão (SE)
2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Santos, Kryslaine Machado de Almeida dos
S237a Avaliação de um meio filtrante utilizando a moringa *oleífera* Lam para tratamento de água produzida / Kryslaine Machado de Almeida dos Santos ; orientador Gabriel Francisco da Silva. – São Cristóvão, 2015.
71 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Sergipe, 2015.

1. Filtros e filtração. 2. Águas residuais - filtração. 4. Separação (tecnologia). I. Silva, Gabriel Francisco da, orient. II. Título.

CDU 66.067.12-035.26

KRYSLAINE MACHADO DE ALMEIDA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DE UM MEIO FILTRANTE UTILIZANDO A MORINGA *OLEÍFERA* LAM PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA

Dissertação de Mestrado aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Sergipe em 29 de janeiro de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Gabriel Francisco da Silva – Orientador
PEQ/UFS

José Jailton Marques – Co-orientador
NEAM/UFS

Daniel Pereira da Silva
RENORBIO/UFS

Antônio Martins Oliveira Júnior
PEQ/UFS

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Valquiria e João, que, com todo amor e carinho, transferiram para mim simplicidade, humildade e ânimo para lutar sempre; a meus irmãos Kryshnar (*in memoriam*), Khywanoshky e Khallyd; e ao Professor que admiro muito, Gabriel, que acreditou e investiu em meu potencial, contribuindo ativamente para o meu futuro profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me mostrar a luz nos momentos difíceis da minha vida, e por colocar no meu caminho pessoas maravilhosas, mostrando-me que nada acontece por acaso.

Aos meus pais, João Antonio e Valquiria Machado, pelo amor e confiança depositados em mim por toda minha vida.

Aos meus irmãos e minhas sobrinhas, em especial meu irmão Kryshnar Machado (*in memoriam)*, embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força.

À minha família em Rondônia que, mesmo longe, torcia por mim.

À minha madrinha e toda a sua família que sempre me ajudaram para que eu tivesse uma boa educação.

À coordenação da pós-graduação em Engenharia Química, por seu empenho.

Ao professor Gabriel pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação, pela dedicação e amizade, ao professor Jailton, pela colaboração e ao professor Ricardo Medronho pelo apoio e carinho.

Às minhas amigas Jaciara Ribeiro, Jackelline Larissa, que, mesmo distante, sempre me apoiaram. Aos amigos da UFS, Mirele, Adriana Moitinho, Patrícia Rabelo, Nicolis, Samia, Douglas, Diego, Andrea, Felipe e a todas as meninas do LTA (Laboratório de Tecnologias Alternativas), pela colaboração e apoio.

Aos membros da banca de defesa, Prof. Dr. Antônio Martins Oliveira Júnior e Prof. Dr. Daniel Pereira da Silva, pelas sugestões finais.

À UFS, por todo o suporte ao longo do mestrado.

Ao CNPq, pelo financiamento da bolsa.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

"A tarefa mais difícil para uma mãe, profissional e estudante, é saber conciliar o pouco tempo que se tem disponível, mas é gratificante saber que, ao final, o sacrifício vale a pena."

(Autor desconhecido)

RESUMO

O descarte de efluentes líquidos da indústria do petróleo, com destaque para a água produzida - efluente que ocupa a primeira posição em quantidade nesse ramo industrial, é bastante lesivo ao ambiente, sobretudo quando não é feito o tratamento adequado ou quando a qualidade está fora dos limites de lançamento estabelecidos na legislação ambiental. Com isso, o tratamento desses efluentes vem sendo alvo de muitos estudos no mundo, principalmente no que se refere à oportunidade de se utilizar meios alternativos, viáveis e inovadores para minimizar tais problemas. O presente trabalho tem por finalidade avaliar os meios filtrantes à base de derivados da Moringa *oleífera* Lam, para remoção de óleos e graxas da água produzida. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tecnologias Alternativas (LTA) do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), utilizando-se água produzida sintética (APS) em ensaios de filtração executados numa unidade piloto, utilizando como meios filtrantes: a vagem completa, a casca e a torta de moringa nos diâmetros médios respectivamente iguais a 1,70 mm (G1); 0,84 mm (G2) e 1,18 mm (G3). Para fins de comparação, foi feito um ensaio com o meio filtrante casca de nozes. Dentre esses materiais, o que apresentou maior remoção de óleo da água produzida (61,2%) foi a casca de moringa. Também foi calculado o fluxo de filtrado para cada leito e o que obteve o maior fluxo foi o MF2-G1 com 2,92 $cm^3/cm^2.s$. A utilização dos constituintes da Moringa *oleífera* Lam, principalmente a casca, apresentou resultados satisfatórios que motivam o desenvolvimento de estudos futuros para tornar esse material um meio filtrante alternativo para o tratamento de água produzida.

PALAVRAS CHAVES: Moringa *oleífera* Lam, meio filtrante, água produzida

ABSTRACT

The disposal of liquid effluents of the oil industry, especially the produced water - wastewater that ranks first in quantity in this industrial branch, is very harmful to the environment, especially when it is not done the proper treatment or when the quality is out of Release limits set by environmental legislation. Thus, the treatment of these effluents has been the subject of many studies in the world, especially with regard to the opportunity to use alternative, viable and innovative ways to minimize such problems. This study aims to evaluate the filter media based on derivatives of Moringa oleifera Lam, to remove oils and greases produced water. The experiments were performed in the Alternative Technologies Laboratory (ATL), Department of Chemical Engineering (DEQ) of the Federal University of Sergipe (UFS), using synthetic produced water (APS) filtration tests performed in a pilot plant, using the following media filter: the complete pod, bark and moringa pie in average diameters respectively equal to 1.70 mm (G1); 0.84 mm (G2) and 1.18 mm (G3). For comparison, one test was made with the walnut shell filter media. Among these materials, which showed higher produced water oil removal (61.2%) was the moringa peel. We also calculated the filtrate flow for each bed and which had the highest flow was the MF2-G1 with 2.92 cm^3 / cm^2.s. The use of the constituents of Moringa oleifera Lam, mainly bark, satisfactory results showed that motivate the development of future studies to make the material an alternative filter medium for treating water produced.

KEYWORDS: Moringa oleifera Lam, filter media, produced water

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema de emulsões do tipo A/O e O/A 21

Figura 2.2 - Equivalência da ingestão de 1,0 gramas de folhas de moringa oleífera comparada com outros alimentos 28

Figura 2.3 - Moringa oleífera Lam no sítio Quixaba (Ingá-PB)..... 29

Figura 2.4 - Constituintes da moringa (A) Flores, (B) Folha, (C) Vagem, (D) Semente, (E) Vagem com as sementes expostas. 30

Figura 3.1 - Fluxograma Experimental..... 35

Figura 3.2 - Obtenção da torta de moringa por prensagem em extrusora. 36

Figura 3.3 - Espectrofotômetro de infravermelho. 38

Figura 3.4 - Matéria-prima: vagem (a), casca (b) e torta (c) 39

Figura 3.5 - Esquema do sistema de filtração..... 41

Figura 3.6 - Equipamento Experimental 42

Figura 3.7 - Fluxograma de obtenção da torta de moringa..... 43

Figura 3.8 – Ensaio da proveta. 45

Figura 3.9 - Emulsão O/A obtida com turrax. 46

Figura 4.1 - Meio filtrante torta da moringa, diâmetros: 1,70mm (a), 1,19mm (b) e 0,84mm (c). 47

Figura 4.2 - Meio filtrante vagem da moringa, diâmetros: 1,70mm (a), 1,19mm (b) e 0,84mm (c). 47

Figura 4.3 - Meio filtrante casca da moringa, diâmetros: 1,70mm (a), 1,19mm (b) e 0,84mm (c). 48

Figura 4.4 – Meio filtrante casca de nozes 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Metais pesados na água produzida. 23

Tabela 3.1 - Caracterização granulométrica. 39

Tabela 4.1 - Porosidade dos meios filtrantes. 48

Tabela 4.2 - Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF1-G1..... 50

Tabela 4.3 - Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF1-G2..... 51

Tabela 4.4 - Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF1-G3..... 52

Tabela 4.5 - Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF2-G1..... 52

Tabela 4.6 - Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF2-G2..... 53

Tabela 4.7 - Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF2-G3..... 53

Tabela 4.8 - Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito casca de nozes.. 54

Tabela 4.9 - Vazão de saída com leito MF1-G1.. 54

Tabela 4.10 - Vazão de saída com leito MF1-G2.. 55

Tabela 4.11 - Vazão de saída com leito MF1-G3.. 55

Tabela 4.12 - Vazão de saída com leito MF2-G1.. 56

Tabela 4.13 - Vazão de saída com leito MF2-G2.. 57

Tabela 4.14 - Vazão de saída com leito MF2-G3.. 57

Tabela 4.15 - Vazão de saída com leito casca de nozes.. 58

NOMENCLATURA

A/O – água/óleo

AP – Água Produzida

APS – Água Produzida Sintética

ΔP – queda de pressão através do meio filtrante (psi)

Δt – tempo de filtração (s)

ΔV – volume

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

ε – porosidade do leito

HPLC – *High Performance Liquid Chromatography*

J – fluxo de líquido

dV/dt – taxa de filtração

MF1-G1 – Meio Filtrante Vagem de moringa – granulometria 1,70 mm

MF1-G2 – Meio Filtrante Vagem de moringa – granulometria 0,84 mm

MF1-G3 – Meio Filtrante Vagem de moringa – granulometria 1,19 mm

MF2-G1 – Meio Filtrante Vagem de moringa – granulometria 1,70 mm

MF2-G2 – Meio Filtrante Vagem de moringa – granulometria 0,84 mm

MF2-G3 – Meio Filtrante Vagem de moringa – granulometria 1,19 mm

MF – Microfiltração

NF – Nanofiltração

O/A – óleo/água

Offshore – Áreas de produção marítima

Onshore – Áreas de produção terrestre

OI – Osmose Inversa

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

Q_a – Vazão de alimentação (L/s)

Q_s – Vazão de saída (L/s)

R_m – resistência hidráulica do meio filtrante

TOG – Teor de Óleos e Graxas

μ – viscosidade absoluta do líquido

UF – Ultrafiltração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

1.1 OBJETIVOS 18

1.1.1 OBJETIVO GERAL 18

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19

2.1 INDÚSTRIA DE PETRÓLEO 19

2.2 ÁGUA PRODUZIDA 20

2.2.1 EMULSÃO 21

2.2.2 ORIGEM DA ÁGUA PRODUZIDA 22

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA PRODUZIDA 22

2.2.4 TIPOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA 23

2.2.5 ASPECTO AMBIENTAL 26

2.3 MORINGA *oleífera* LAM 27

2.3.1 CONSTITUINTES 28

2.3.2 APLICAÇÕES 31

2.4 FILTRAÇÃO 32

2.4.1 TEORIA SIMPLIFICADA DA FILTRAÇÃO 32

2.4.2 MEIO FILTRANTE 33

3 METODOLOGIA 35

3.1 EQUIPAMENTOS 36

3.1.1 EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE MORINGA 36

3.1.2 TRITURAÇÃO DO MATERIAL 37

3.1.3 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA 37

3.1.4 OBTENÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA..... 37

3.1.5 TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS 38

3.2 MATÉRIA PRIMA..... 38

3.3 MONTAGEM DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO 40

3.4 PREPARAÇÃO DOS MATERIAS A SEREM USADOS COMO MEIOS FILTRANTES..... 43

3.4.1 TORTA 43

3.4.2 DEMAIS MATERIAIS 44

3.5 ANÁLISE DA POROSIDADE 44

3.6 PREPARO DA ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA 45

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 47

4.1 OBTENÇÃO DA GRANULOMETRIA DESEJADA..... 47

4.2 POROSIDADE DO MEIO FILTRANTE 48

4.3 ENSAIOS DE FILTRAÇÃO COM ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA..... 49

4.3.1 REMOÇÃO DE ÓLEO E GRAXAS..... 50

4.3.2 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO E DO FLUXO 54

4.3.2.1 VAZÃO E FLUXO DE FILTRADO PARA VAGEM DE MORINGA COMO MEIO FILTRANTE 54

4.3.2.2 VAZÃO E FLUXO DE FILTRADO PARA CASCA DE MORINGA COMO MEIO FILTRANTE 56

4.3.2.3 VAZÃO E FLUXO DE FILTRADO PARA CASCA DE NOZES COMO MEIO FILTRANTE 58

5 CONCLUSÃO.....59

6 SUGESTÕES 60

REFERÊNCIAS 61

ANEXOS 68

ANEXOS A – Parâmetros do óleo 69

ANEXOS B – Calibração do TOG.....70

ANEXOS C –Vazão de entrada do filtro 71

INTRODUÇÃO

O petróleo é matéria-prima para muitos materiais e produtos, a exemplo de todos os produtos petroquímicos e demais derivados (polímeros, lubrificantes, tintas, combustíveis, solventes etc.). É uma substância oleosa, inflamável, com cheiro característico e com cor variando entre o negro e o castanho escuro, formado basicamente de carbono e hidrogênio. Entretanto, durante o processo de produção do petróleo há a geração de grandes quantidades de um efluente denominado água produzida, o qual tem sérias implicações ambientais e exige gestão adequada.

A água produzida é um efluente complexo, de salinidade elevada, cuja composição pode variar amplamente, dependendo do tipo e idade do campo, origem e qualidade do óleo, bem como do procedimento usado para sua extração.

Para a extração e produção do petróleo existem dois tipos de ambientes de produção: a *onshore*, onde a área de produção é em terra, e a *offshore*, que são as áreas de produção marítima. Em ambos os casos, a água produzida deve ser tratada para descarte ou reinjeção, atendendo-se aos padrões de reinjeção ou de lançamento, que diferem significativamente quanto ao teor de óleos e graxas, segundo as Resoluções CONAMA 357/05, 393/07 e 430/11, as quais estabelecem, entre outros parâmetros, que o pH da água para descarte deve estar entre 5 a 9, a temperatura não superior a 40ºC e não exceder em 3ºC a temperatura do corpo receptor na zona de mistura e o teor de óleos e graxas (TOG) médio de 29 mg/L e máximo 42 mg/L.

O impacto ambiental provocado pelo descarte da água produzida está diretamente associado à toxidade de alguns constituintes e à sua elevada carga poluente. Além disso, a água produzida ainda apresenta quantidades elevadas de produtos químicos tóxicos adicionados durante o processo de extração do petróleo como: inibidores de corrosão e incrustação, desemulsificantes, polieletrólitos, entre outros (ROCHA *et al.*, 2012).

O desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento da água produzida ou ainda o aperfeiçoamento das existentes é de extrema importância para que a indústria de petróleo continue a se expandir, minimizando os impactos ao meio ambiente.

Nas regiões áridas, onde a água potável é escassa, pode ser viável o reuso dessa água para aplicação na agricultura e uso doméstico, contanto que seja feito um

tratamento adequado, principalmente corrigindo as suas características de toxicidade (SHPINER *et al.*, 2009).

Uma das alternativas que está sendo estudada para o tratamento de água de produção do petróleo é a utilização da Moringa *oleífera* Lam e seus subprodutos como cascas, sementes (para produção da torta) e o fruto completo como meio filtrante.

A Moringa *oleífera* Lam é uma planta da família Moringaceae, do gênero moringa, conhecida popularmente por lírio branco, quiabo-de-quina, acácia-branca, árvore-rabanete-de-cavalo, cedro e moringueiro.

É uma planta multiuso e utilizada como ração animal, óleo combustível, hidratante, chá, alimentação humana e principalmente no tratamento de água como coagulante/floculante.

Diante do exposto e visando encontrar alternativas para melhor tratamento de água produzida, tendo em vista a preocupação da indústria de petróleo com o grande volume desse efluente, o presente trabalho objetivou a avaliação de um meio filtrante a partir da Moringa *oleífera* Lam, utilizando um sistema de filtração em unidade piloto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os constituintes da Moringa *oleífera* Lam quanto ao seu como meio filtrante na remoção do teor de óleos e graxas, em unidade piloto, para tratamento de água produzida.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar e caracterizar (granulometria e porosidade) os constituintes da Moringa *oleífera* (torta, casca e vagem);
- Montar um sistema de filtração (unidade piloto) para realizar os testes;
- Avaliar os meios filtrantes, derivados da Moringa *oleífera*, quanto à eficiência na remoção de óleos e graxas da água produzida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

O petróleo é um produto da decomposição da matéria orgânica armazenada em sedimentos, que migra através de aquíferos e fica aprisionado em reservatórios. O sedimento no qual a matéria orgânica se acumula, é rico em minerais de argila, enquanto que a maioria das camadas dos terrenos sedimentares que constituem campos de petróleo ou gás é de arenito (consistindo de grãos de quartzo), de calcários dolomíticos (consistindo de minerais carbonáticos) e rochas muito fraturadas de outras espécies (CORRÊA, 2003). A palavra petróleo é originada do latim *petra* (pedra) e *oleum* (óleo), no estado líquido é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e cor variando entre o negro e o castanho-claro.

A indústria do petróleo passou por várias etapas durante o processo histórico, econômico, político e social. Suas significativas mudanças ocorreram, nos últimos quinze anos, através da abertura do mercado decorrente da flexibilização do monopólio estatal sobre as jazidas de petróleo e seus derivados (FONTES, 2013).

No Brasil, a história do petróleo iniciou em 1858, com o Decreto de Nº 2.226, assinado pelo Marques de Olinda, concedendo a José Barros Pimentel o direito de extrair o mineral para a fabricação de querosene em terrenos situados à margem do Rio Marau, na Bahia (CAMPOS *et al.*, 2012).

No campo de Riachuelo, localizado no Estado de Sergipe, as atividades da Petrobras iniciaram em 1961. Em 1963, foi descoberto do campo de Carmópolis, que, de acordo com Pontes (2010), é o maior campo petrolífero terrestre do País. Na indústria do petróleo a geração de efluentes é inevitável, destacando-se a quantidade de águas residuais gerada em todas as etapas do processo de produção: extração, transporte e refino (SILVA *et al.*, 2005).

Para a exploração do petróleo é necessário um estudo geológico da região, através de observações de rochas, formações rochosas e interpretações geofísicas, que, de forma conjunta, contribuem para a estimação da probabilidade da ocorrência de rochas reservatórios (SILVA, 2008). Se ficar comprovado que existe petróleo em um

determinado local e se a produção for viável economicamente, a produção do campo petrolífero será desenvolvida.

O petróleo é constituído por centenas de substâncias químicas, embora a maioria dos constituintes sejam hidrocarbonetos. De acordo com Hayder *et al.* (2014), durante a refinação do petróleo bruto, cerca de 3,5 a 5,0 m³ de água produzida são gerados por tonelada de petróleo bruto contendo altos níveis de poluentes.

2.2 ÁGUA PRODUZIDA

A água subterrânea teve origem na formação geológica há milhões de anos e, como consequência, a composição natural da água inclui uma variedade de compostos orgânicos e inorgânicos e é extremamente dependente da região em que a mesma se encontra. Baseadas na sua história, as águas subterrâneas são divididas em três grandes classes.

- Águas meteóricas: águas que fazem parte do ciclo hidrogeológico, que contempla águas superficiais e subterrâneas que se movem da superfície para o fundo, através do estado permeável. Possui alta concentração de sódio, bicarbonato, e sulfato e geralmente menos que 10.000 ppm de total de sólidos dissolvidos (STD).

- Águas conatas: água de origem continental ou marítima, que está associada aos interstícios de uma rocha sedimentar, podendo conter alta salinidade e presença de metais pesados em percentuais variados.

- Águas juvenis: são aquelas que ainda vêm do manto (interior da terra), mas são difíceis de identificar com segurança, uma vez que elas podem ser águas meteóricas recicladas (HUNT, 1995).

As águas de produção das indústrias petrolíferas geram o efluente denominado água produzida que é constituído principalmente por água, sais, óleo, metais pesados, radionuclídeos, oxigênio dissolvido e aditivos químicos (Bessa *et al*., 2001).

2.2.1 EMULSÃO

Emulsões são definidas como sistemas dispersos nos quais as fases são imiscíveis ou têm miscibilidades limitadas e as gotas da fase dispersa têm diâmetros médios que variam aproximadamente de 0,1 a 100 μm (SHAW, 1992). Resultam naturalmente em dois tipos: óleo - em - água (O/A) e água - em - óleo (A/O), em que o segundo líquido forma a fase contínua (Figura 2.1). O termo emulsão é algumas vezes usado para descrever sistemas em que uma fase é sólida, porém foi líquida quando a dispersão foi formada (BARNES, 2005).

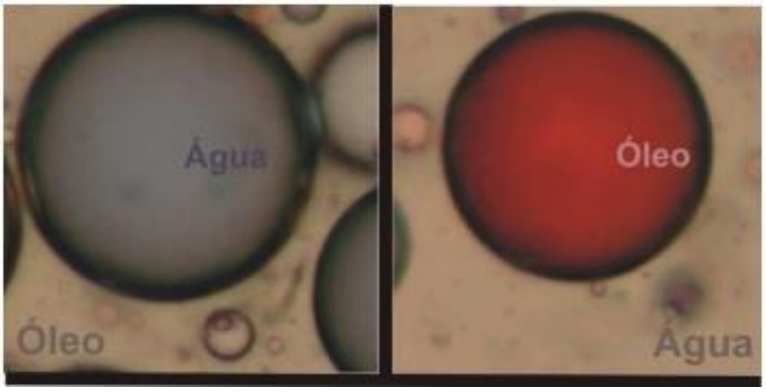


Figura 2.1 – Esquema de emulsões do tipo A/O e O/A.

FONTE: SILVA, 2008.

A viscosidade das emulsões depende basicamente de alguns fatores como viscosidade e densidade do óleo e da água, fração volumétrica de água dispersa, distribuição do tamanho de gota, tamanho médio de gota, temperatura, taxa de cisalhamento e quantidade de sólidos presentes (KOKAL, 2005; FARAH *et al.*, 2005).

A estabilidade de uma emulsão é a capacidade da mesma em manter sua homogeneidade durante certo período de tempo. Essa estabilidade está relacionada a

diversos fatores, como: a fração pesada, dada em teor de asfaltenos, resinas e ácidos orgânicos solúveis; sólidos; temperatura; tamanho de gota; pH e teor de sal. Para Adamson (1976), a estabilidade das emulsões pode ser decorrente de fatores termodinâmicos associados à energia interfacial, de fatores químicos e estruturais associados ao filme adsorvido na interface líquido-líquido, de forças eletrostáticas de longo alcance e da presença de partículas sólidas finamente divididas. Shaw (1975) relatou que, também considera que os volumes relativos das fases líquidas, o tamanho de gotas da fase dispersa e a viscosidade também afetam a estabilidade das emulsões.

2.2.2 ORIGEM DA ÁGUA PRODUZIDA

A origem da água produzida (AP) pode ser fluxo abaixo da zona produtora de hidrocarbonetos e ainda fluxo de fluidos injetados nas atividades de produção de petróleo (VEIL *et al*, 2004).

De acordo com Ahmadum *et al.* (2009), rochas que existem naturalmente em formações subterrâneas são geralmente permeadas por fluidos subterrâneos como óleo, gás e água salina. Antes dos compostos de hidrocarbonetos serem capturados nas rochas, as mesmas estavam saturadas com água salina. Hidrocarbonetos com baixa densidade migraram para as cavidades e deslocaram parte da água salina das rochas de formação. Finalmente, rochas reservatório absorveram água salina e hidrocarbonetos (óleo e gás).

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA PRODUZIDA

Os compostos que normalmente compõem esse efluente são: óleo disperso e dissolvido, sais minerais dissolvidos, sólidos oriundos da corrosão, graxas e asfaltenos, produtos químicos adicionados para prevenir e/ou tratar problemas operacionais, tais como: biocidas, anti-incrustantes, antiespumantes e inibidores de corrosão, e gases

dissolvidos, incluindo dióxido de carbono (CO_2) e gás sulfídrico (H_2S) (STEPHENSON, 1991).

Os metais pesados que geralmente são encontrados na água produzida estão listados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Metais pesados na água produzida

Íon metálico	**Valor médio (µg/L)**	**Desvio padrão (µg/L)**	**Máximo (µg/L)**	**Mínimo (µg/L)**
Cd^{2+}	27	12	98	0
Cr^{3+}	186	68	390	0
Cu^{2+}	104	180	1455	0
Pb^{2+}	351	670	5700	2
Ni^{2+}	192	307	1674	0
Ag^{1+}	63	17	152	12
Zn^{2+}	170	253	5600	17

Fonte: STEPHENSON, 1992.

2.2.4 TIPOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA

Existem vários processos para o tratamento da água visando remover a maior quantidade possível de óleos e graxas, entre outras substâncias associadas à mesma. Durante a exploração do petróleo há um volume crescente de água produzida, conforme o óleo é exaurido, ou seja, à medida que o campo de produção envelhece e o volume de água necessário à recuperação do óleo aumenta. Estima-se que durante a vida econômica de um poço de petróleo, o volume desta água pode chegar a exceder dez vezes o volume de produção de óleo (em campos novos: 5 a 15% do fluido trazido à superfície é água produzida, enquanto que, em campos maduros, esse percentual sobe para 90%) (EKINS, *et al*., 2007).

Entre os principais tratamentos de água podemos citar: filtração, adsorção, processos eletroquímicos, flotação, hidrociclones etc.

A filtração é uma operação unitária imprescindível para a produção contínua e segura em diversos processos industriais. Esse processo pode transcocorrer de forma

rápida ou lenta, dependendo da taxa de filtração, do teor de contaminantes e da qualidade final do produto ou efluente. A utilização de processos de filtração por membranas, tais como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa oferecem muitas vantagens para o tratamento de água produzida (MONDAL, 2008).

- A microfiltração (MF) é o processo de separação com membranas de filtração, sendo um processo indicado para reter o material em suspensão e emulsão, além de esterilização do produto em temperatura ambiente (MORENO, *et al*., 2012).

- Ultrafiltração (UF) é um processo de fracionamento seletivo utilizando pressões acima de 145 psi (10 bar), sendo largamente utilizada em fracionamento de leite e soro de leite e no fracionamento protéico. Este método costuma ser bastante utilizado como pré-tratamento de águas superficiais, água de mar, e efluentes biologicamente tratados, para os sistemas de desmineralização por membranas, tais como osmose reversa e nanofiltração (Revista Meio Filtrante, 2011).

- Nanofiltração (NF) é designada como a separação de solutos que ocorre na faixa de nanômetros (10^{-9} m), sendo considerada a mais recente nos processos de separação por membrana e se encontra sobre os limites entre OI e UF, entretanto, permite a permeação de alguns eletrólitos monovalentes e moléculas nitrogenadas e orgânicas de baixo peso molecular, retendo todas as outras moléculas de soluto que a membrana de UF geralmente permitiria no permeado (KELLY, 2011 apud GOULAS; GRANDISON, 2008).

- Osmose inversa (OI) é um processo que depende de uma capacidade inerente de a membrana para remover os íons que permitem, ao mesmo tempo, a permeação da água (GAROFALO, *et al.*, 2014). As membranas para esse processo são mais "fechadas" (poros menores) apresentando, portanto, uma maior resistência à permeação e, consequentemente, pressões de operação mais elevadas do que as utilizadas na microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração (HABERT *et al.*, 2006).

O processo eletroquímico ocorre através da ação do próprio elétron onde as substâncias tóxicas e nocivas ao meio ambiente são removidas ou transformadas através

de reações redox em substâncias menos tóxicas. A eficiência do tratamento eletroquímico da água produzida foi associada a três fatores: oxidação direta do resíduo orgânico sobre o eletrodo; remoção do material particulado pelos gases eletrogerados (eletroflotação); e oxidação indireta através de espécies intermediárias reativas (ZANTA *et al*., 2000; ZANTA *et al*., 2003).

Um dos processos mais utilizados para recuperação de óleo na água produzida através da separação gravitacional é a flotação. Este processo, além de bastante eficiente, tem um custo menor em relação aos outros métodos de separação e, por esse motivo, sua aplicação se expandiu em diversos campos de aplicação, como, por exemplo, para separação da tinta do papel reciclado ou de proteínas e partículas coloidais da água (SILVA, 2008). Santana et al. (2010) estudaram a técnica de flotação em amostras de água produzida real (APR), na separação óleo/água, com adição da torta de moringa como agente coagulante. O Teor de Óleos e Graxas (TOG) inicial do efluente era de 387 ppm (branco). Os resultados mostraram que a melhor concentração do coagulante foi 1,5 g/L, alcançando remoções de óleo em água maiores do que 55%, utilizando uma razão de reciclo de 60%.

A adsorção baseia-se no princípio de que uma superfície sólida, em contato com um fluido, tem tendência a acumular uma camada superficial de moléculas de soluto, devido ao desequilíbrio de forças superficiais existentes. Segundo Pereira et al. (2009), a casca de sementes de moringa é um excelente adsorvente na separação óleo/água da água produzida. Estudos realizados pelos autores indica remoção acima de 92% de óleo em água.

O hidrociclone é um dispositivo de separação dos líquidos por meio de separação centrífuga, onde a força motriz de separação vem da transformação da energia estática do fluido em energia dinâmica (ANDRADE *et al*, 2013).

Para o tratamento de efluentes, há sempre uma busca de mecanismos que permitam reduzir a estabilidade de sistemas dispersos. No caso de água produzida, a redução da estabilidade é fundamental para se obter a separação das duas fases líquidas. O processo de desestabilização de uma emulsão é governado por vários diferentes fenômenos, entre elas a filtração.

2.2.5 ASPECTOS AMBIENTAIS

Segundo Pereira (2011), a preocupação mundial com a escassez de água para consumo, ocasionada em grande parte pela contaminação das águas superficiais e subterrâneas, impulsionou o desenvolvimento de novas técnicas para a remoção de contaminantes presentes em efluentes líquidos, com o objetivo de melhorar consideravelmente a qualidade das águas para descarte ou para reutilização no processo industrial. A preocupação com o meio ambiente, a nova Lei de Gestão dos Recursos Hídricos (Política Nacional de Recursos Hídricos-PNRH, Lei nº 9433 de 08/01/97), incrementou a relevância dos estudos desenvolvidos nesta área.

A água produzida é um efluente onde seu destino pode ser o descarte ou a reinjeção em poços. No Brasil, os padrões para o descarte desse efluente são estabelecidos na esfera federal pelas Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). É necessário diminuir o teor de óleo presente na água produzida, qualquer que seja o seu destino final. Para o descarte, o CONAMA, por sua resolução nº. 393/2007, estabelece que o limite seja de 29 mg/L. Seu descarte deve ser feito o mais próximo possível do campo produtor, para evitar problemas no transporte e armazenamento, além de desperdícios de energia. Devido a isso, a solução comumente adotada é:

- *Offshore* (campos marítimos): Com a redução do teor de óleos aos níveis exigidos pela legislação ou para fins de recuperação, a água produzida pode ser lançada ao mar;
- *Onshore* (campos terrestres): Após o devido tratamento, de modo que esta não venha causar problemas no reservatório e nos equipamentos através de corrosão e/ou entupimento dos poços, a água produzida pode ser reinjetada em poços para fins de recuperação secundária ou descarte.

2.3 MORINGA *oleífera* LAM

A Moringa *oleífera* é uma árvore pertencente à família Moringaceae, composta de apenas um gênero (moringa) e quatorze espécies conhecidas, nativa do norte da Índia, cresce em vários países dos trópicos; seu fruto é uma espécie de vagem com três faces (diferentes de uma vagem normal, que tem duas faces) e grande número de sementes (BEZERRA *et al*., 2004).

Esta espécie possui vários nomes vulgares, em português, dentre os quais citam-se, baqueta, jasmim francês, quiabo de três quinas e rabanete (NASCIMENTO, *et al*., 2012).

A maioria dos constituintes da árvore de Moringa são comestíveis e tem sido consumidos por seres humanos (FOILD *et al*., 2001) e animais. É uma árvore vegetal excepcionalmente nutritiva com uma variedade de usos potenciais (SERAFINI *et al*., 2013). Os autores ainda relatam que o óleo obtido das sementes pode ser usado no preparo de alimentos, na fabricação de sabonetes, cosméticos, combustíveis e biodiesel, e a torta resultante da extração de óleo das sementes pode ser usada como fertilizante, na alimentação animal e no tratamento de água.

Segundo Ndabigengesere & Narasiah (1996), as sementes de Moringa *oleífera* Lam são uma alternativa viável de agente coagulante em substituição aos sais de alumínio, que são utilizados no tratamento de água em todo o mundo. Comparada com o alumínio, as sementes de Moringa *oleífera* não alteraram significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento e não causam problemas de corrosão (OLIVEIRA et al., 2009).

No Brasil é encontrado em maior número na região Nordeste, principalmente nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará (CYSNE, 2006).

Nas regiões semi-áridas a Moringa, é considerada uma das espécies mais valiosa por apresentar diversos usos como, planta alimentícia (folhas, vagens verdes, flores e sementes); forrageira (folhas, vagens e sementes); e melífera medicinal (VIANA et al., 2012). A Figura 2.2 ilustra o valor nutritivo da folha de moringa.

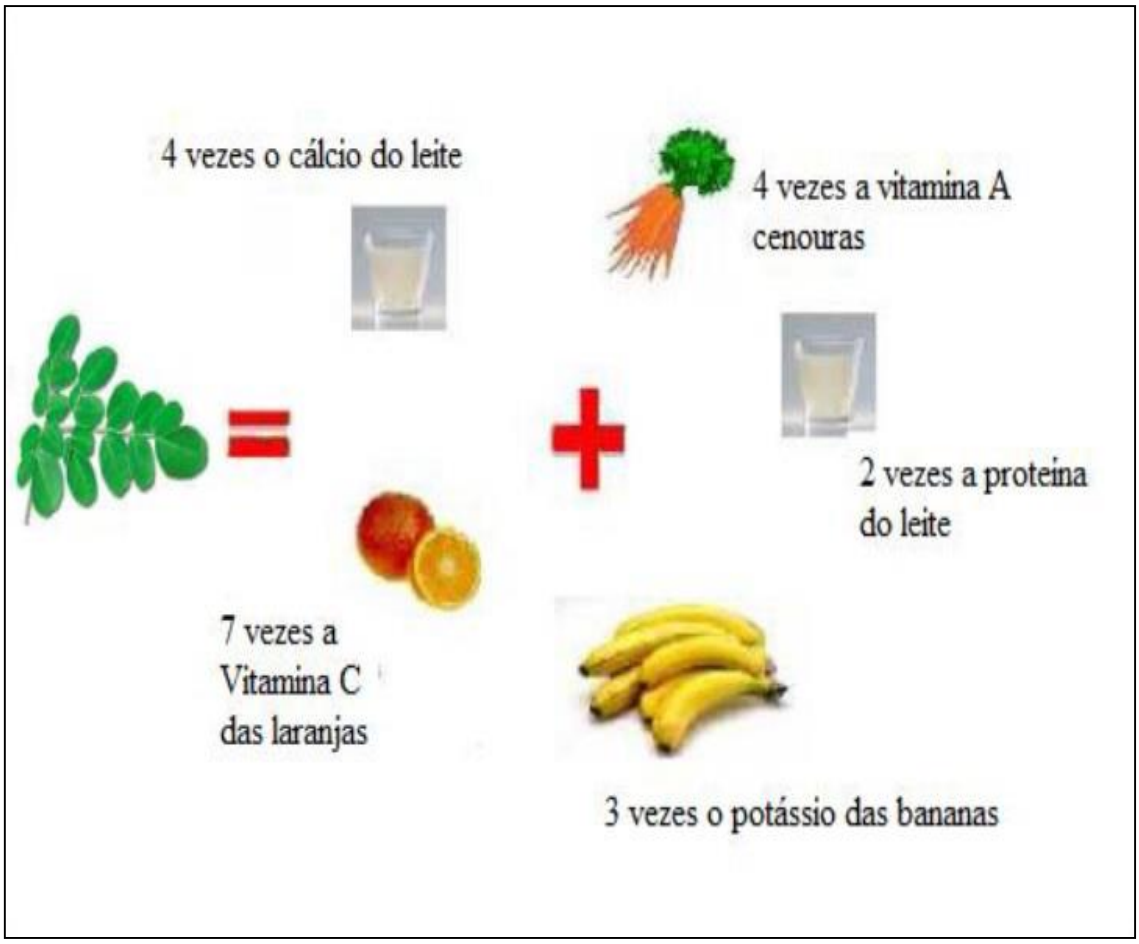


Figura 2.2 – Equivalência da ingestão de 1,0 gramas de folhas de moringa oleífera comparada com outros alimentos.

Fonte: PEZZAROSSI, 2004.

2.3.1 CONSTITUINTES

A Moringa é um arbusto ou árvore (Figura 2.3) de pequeno porte, com crescimento rápido, que chega alcançar 12 m de altura (SILVA, *et al*, 2013). Possui uma copa aberta, em forma de sombrinha e usualmente um único tronco (SOUZA, 2009; JAHN, 1988).

Figura 2.3 –Moringa *oleífera* Lam no sítio Quixaba (Ingá-PB).

Fonte: HENRIQUES, 2012.

A árvore possui diferentes constituintes (vagens, folhas, flores e sementes) que podem ser empregados em nutrição (humana e animal), agricultura, indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia, e até mesmo como matéria-prima para produção de lubrificante e biocombustível (LILLIEHÖÖK, 2005). A Figura 2.4 mostra os constituintes da Moringa.

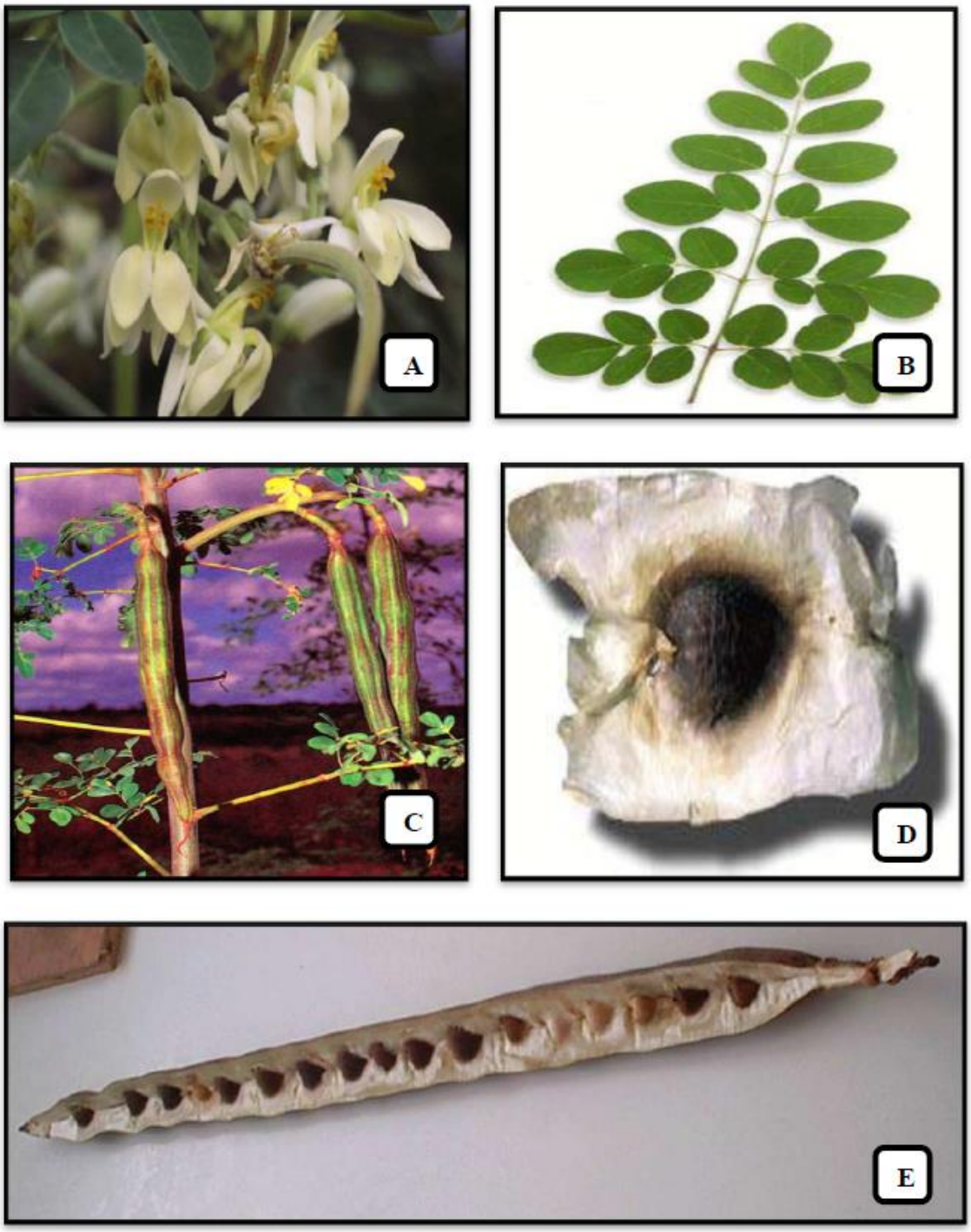


Figura 2.4 – Constituintes da moringa (A) Flores, (B) Folha, (C) Vagem, (D) Semente, (E) Vagem com as sementes expostas.

Fonte: Adaptado de LÉDO, 2008.

O fruto é uma espécie de vagem normal, com comprimento muito variável e podendo ser classificado em três grupos: vagens curtas (comprimento variando entre 15 a 25 cm); vagens médias (comprimento variando entre 25 a 40 cm) e vagens longas

(comprimento variando entre 50 a 90 cm) (RANGEL, 2008). As vagens contêm de 10 a 20 sementes armazenadas em uma polpa branca (RANGEL, 2008 apud JAHN, 1986). São inicialmente verdes claros e finos e se tornam mais largos, na medida em que vão evoluindo de verde escuro até marrom quando maturados fisiologicamente.

Suas vagens podem ser consumidas como conservas de vinagre, sementes que podem ser torradas, possuindo sabor similar ao de amendoim (GOPALAKRISHNAN *et al.*, 1980).

Na casca da árvore de Moringa é verificada a presença de látex (CÁCERES *et al*., 1991). As suas flores são bastante perfumadas, de cor branca ou bege, pintada de amarelo na base (VASCONCELOS, 2010).

As sementes globóides, são escuras por fora e contêm no seu interior uma massa branca e oleosa. As folhas são verdes pálidas e possuem valor nutritivo, como observado na Figura 2.4. O núcleo é encoberto por uma concha sendo trialadas, oleaginosas, e medindo até 1 cm de diâmetro (LORENZI e MATOS, 2002). Um ponto importante é que as sementes da Moringa podem primeiro ser usadas para a extração de óleo, sem reduzir a eficácia no tratamento da água (SANTOS *et al*., 2011)

2.3.2 APLICAÇÕES

São várias as aplicações conhecidas da moringa, como: a utilização das suas folhas na alimentação, pois são ricas em cálcio, ferro e ácido ascórbico (KATAYON *et al*, 2006), caroteno, metionina e cistina (estes dois últimos aminoácidos essenciais) (SÁNCHEZ *et al*, 2006); a utilização das raízes da árvore como produtos hortícolas (RIBEIRO, 2010); a utilização das sementes, ricas em proteínas (OKUDA *et al*, 1999) como substitutos protéicos, a sua aplicação farmacológica como anti-inflamatórios e anti-microbianos, na preparação de cosméticos, lubrificantes em equipamentos de precisão (MANI *et al*, 2007), e ainda a sua utilização como purificante de águas.

A análise da cadeia de aminoácido da semente de Moringa revela que esta contém altos teores de glutamina, arginina e prolina (KWAAMBWA, MAIKOKERA; 2008).

2.4 FILTRAÇÃO

A filtração é uma operação unitária para separação de substâncias dispersas em um meio de fluido contínuo contendo um material poroso e formando um depósito que se denomina torta ou lodo, cuja espessura vai aumentando no decurso da operação. Pode ser realizada de várias formas: com baixa carga superficial (filtros rápidos); em meios porosos (pastas argilosas, papel filtro), em meios granulares (areia, antracito, granada e combinados); com fluxos ascendentes, descendentes e mistos. O filtro pode operar tanto sob pressão quanto por ação da gravidade, conforme seja a magnitude da pressão fluidostática sobre meio filtrante.

2.4.1 TEORIA SIMPLIFICADA DA FILTRAÇÃO

O estabelecimento de uma teoria científica para a filtração exige um envolvimento matemático sobre as equações constitutivas de difícil determinação e que precisam ser consideradas com cautela, especialmente aquelas que correlacionam as propriedades da torta, também chamada de “bolo”, com a pressão nos sólidos. Para escapar a essas dificuldades procura-se combinar, no projeto e análise do desempenho da unidade industrial, os resultados de uma teoria simplificada com os dados fornecidos pelo próprio filtro piloto. Pode-se antecipar desde já que este procedimento satisfaz plenamente às necessidades do cotidiano (Massarani, 1985).

Bolo é o material que fica retido no meio filtrante, também denominado de torta ou lodo. Este material que se forma com o passar do tempo, cuja espessura cresce, afeta a taxa de filtração e vai aumentando gradualmente a resistência do filtro. Isso ocorre devido ao acúmulo de sólidos causados pela percolação do fluido durante a filtração (ROCHA, 2009)

O fluxo de líquido permeado através do meio filtrante totalmente limpo é dado pela equação de Darcy (Equação1) (COULSON e RICHARDSON, 1991). Durante a filtração sob pressão constante, o fluxo diminui devido ao aumento da resistência global do meio provocada pela deposição de sólidos e pela obstrução dos poros do meio filtrante (LIM e BAY, 2003).

$$J = -\frac{1}{A}.\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu.Rm} \tag{1}$$

Sendo: **J** o fluxo de líquido; **A** área da seção transversal do meio filtrante, **dV/dt**a taxa de filtração, **ΔP** a queda de pressão através do meio filtrante, **μ** a viscosidade absoluta do líquido e $\mathbf{R_m}$ resistência hidráulica do meio filtrante.

2.4.2 MEIO FILTRANTE

Meio filtrante é algum material que, sob as condições operacionais de um filtro, é permeável para um ou mais componentes de uma solução ou suspensão e é impermeável para outros (PURCHAS, 2002; RUSHTON, 2000). Todos os filtros necessitam de um meio filtrante para reter os sólidos.

A seleção do meio filtrante é baseada na eficiência requerida na retenção das menores partículas da suspensão e na vida útil do meio filtrante nas condições de filtração. Um meio filtrante que apresente uma malha mais fechada fornece um filtrado mais clarificado, porém obstrui com maior facilidade, enquanto que uma malha mais aberta tem comportamento oposto (REYNOL, 2005).

Alguns fatores são considerados importantes para a escolha de um meio filtrante, entre eles, a relação entre a turbidez e concentração de sólidos no filtrado, produtividade do filtro, teor de umidade residual da torta e o seu custo (SILVA, 2006). O autor ainda relata que, um bom meio filtrante deveria garantir todas as seguintes características desejáveis descritas abaixo, muitas delas inconciliáveis:

- capacidade de manter as partículas sólidas sobre os poros, a partir do início da formação da torta ou “bolo”;
- mínima propensão à colmatação (obstrução dos poros pelas partículas sólidas);
- resistência ao ataque químico;
- resistência mecânica suficiente para resistir ao efeito da pressão de filtragem;
- resistência ao desgaste;
- possibilidade de permitir uma descarga fácil e completa da torta (“bolo”);
- maleabilidade para se adaptar ao filtro no qual será usado;
- custo compatível com a economia da operação.

Perry e Green (1999) ainda ressaltam que a seleção do tipo de meio filtrante é absolutamente a decisão mais importante no sucesso da operação de filtração.

Brandão et al., (2000) utilizaram materiais de origem orgânica como, bagaço de cana de açúcar, casca de arroz, casca de café, fino de carvão vegetal, sabugo de milho e serragem de madeira, como meios filtrantes no tratamento primário da água residuária, acondicionados em tubos de PVC. O sistema de filtragem foi mantido sob escoamento permanente, com fluxo em meio saturado, e pequena ou nenhuma alteração foi detectada na concentração de N-total, Ca, Mg e Zn no efluente do filtro, enquanto que as concentrações de P-total, Na e K aumentaram no efluente obtido em filtros de casca de arroz, casca de café e sabugo de milho. Significativa redução na concentração de Cobre foi constatada para todos os materiais utilizados como filtro, atingindo-se eficiência de remoção de até 43,6%. Eficiências de remoção superiores a 90% foram obtidas para sólidos sedimentáveis enquanto a remoção de sólidos totais ficou abaixo de 33%.

A casca de nozes (black wallnut ou pecan shell), usada pela indústria de petróleo como meio filtrante, tem propriedades superficiais e resistência mecânica que a torna uma vantajosa em relação ao leito de areia, o que permite sua circulação por bombas e tubulações sem prejuízo da integridade das partículas. Devido a uma afinidade moderada entre a casca de noz e o óleo, este tipo de material oferece uma boa eficiência de remoção.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste projeto foi subdividida em três etapas: Formulação e caracterização dos materiais a serem usados como meios filtrantes, montagem do sistema de filtração e ensaios de filtração da água produzida.

Para realização dos experimentos iniciais inerentes ao tratamento da água produzida, dentre os subprodutos da moringa, foram utilizados a torta, a casca e o fruto completo (vagem com sementes).

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologias Alternativas (LTA) do Departamento de Engenharia Química (DEQ), no Laboratório de Geotecnia e Pavimentação do Departamento de Engenharia Civil (DEC), ambos da Universidade Federal de Sergipe (UFS), e no Laboratório de Energia Solar (LES) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). A Figura 3.1 apresenta o fluxograma da parte experimental deste trabalho.

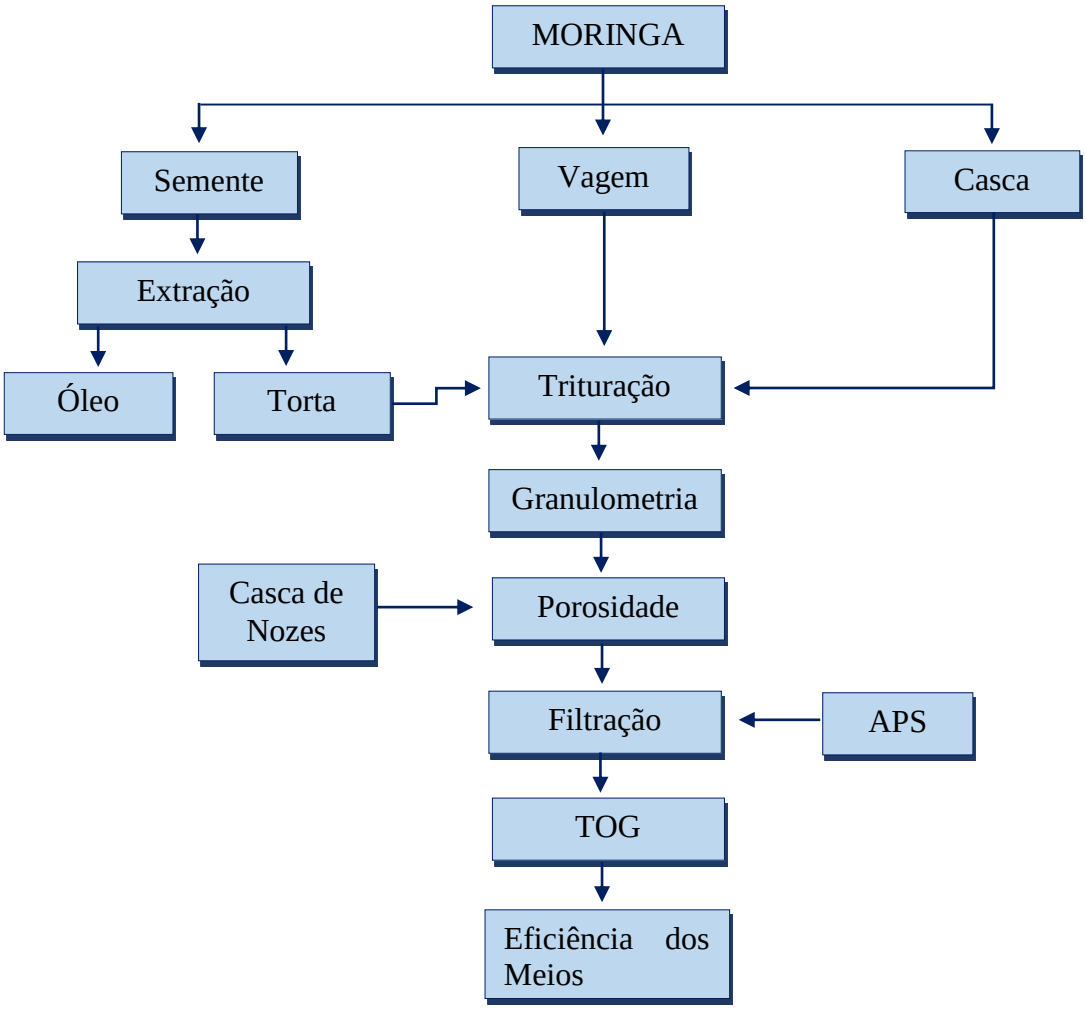


Figura 3.1 – Fluxograma Experimental

3.1 EQUIPAMENTOS

3.1.1 EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE MORINGA

A prensa mecânica, Figura 3.1, modelo 6YL160 marca Kingstar, utilizada para extração do óleo de moringa, para obtenção da torta, está localizada no Laboratório de Energia Solar da UFPB.

Figura 3.2 – Obtenção da torta de moringa por prensagem mecânica em extrusora.

3.1.2 TRITURAÇÃO DO MATERIAL

Para a trituração da vagem completa e da torta de moringa foi utilizado uma máquina forrageira marca Garthen, modelo GP1500, que se encontra no Laboratório de Tecnologias Alternativas.

A casca de moringa foi apenas triturada em liquidificador comercial.

3.1.3 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Para obtenção da granulometria desejada para uso como meio filtrante, foi utilizado um agitador de peneiras, que consiste num suporte metálico (latão, alumínio, inox, etc.) cilíndrico que serve de suporte a uma rede (geralmente metálica, mas que, em alguns casos, pode ser de outro material, designadamente plástico) de malha calibrada. Os peneiros foram concebidos para poderem ser encaixados uns nos outros de modo a formarem uma coluna de peneiração. Na parte superior deste agitador magnético (modelo viatest/ Kuhardt Germany/VSM 200), encontra-se no Laboratório de Geotecnia e Pavimentação, existe uma tampa para evitar perdas de material durante a peneiração, e na base encaixa-se um fundo "cego", denominado "pan", destinado a receber as partículas menores que atravessaram toda a coluna sem serem retidos em nenhum dos peneiros.

3.1.4 OBTENÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA

Para cisalhamento e dispersão da fase aquosa nas emulsões, utilizou-se a agitação via homogeneizador Ultra Turrax modelo T-50 Basic, marca *Ika & Werke*. Foi cedido pela Universidade Tiradentes (UNIT) e encontra-se no Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP), Aracaju/SE.

3.1.5 TEOR DE ÓLEOS E GRAXAS

A espectrofotometria de infravermelho está fundamentada na absorção de radiação por moléculas orgânicas. Para a determinação do teor de óleos e graxas da APS foi utilizado o equipamento espectrofotômetro UV/VIS (Figura 3.3), modelo Biospectro SP 220. Sendo feito, primeiramente, a curva de calibração. Esse equipamento encontra-se no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA/UFS).

Figura 3.3 – Espectrofotômetro de infravermelho.

3.2 MATÉRIA-PRIMA

As sementes da Moringa *oleífera* Lam, utilizada neste trabalho, foram coletadas de árvores existentes no município de Arara-Paraíba, por agricultores da região. A Figura 3.1 ilustra a matéria-prima utilizada.

(a)

(b)

(c)

Figura 3.4 – Matéria-prima: vagem (a), casca (b) e torta (c).

Os diâmetros de partículas escolhidos para os meios filtrantes oriundos da moringa foram os que mais se aproximavam dos diâmetros da casca de nozes, meio filtrante utilizada atualmente pela indústria de petróleo, a Petrobras, e que serviu como meio de comparação para o presente estudo.

A Tabela 3.1 mostra a granulometria utilizada para os constituintes da Moringa *oleífera*.

Tabela 3.1 – Caracterização granulométrica.

Peneira	**Mesh Tyler**	**Abertura (mm)**
01	10	1,70
02	14	1,19
03	20	0,84

A eficiência na remoção do óleo contido na água produzida a ser tratada, foi feita através da análise do fluxo de filtrado e da medição do teor de óleos e graxas (TOG), antes e depois da filtração, por via espectrofotométrica.

3.3 MONTAGEM DO SISTEMA FILTRAÇÃO

O tratamento da APS, utilizando os meios filtrantes oriundos da Moringa (torta, casca e a vagem completa) e casca de nozes foi feito na unidade piloto da Figura 3.5, composta por:

(1) um filtro de 200 mm de altura e 100 mm de diâmetro;

(2) um tanque de alimentação com capacidade para 200 L;

(3) um tanque de filtrado com capacidade de 200 L;

(4) bomba centrífuga de 1 cv;

(5, 6) dois manômetros para indicação da perda de carga;

(7, 8, 9, 10, 11, 12, 13) válvulas de controle de vazão.

Esse sistema é formado por tubos de PVC de uma polegada, uma adaptação com válvula na entrada do filtro para a coleta da APS, como mostra a Figura 3.6, e o leito filtrante composto por derivados da moringa.

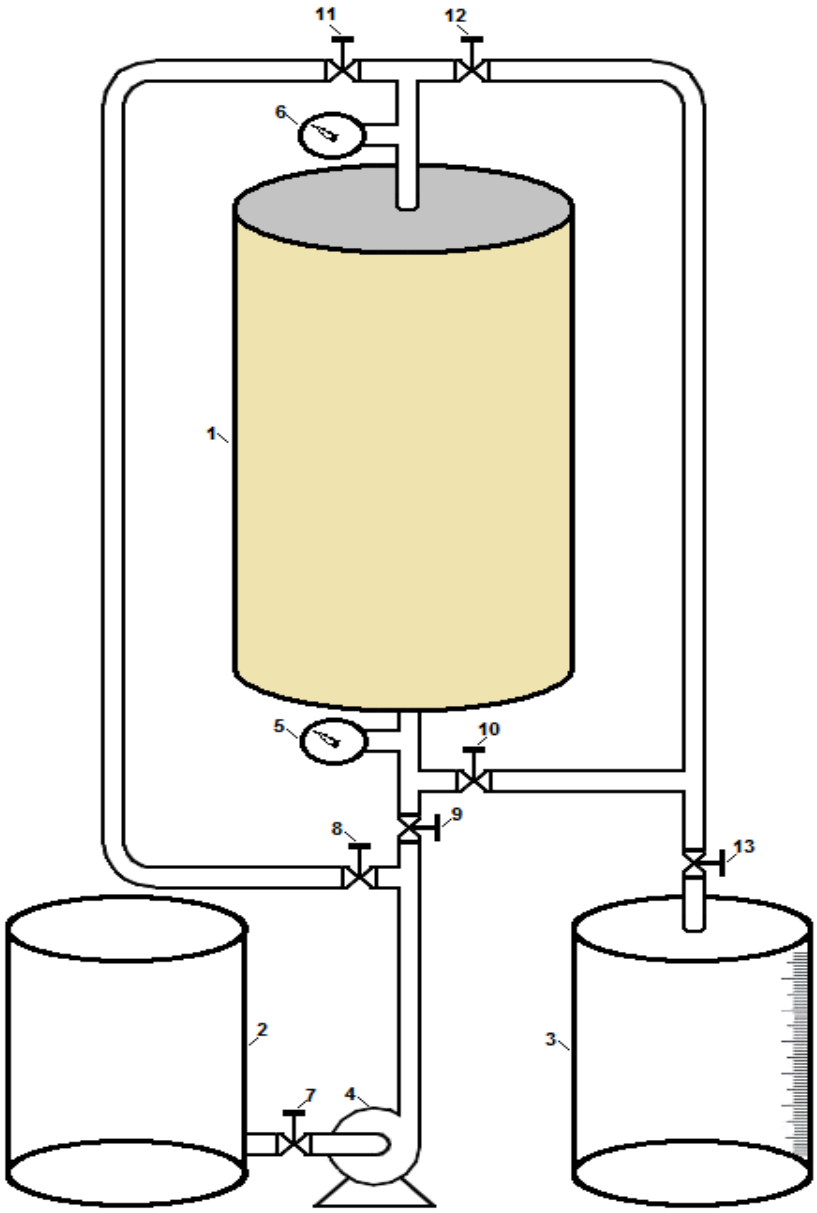


Figura 3.5 – Esquema do sistema de filtração.

A Figura 3.6 mostra o equipamento experimental real utilizado para o tratamento de água produzida sintética (APS).

Figura 3.6 – Equipamento Experimental

3.4 PREPARAÇÃO DOS MATERIAS A SEREM USADOS COMO MEIOS FILTRANTES

3.4.1 TORTA

Para a produção da torta, a semente com a casca foi submetida à extração do óleo em extrusora mecânica. A Figura 3.7 mostra o fluxograma de obtenção da torta.

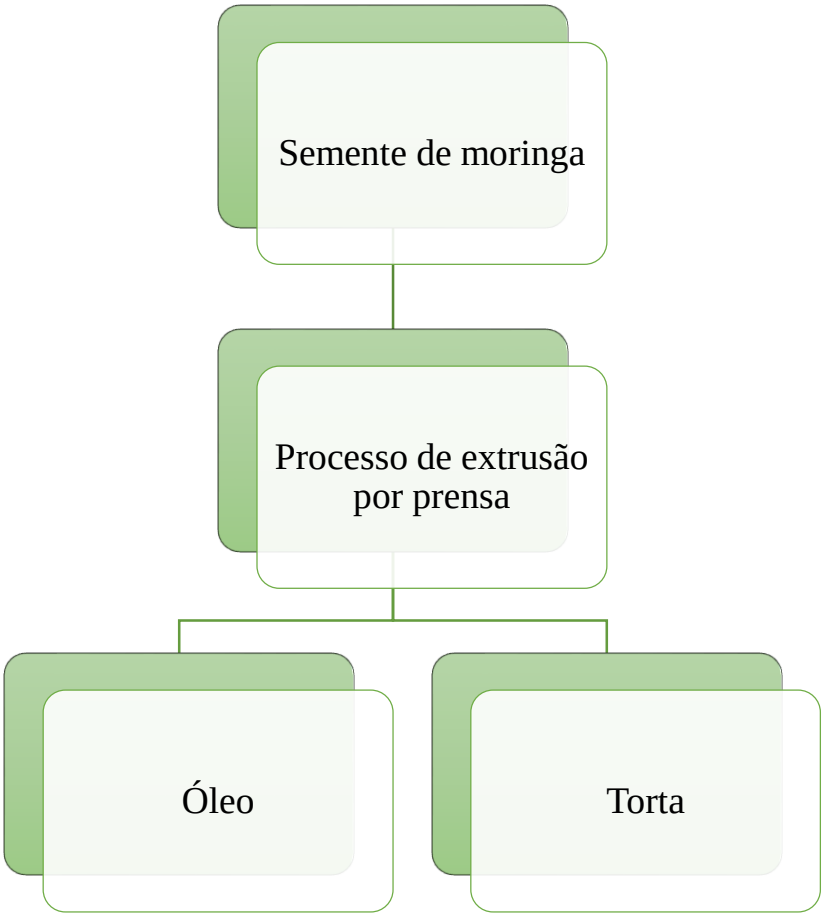


Figura 3.7 –Fluxograma de obtenção da torta de moringa.

3.4.2 DEMAIS MATERIAIS

Os demais materiais oriundos de outras partes da planta foram apenas triturados e classificados, a fim de produzir uma granulometria aproximadamente uniforme para, em seguida, serem utilizados tanto na análise de porosidade quanto nos ensaios de filtração.

3.5 ANÁLISE DE POROSIDADE

A metodologia utilizada para determinação da porosidade foi analisada pelo método da proveta, conforme Figura 3.8.

Inicialmente colocou-se a amostra em uma proveta de 100 mL, e anotou-se o volume. Logo após, colocou-se água até completar o mesmo volume, verificando-se assim o volume de vazios na bureta. A porosidade foi calculada segundo a Equação 2.

$$\varepsilon = \frac{V_V}{V_T} \qquad (2)$$

sendo:

ε - a porosidade;

V_V- o volume de vazios;

V_T- o volume total do leito.

Figura 3.8 – Ensaio da proveta

3.6 PREPARO DA ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA

No preparo da água produzida sintética (APS) utilizou-se, inicialmente, 5 L de água, 20 g de óleo (petróleo) e 5 mL de emulsificante. A emulsão foi gerada (vide Figura 3.9) utilizando o agitador tipo Turrax, na rotação de 10.000 rpm, durante 30 minutos. Enquanto que no sistema de filtração foi feita a homogeneização com água e 11kg de cloreto de sódio. Após 30 minutos do preparo da emulsão O/A, o mesmo foi adicionado no sistema para homogeneização durante 15 minutos. Por fim, foi obtido um TOG entre 305 e 425ppm de óleo em água e salinidade de aproximadamente 97.000 mg/L. Os parâmetros do óleo (petróleo) utilizado para o preparo da emulsão encontra-se no anexo A.

Figura 3.9 – Emulsão O/A obtida com turrax.

A emulsão O/A preparada por outros grupos de estudos do Laboratório de Tecnologias Alternativas (LTA/UFS), para cada litro de água foram adicionados 35 g de cloreto de sódio e cerca de 100 gotas de óleo, obtendo-se um TOG em torno de 650 ppm de óleo em água Santana *et al.* (2010).

Pereira (2011) no preparo da APS utilizou 50 gotas de óleo e 35g de cloreto de sódio, para cada litro de água, onde a emulsão foi gerada com um liquidificador industrial, tendo obtido teores de óleos e graxas entre 150 e 500 ppm de óleo em água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 OBTENÇÃO DA GRANULOMETRIA DESEJADA

Os resultados dos ensaios granulométricos encontram-se na Tabela 3.1.

Para fins ilustrativos, as Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram os aspectos e texturas das três frações obtidas. O aspecto da Figura 4.1, é mais esférico, enquanto o da Figura 4.2, é mais alongado, com aspecto de bastonetes. A Figura 4.3, tem comportamento lamelar.

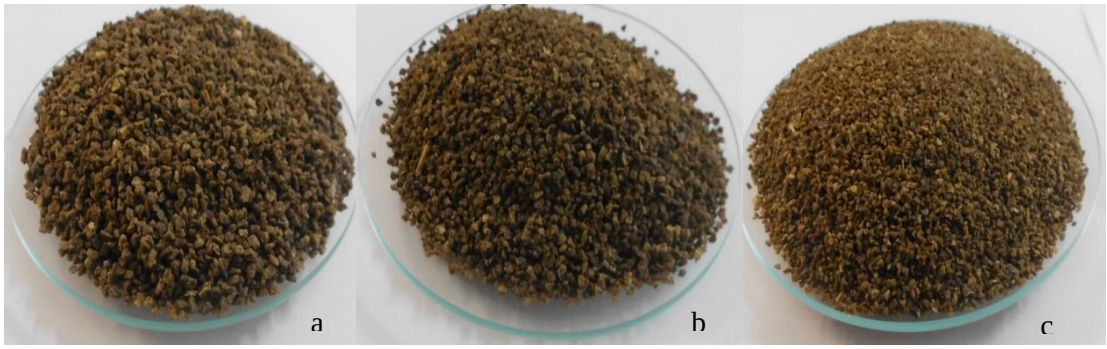


Figura 4.1–Meio filtrante torta da moringa, diâmetros: 1,70mm (a), 1,19mm (b) e 0,84mm (c).

Figura 4.2–Meio filtrante vagem da moringa, diâmetros: 1,70mm (a), 1,19mm (b) e 0,84mm (c).

Figura 4.3–Meio filtrante casca da moringa, diâmetros: 1,70mm (a), 1,19mm (b) e 0,84mm (c).

4.2 POROSIDADE DO MEIO FILTRANTE

A porosidade é definida como a razão entre o volume de vazios e o volume total do leito. Sua determinação é importante, pois interfere na absorção, massa específica, resistência mecânica e resistência à abrasão dos particulados (COULSON e RICHARDSON, 1991).

Os valores obtidos para a porosidade estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Porosidade dos meios filtrantes.

Meios Filtrantes	Volume de sólidos (mL)	Volume total (mL)	Porosidade
Vagem de moringa	30	54,05	0,44
Casca de Moringa	30	55,90	0,46
Torta de moringa	30	45,00	0,33
Casca de nozes	30	42.15	0,29

Os meios filtrantes vagem e casca de moringa, apresentados na Tabela 4.1, mostraram valores similares e maiores do que a casca de nozes. O meio filtrante torta de moringa foi o que obteve uma porosidade mais próxima da casca de nozes.

Conforme já mencionado o filtro à base de derivados da moringa foi comparado com o filtro de casca de nozes usado pela Petrobras na Estação de Bonsucesso, Carmópolis, Sergipe. Nesse contexto, a fração que apresenta maior semelhança com a

casca de nozes é a torta (13,8% de diferença quanto à porosidade). A casca e o fruto exibem uma diferença de porosidade da ordem de 50% em relação às cascas de nozes. Essa porosidade se refere, predominantemente, ao espaço intersticial, não contemplando, portanto, a porosidade interna das partículas.

4.3 ENSAIOS DE FILTRAÇÃO COM ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA

Foram realizados testes de filtração utilizando água produzida sintética (APS). A torta de moringa utilizada não se mostrou viável para uso como meio filtrante, pois a mesma não separou o óleo da água. Provavelmente, isso pode ter ocorrido porque a torta possui compostos oleaginosos em sua estrutura, inibindo a adsorção de óleo da água produzida, uma vez que a força motriz para a separação é reduzida em relação às partes não oleaginosas.

Os meios filtrantes da Moringa foram codificados da seguinte maneira: MF1 representa o meio filtrante vagem da Moringa e MF2 representa o meio filtrante casca de Moringa. G1, G2 e G3 representam os seguintes valores de granulometria: 1,70 mm, 0,84 mm e 1,19 mm, respectivamente.

O primeiro meio filtrante da Moringa usado foi a vagem completa com 1,70mm de diâmetro (MF1-G1), escolhido aleatoriamente. O leito foi colocado no filtro sem compactação do mesmo. A coleta da APS foi feita na entrada do filtro, pois no seu preparo é difícil manter a concentração obtida inicialmente, e após passar pelo filtro para determinação do TOG na saída. A coleta foi feita em triplicata visando garantir a qualidade dos resultados. O mesmo procedimento foi feito para o meio filtrante com diâmetros de 0,840 mm (MF1-G2) e 1,19 mm (MF1-G3). Após o uso do primeiro meio filtrante, com a primeira granulometria, o tanque de alimentação e o filtro do sistema de filtração eram lavados e secos para, então, receberem a segunda amostra. Esse procedimento de limpeza da unidade piloto foi feito para cada leito filtrante usado.

O próximo meio filtrante utilizado para o ensaio de filtração foi a casca da Moringa, seguindo o mesmo procedimento que o primeiro leito.

Por fim, foi feito o tratamento da APS com o meio filtrante “casca de nozes”, cedido gentilmente pela Petrobras, porém com apenas a granulometria de 1,19 mm, para fins de comparação com o leito derivados da Moringa. A Figura 4.4 ilustra o leito casca de nozes, utilizado no ensaio de filtração.

Figura 4.4 – Meio filtrante casca de nozes

4.3.1 REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS

A análise do teor de óleos e graxas foi feita extraindo-se o óleo da APS com solvente clorofórmio HPLC e os resultados podem ser conferidos nas Tabelas 4.2, 4.3 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 para os meios filtrantes: vagem completa, casca e torta de Moringa. A curva de calibração do TOG pode ser conferida no anexo B.

Tabela 4.2– Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF1-G1.

Coletas	Absorbância (A)	Concentração (ppm)	TOG (ppm)	Média	Remoção (%)
E1	0,301	108	108	111,0	5,1
E2	0,310	111	111		
E3	0,300	107	114		
S1	0,285	102	104	105,3	
S2	0,299	107	107		
S3	0,298	107	105		

E – entrada da APS
S – saída da APS

De acordo com a Tabela 4.2, observa-se uma pequena variação no TOG de entrada comparado com o de saída. O maior valor de teor de óleos e graxas na entrada do filtro foi de 114 ppm (E3) e o menor TOG de saída foi de 104 ppm (S1). Foi obtida uma remoção de óleo em água de apenas 5,1%, resultado pouco satisfatório.

A Tabela 4.3 mostra os resultados da extração para o mesmo meio filtrante, porém, com granulometria diferente (0,84 mm).

Tabela 4.3– Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF1-G2.

Coletas	**Absorbância (A)**	**Concentração (ppm)**	**TOG (ppm)**	**Média (TOG)**	**Remoção (%)**
E1	0,285	102	104	110,3	31,1
E2	0,308	110	112		
E3	0,335	119	115		
S1	0,202	74	74	76,0	
S2	0,211	77	74		
S3	0,224	80	80		

A Tabela 4.3 indicou uma variação na média do teor de óleos e graxas na alimentação do filtro e na saída mais significativo, tendo-se obtido para o E3 um valor de 115 ppm e 74 ppm tanto para S1 e S2. A separação óleo/água, neste caso, foi de 31,1% evidenciando uma melhor remoção quando comparado com o leito MF1-G1.

Entretanto, a Tabela 4.4 apresenta uma maior remoção do óleo (38,1%), quando comparado com as granulometrias dos meios filtrantes de moringa anteriores.

Tabela 4.4 – Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF1-G3.

Coletas	Absorbância (A)	Concentração (ppm)	TOG (ppm)	Média (TOG)	Remoção (%)
E2	0,270	97	97	97,5	38,1
E3	0,272	98	98		
S1	0,142	53	51	60,3	
S2	0,174	64	65		
S3	0,186	68	65		

Comparando os mesmos meios filtrantes com diferença apenas nos diâmetros das partículas das Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 verificou-se que o diâmetro de 1,19 mm proporcionou maior eficiência na separação óleo/água.

As Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7, são os meios filtrantes casca de moringa, e suas respectivas granulometrias: 1,70 mm, 0,84 mm e 1,19 mm (G1, G2 e G3).

Tabela 4.5– Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF2-G1.

Coletas	Absorbância (A)	Concentração (ppm)	TOG (ppm)	Média (TOG)	Remoção (%)
E1	0,587	206	129	132,7	39,4
E2	0,673	236	142		
E3	0,659	231	127		
S1	0,363	129	76	80,3	
S2	0,398	141	83		
S3	0,402	143	82		

De acordo com a Tabela 4.5 a média do teor de óleos e graxas na alimentação do filtro foi de 132,7 ppm quanto que na saída foi de 80,3 ppm. A separação óleo/água foi de 39,4% de remoção do óleo.

A eficiência de remoção do óleo do leito MF2-G2 foi de 44,8%, evidenciado na Tabela 4.6 onde o mesmo obteve um TOG de entrada de 131 ppm e de saída de 72,3 ppm.

Tabela 4.6 – Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF2-G2.

Coletas	Absorbância (A)	Concentração (ppm)	TOG (ppm)	Média (TOG)	Remoção (%)
E1	0,638	224	137	131,0	44,8
E2	0,627	220	128		
E3	0,626	220	128		
S1	0,197	72	70	72,3	
S2	0,200	73	73		
S3	0,202	74	74		

Na Tabela 4.7 observou-se um TOG de entrada de 134,7 ppm e 52,3 ppm de TOG na saída. A eficiência na separação óleo/água desse leito foi 61,2%.

Tabela 4.7 – Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito MF2-G3

Coletas	Absorbância (A)	Concentração (ppm)	TOG (ppm)	Média (TOG)	Remoção (%)
E1	0,381	135	130	134,7	61,2
E2	0,379	135	132		
E3	0,401	142	142		
S1	0,153	57	53	52,3	
S2	0,150	56	51		
S3	0,158	58	53		

A título de comparação, também foi feito um ensaio com água produzida sintética utilizando o meio filtrante casca de nozes, cujo resultado encontra-se na Tabela 4.8. A concentração da APS na entrada do filtro foi de 94,7% enquanto a de saída foi de 38,3%, resultando em uma eficiência de remoção O/A de 59,6%.

Tabela 4.8 – Resultados do teor de óleo e graxas para eficiência do leito casca de nozes.

Coletas	Absorbância (A)	Concentração (ppm)	TOG (ppm)	Média (TOG)	Remoção (%)
E1	0,504	178	94		
E2	0,495	175	96	94,7	
E3	0,488	172	94		
S1	0,192	70	39		59,6
S2	0,192	70	37	38,3	
S3	0,194	71	39		

4.3.2 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO E DO FLUXO

A vazão (Q) foi determinada pela técnica da proveta e cronômetro, medindo-se o volume escoado (DV) num certo tempo de operação (Dt).

Um parâmetro importante no estudo da filtração é o fluxo, pois relaciona a taxa de filtração com a área da seção transversal (78,5 cm²).

4.3.2.1 Vazão e Fluxo de Filtrado para Vagem de Moringa como Meio Filtrante

A Tabela 4.9, 4.10 e 4.11, apresentam os valores obtidos da vazão e fluxo de filtrado do meio filtrante vagem da Moringa.

Tabela 4.9 – Vazão de saída com leito MF1-G1.

Leitura	t (s)	V (cm^3)	Q_s (cm^3/s)	Média Q_s (cm^3/s)	Fluxo J (cm^3/cm^2* s)
1	4,011	700	174,5 ± 0,014		
2	2,041	340	166,6 ± 0,014		
3	4,083	770	188,6 ± 0,014	168,4	2,15
4	5,043	800	158,6 ± 0,014		
5	5,005	770	153,8 ± 0,014		

A Tabela 4.9 mostra a vazão de saída do fluido, utilizando o leito MF1-G1, foi 168,4 cm^3/s. Enquanto que o fluxo foi de 2,15 $cm^3/cm^2.s$.

Na Tabela 4.10 a vazão do leito MF1-G2 foi menor (79,6 cm^3/s) do que a do leito MF1-G1, logo o fluxo esperado também foi menor (1,01 $cm^3/cm^2.s$).

Tabela 4.10 – Vazão de saída com leito MF1-G2.

Leitura	**t (s)**	**V (cm^3)**	**Q_s (cm^3/s)**	**MédiaQ_s (cm^3/s)**	**Fluxo J (cm^3/cm^2* s)**
1	6,070	510	84,0 ± 0,009		
2	7,025	540	76,9 ± 0,009		
3	7,087	550	77,6 ± 0,009	79,6	1,01
4	7,040	650	92,3 ± 0,009		
5	6,090	410	67,3 ± 0,009		

Para o mesmo meio filtrante, porém com diâmetro de partícula de 1,19 mm, a média da vazão de saída desse leito foi de 150,5 cm^3/s e o fluxo de filtrado de 1,92 $cm^3/cm^2.s$. De acordo com a Tabela 4.7 o valor desse fluxo, foi o que mais se aproximou do leito MF1-G1.

Tabela 4.11 – Vazão de saída com leito MF1-G3.

Leitura	**t (s)**	**V (L)**	**Q_s (L/s)**	**Média da vazão (L/s)**	**Fluxo J (cm^3/cm^2* s)**
1	5,061	780	154,1 ± 0,006		
2	5,051	710	140,6 ± 0,006		
3	5,056	750	148,3 ± 0,006	150,5	1,92
4	5,055	780	154,3 ± 0,006		
5	5,098	790	155,0 ± 0,006		

Analisando o fluxo de filtrado das três amostras, o leito de menor granulometria (0,84 mm) apresentou um fluxo muito baixo o que explicou a menor vazão entre os esses meios filtrantes estudados.

4.3.2.2 Vazão e Fluxo de Filtrado para Casca de Moringa como Meio Filtrante

As Tabelas 4.12, 4.13 e 4.14 ilustram os valores da vazão de saída e do fluxo de filtrado para os meios filtrantes casca de Moringa.

A vazão de saída com o leito MF2-G1 foi de 229,1 cm^3/s e o fluxo de filtrado de 2,92 $cm^3/cm^2.s$, como mostra a Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Vazão de saída com leito MF2-G1.

Leitura	**t (s)**	**V (cm^3)**	**Q_s (cm^3/s)**	**Média Q_s (cm^3/s)**	**Fluxo J (cm^3/cm^2* s)**
1	2,029	430	211,9 ± 0,017		
2	3,071	750	244,2 ± 0,017		
3	3,062	750	244,9 ± 0,017	229,1	2,92
4	4,015	840	209,2 ± 0,017		
5	3,057	720	235,5 ± 0,017		

De acordo com a Tabela 4.13, o meio filtrante casca de Moringa, com tamanho médio de partícula de 0,84 mm, produziu uma vazão de 103, 9 cm^3/s e 1,32 $cm^3/cm^2.s$ de fluxo.

Tabela 4.13 – Vazão de saída com leito MF2-G2.

Leitura	t (s)	V (cm^3)	Q_s (cm^3/s)	Média Q_s (cm^3/s)	Fluxo J (cm^3/cm^2* s)
1	3,039	360	118,5 ± 0,017		
2	5,010	620	123,8 ± 0,017		
3	5,097	500	98,1 ± 0,017	103,9	1,32
4	8,001	770	96,2 ± 0,017		
5	5,063	420	83,0 ± 0,017		

Na Tabela 4.14 observou-se que o fluxo de filtrado do leito MF2-G3 foi de 2,50 $cm^3/cm^2.s$ e sua vazão de saída de 196,0 cm^3/s.

Comparando os meios filtrantes casca de moringa em seus diferentes diâmetros de partículas, o que obteve maior vazão de saída foi o de granulometria G1 (1,70 mm de diâmetro médio de partícula) e, consequentemente, maior fluxo de filtração.

Tabela 4.14 – Vazão de saída com leito MF2-G3.

Leitura	t (s)	V (cm^3)	Q_s (cm^3/s)	Média Q_s (cm^3/s)	Fluxo J (cm^3/cm^2* s)
1	3,016	590	195,6 ± 0,037		
2	2,061	530	257,2 ± 0,037		
3	4,016	670	166,8 ± 0,037	196,0	2,50
4	4,054	670	165,3 ± 0,037		
5	3,078	600	194,9 ± 0,037		

4.3.2.3 Vazão e Fluxo de Filtrado para Casca de Nozes como Meio Filtrante

Também foram realizados os cálculos para o meio filtrante casca de nozes, onde o mesmo produziu uma vazão média de saída de 168,4 cm^3/s e 2,15 $cm^3/cm^2.s$ de fluxo médio.

Tabela 4.15 – Vazão de saída com leito casca de nozes.

Leitura	**t (s)**	**V (cm^3)**	**Q_s (cm^3/s)**	**Média Q_s (cm^3/s)**	**Fluxo J (cm^3/cm^2* s)**
1	2,025	700	174,5 ± 0,088		
2	2,055	340	166,6 ± 0,088		
3	1,086	770	188,6 ± 0,088	168,4	2,15
4	2,022	800	158,6 ± 0,088		
5	1,067	770	153,8 ± 0,088		

A vazão de alimentação (Q_a) foi igual para todos os meios filtrantes usados e pode ser observada no Anexo C.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou a possibilidade de usar a *Moringa oleifera* Lam como meio filtrante no tratamento de água produzida. A partir dos resultados obtidos, os constituintes da Moringa *oleífera* Lam, como a vagem completa e a casca mostraram alguns resultados favoráveis para sua utilização como meio filtrante no tratamento de água produzida.

Na determinação do teor de óleos e graxas verificou-se que o leito que obteve uma maior eficiência na remoção do óleo, 61,2%, foi a casca de moringa com granulometria de 1,19 mm.

Com relação ao processo de filtração em unidade piloto, o melhor fluxo (2,92 $cm^3/cm^2.s$) foi observado com o meio filtrante casca moringa cujo diâmetro de partícula foi de 1,70 mm.

Contudo, foi na casca de moringa, com diâmetro de 1,19 mm, que se obteve uma melhor eficiência de remoção do TOG, indicando que se esse meio filtrante sofrer o mesmo processo de otimização utilizado na casca de nozes, provavelmente, sua eficiência poderá ser bem maior, podendo ser considerado um meio filtrante de baixo custo para remoção de óleos e graxas em água.

6 SUGESTÕES

Como sugestão para trabalhos posteriores, deve-se aprofundar o estudo referente ao uso dos constituintes da Moringa *oleífera* Lam, a fim de verificar em quais situações obtém-se uma melhor eficiência de separação óleo/água.

Analisar os meios filtrantes sobre sua estabilidade, já que os mesmos são utilizados in natura, realizando o mesmo processo sofrido pela casca de nozes.

O estudo de diferentes granulometrias para os meios filtrantes de moringa seria incrementado, otimizando-se a granulometria para retenção de óleos e graxas no processo de separação óleo/água.

Seria interessante fazer um estudo sobre as condições operacionais do sistema de filtração em unidade piloto, otimizando o processo como, por exemplo, variando as dimensões do filtro.

Fazer um estudo sobre a regeneração dos meios filtrantes derivados da Moringa para uso cíclico usando água, tratando, porém, se isto não for possível, indicar uma melhor alternativa de gestão para os resíduos sólidos oriundos do meio filtrante exausto, possivelmente para aproveitamento energético, podendo este ser aplicado em indústrias cerâmicas ou na geração de energia elétrica.

Um estudo sobre a viabilidade econômica do uso da Moringa *oleífera* Lam para o tratamento de água produzida também poderia ser realizado.

REFERÊNCIAS

ADAMSON, A.W. **Physical Chemistry of Surfaces**. 3° edição, John Wiley& Sons, New York, 1976.

AHMADUN, F.; 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**170, 530-551, 2009.

ANDRADE, G. L. S.; ANDRADE, A. D. S.; SANT'ANNA, M. C. S.; LEITE, N. S.; SILVA, G. F. Prospecção tecnologica de hidrociclone e água produzida atráves da analise de pedidos de patentes. **Cadernos de Prospecção**. ISSN 1983-1358, 2013.

BARNES, G. T.; GENTLE, I. R. **Interfacial Science: An Introduction.** Oxford: Oxford University Press, 247 p, 2005.

BESSA, E.; SANT'ANNA Jr.; G. L. ; DEZOTTI, M.; **Photocatalytic/H2O2 treatment of oil field produced water;**Applied Catalysis B: environmental, 29, 215-134, 2001.

BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera*Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, p.295-299, 2004.

BRANDÃO, V. S.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; FONTES, M. P. P.Tratamento de Águas Residuárias da Suinocultura Utilizando-se Filtros Orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, pág.327-333, Campina Grande, PB, 2000.

CÁCERES, A.; CABRERA, O.; MORALES, O.; MOLLINEDO, P.; MENDIA, P. PharmacologicalpropertiesofMoringa oleifera. 1: Preliminaryscreening for antimicrobialactivity. **JournalofEthnopharmacology**, v. 33, 1991.

CAMPOS, W.K.S., BUARQUE, F. S., MACÊDO JÚNIOR, R. O., SILVA, D. P., RUZENE, D. S. Estudo sobre as principais tecnologias para tratamento da água produzida. **Revista Cadernos de Graduação** - Ciências Exatas e Tecnológicas. Sergipev. 1, n.15, p. 141-152, out. 2012.

CONAMA 357, **RESOLUÇÃO CONAMA** (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Nº 357, de 17 de março de 2005.

CONAMA 393, **RESOLUÇÃO CONAMA** (Conselho Nacional de Meio Ambiente) N° 393, de 08 de agosto de 2007.

CONAMA 430, **RESOLUÇÃO CONAMA** (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Nº 430 de 13 de maio de 2011.

CORRÊA, O. L. S. Petróleo: Noções sobre exploração, perfuração, produção e microbiologia. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2003.

COULSON, J. M.; RICHARDSON, J. F. **Chemical engineering: Particle technology and separation processes**. 4ed. v.2. Pergamon Press, 1991.

CYSNE, J. R. B. **Propagação in vitro de Moringa oleifera L.** Fortaleza, CE. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, 2006.

EKINS, P.; VANNER, R.; FIREBRACE, J.; Zero Eemissions of oil in Water from Offshore Oil and Gas Installations: Economic and Environmental Implications. **Journal of Cleaner Production**. v. 15, pág. 1302-1315, 2007.

FARAH, M. A.; OLIVEIRA, R. C.; CALDAS, J. N.; RAJAGOPAL, K. ViscosityofWaterin- OilEmulsions: VariationwithTemperatureandWater Volume Fraction, **J. Petr. Sci. Eng**., pág. 169-184, 2005.

FOIDL N.; MAKKAR H.P.S.; BECKER K. **The potential of Moringa oleifera for agricultural and industrial uses. In: "The Miracle Tree/ The Multiple Attributes of Moringa"** (Ed. Lowell J Fuglie). CTA. USA. 2001.

FONTES, G. A., FONTES, K. A. A indústria do petróleo no Brasil: aspectos históricos e jurídicos acerca da flexibilização do seu monopólio. **Revista Juris Rationis**. Universidade Potiguar. Ano 6, n. 2 - abr. /set. 2013.

GAROFALO, A.; DONATO, L.; DRIOLI, E.; CRISCUOLI, A.; CARNEVALE, M. C.; ALHARBI, O.; ALJLIL, S. A.; ALGIERI, C. Supported MFI zeolite membranes by cross flow filtration for water treatment. **Separation and Purification Technology**. p. 28–35, 2014.

GOPALAKRISHNAN, P.K. et. al. Drumstick (Moringa oleifera) A Multipurpose Indian Vegetable, **Economy Botany**, 34, p. 276 – 283, 1980.

GOULAS, A.; GRANDISON, A. S. Applications of membrane separation. In: BRITZ, T. J.; ROBINSON, R. K. (Ed.). **Advanced dairy science and technology.** p. 35-74, Oxford: Blackwell, 2008.

HABERT, A.C; BORGES, C.P; NOBREGA, R. **Processo de separação com membranas**. Série Escola Piloto em Engenharia Química - COPPE/UFRJ. Ed. *e-papers*.180 p. Rio de Janeiro, 2006.

HAYDER, G.; RAMLI, M. Z.; MALEK, M. A.; KHAMIS, A.; HILMIN, N. M. Prediction model development for petroleum refinery wastewater treatment. **Journal of Water Process Engineering,** 4 (1-5), 2014.

HENRIQUES, J. A.**Potencial do uso da *Moringa oleifera* Lamarck na clarificação de água para abastecimento em comunidades difusas da mesorregião agreste paraibana.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentada a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Campina Grande, PB, 2012.

HUNT, J. M. Petroleum geochemistry and geology. Ed. W.H. Freeman and Company. 2nd. ed, New York, 743p, 1995.

JAHN, S. A. A.; **Proper use of African natural coagulants for rural water supplies – Research in the Sudan and a guide for new projects**.Rossdorf: -Verlagsgesellschaft, 1986.

JAHN, S. A. A.;UsingMoringa Seeds as Coagulants in Developing Countries. **Journal Awwa (Management Operations*)***: p.43-50, 1988.

KATAYON, S.;NOOR, M.;ASMA, M.; Effects of storage conditions of Moringaoleiferaseeds on its performance in coagulation. **Biorsource Technology**, v. 97, p.1455-1460, 2006.

KELLY, P. M. Milk protein products: membrane-based fractionation. In: FUQUAY, J. W.; FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. (Ed.). **Encyclopedia of dairy sciences**. 2nd ed. v.3, p. 864-872. London: Elsevier, 2011.

KOKAL, S. Crude-Oil Emulsions: a State-of-the-Art Review. **Productions and Facilities**, pág. 5-13, 2005.

KWAAMBWA, H.; MAIKOKERA, R.; Infrared and circular dichroism spectroscopic characterisation of secondary structure components of a water tratmentcoagulnt protein extracted from Moringaoleiferaseeds. ColloidsandSurfaces B: **Biointerfaces**, v.64, p.118-125, 2008.

LÉDO, P. C. S; **Flotação por Ar Dissolvido na Clarificação de Águas com Baixa Turbidez Utilizando Sulfato de Alumínio e Sementes de Moringa olifera como Coagulantes.**Tese apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

LILLIEHÖÖK, H. **Use of Sand Filtration of River Water Flocculated with Moringaoleirefa.**Master's Thesis. 27 p. Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Sanitary Engineering, Luleå University of Technology, Luleå, 2005.

LIM, A. L.; BAI, R. Membrane fouling and cleaning in microfiltration of activated sludge wastewater. **JournalofMembrane Science.** v. 216, p. 279–290, 2003.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. Plantas Medicinais no Brasil: Nativas e Exótica. Nova Odessa: **InstitutoPlantarum**, pág. 347, 2002.

MANI, S.;JAYA, S.;VADIVAMBAL, R.;Optimization of solvent extraction of Moringa(Moringaoleifera) seed kernel oil using response surface methodology. **ICHEME**, v. 85,p. 328-335, 2007.

MASSARANI, G., **Filtração, Número Especial da RBE**, Rio de Janeiro, pág. 96, 1985.

MONDAL, S.; WICKRAMASINGHE, S. R. Produced water treatment by nanofiltration and reverse osmosis membranes.**Journal of Membrane Science.** v. 332. P. 162-170, 2008.

MORENO, R. M. M.; OLIVEIRA, R. C.; BARROS, S. T. D. Comparison between microfiltration and addition of coagulating agents in the clarification of sugar cane juice. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 34, n. 4, p. 413-419, Oct.-Dec., 2012.

NASCIMENTO, G. L.; SOUTO, J. S.; MARQUES, L. F.; BORGES, C. H. A.; SOARES, O. Y. A.; BRITO, I. C. A.; Biometria de Frutos e Sementes de Moringa no Semiárido da Paraíba. **Potencialidades da Moringa, *oleifera Lam***.Editora UFS, v.2, p.17-25, 2012.

NDABIGENGESERE A.; NARASIAH, S. K.; Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with *Moringa oleifera* seeds. **Environmental Technology**, v.17, p.1103-1112, 1996.

OKUDA, T.;BAES, A.;NISHIJIMA, W.; Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringaoleiferaseed. **WaterResearch**, v.33, n.15, p. 3373-3378, 1999.

OLIVEIRA, I. C.; TEIXEIRA, E. M. B.; GONÇALVES, C. A. A.; PEREIRA, L. A.. **Avaliação Centesimal da Semente de Moringa OleiferaLam**. II Seminário Iniciação Científica – IFTM, Campus Uberaba, MG, 2009.

PEREIRA, D. F.; ARAUJO, N. A.; SILVA, G. F.; CAVALCANTI, E. B.; **Estudo de um filtro de bancada para remoção de óleos e graxas em água.** EncontroNacional de Moringa. Aracaju, SE, 2009.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W. Perry's Chemical Engineers' Handboo*k*.New York: McGraw-Hill, 1999.

PEZZAROSSI, K. B. S.; **Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptoressensoriales de lostallos, hojas y flores de Moringa oleiferaLamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala**. Trabalho de Conclusão de Curso, p.75, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala, 2004.

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, Lei nº 9433 de 08/01/97. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm. Acesso em 10/07/2014.

PONTES, J. P. S. D. **Tratamento eletroquímico de água produzida sintética para remoção de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Quimica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Brasil, 2010.

PURCHAS, D.B.; SUTHERLAND, K. **Handbook of Filter Media.** – 2nd ed.– Kidlington, Oxford, UK: Elsevier Science Ltd, 2002.

RANGEL, M.S. Moringa oleifera: **Um purificador natural de água e um complemento alimentar para o nordeste do Brasil.** 2008.

REVISTA MEIO FILTRANTE
http://www.meiofiltrante.com.br/materias. Ano X - Edição nº53, novembro/dezembro de 2011. Acessado em 03 de novembro de 2014.

REYNOL Jr. A. S. **A importância do Meio Filtrante.** Revista Meio Filtrante. Ano IV. Edição nº 17. Novembro/Dezembro. 2005.

RIBEIRO, A. T. A.; **Aplicação da Moringa *oleífera* no tratamento de água para consumo humano: Remoção de poluentes por coagulação floculação.** Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia Universidade do Porto (FEUP), Lisboa, 2010.

ROCHA, J. H. B.; GOMES, M. M. S.; FERNANDES, N. S.; SILVA, D. R.; MARTINEZ HUITLE, C. A. Application of electrochemical oxidation as alternative treatment of produced water generated by Brazilian petrochemical industry. **FuelProcessing Technology**. v. 96, p. 80-87, 2012.

ROCHA, I. C. C. **Filtração em campo ultrassônico.**Dissertação apresentada a UniversidadeFederal de Sergipe (UFS), São Cristovão, 2009.

RUSHTON, A., WARD, A.S., HOLDICH, R.G., **Solid-Liquid Filtration and Separation Technology.** Second, Completely Revised Edition.–Weinheim, Germany:Wiley-VCHVerlag GmbH, 2000.

SÁNCHEZ, N.; SPORNDLY, E.; LEDIN, I.; Effect of feeding different levels of foliage of Moringaoleiferato creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. **Livestock Science**, v. 10, p. 24-31, 2006.

SANTANA, C. R. **Tratamento de água produzida através do processo de flotação utilizando a *moringa oleifera*lam como coagulante natural.** Dissertação apresentada a Universidade Federal da Sergipe (UFS). São Cristovão, SE, 2009.

SANTOS, W. R.; MATOS, D. B.; OLIVEIRA, B. M.; SANTANA, T. M.; SANTANA, M. M.; SILVA, G. F. Estudo do tratamento e clarificação de água com torta de sementes de Moringa oleiferaLam. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.3, p.295-299,2011.

SERAFINI, M. R.; SILVA, G. F. Moringa oleiferaLam: Informação tecnológica na área de concentração de ciências da saúde. **Potencialidades da Moringa *oleífera* Lam**. Editora UFS, v.3, p.73-84, 2013.

SHAW, D. J. Introduction to Colloid and Surface Chemistry. **Elsevier**, 1992.

SHPINER, R., LIU, G., STUCKEY, D. C. Treatment of oilfield produced water by waste stabilization ponds: Biodegration of petroleum-derived materials. **Bioresource Technology,** v 100, 6229-6235, 2009.

SILVA, S. R.; TONHOLO J.; ZANTA, C. L. P. S. **Aplicacão de processos oxidativos avançados no Tratamento de água produzida de petroleo.** 3° Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador – BA, 2 a 5 de outubro de 2005.

SILVA, A. M.; **Caracterização do processo de degradação de uma fibra de poliamida utilizada como meio filtrante na indústria mineral.** Dissertação apresentada Rede Temática em Engenharia de Materiais (REDEMAT). Ouro Preto, MG, 2006.

SILVA, R. **Estudo da aplicação do peihidrofobicamente modificado como agente de estabilização de emulsões do tipo óleo em água.** Monografia apresentada ao curso de Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2008.

SILVA, T. C. S.; NUNES, T.P.; COSTA, D. C.; LIMA, L. A. L. C.; SILVA, G. F.; JUNIOR, A. M. O..Utilização de Sementes de *Moringa Oleifera*Lam como alternativa para produção de Biodiesel. **Revista Geintec: Gestão, Inovação e Tecnologias**, v.3, n.2, p.012-025, 2013.

SOUZA, A. A.; ALLES, A. J.; RODRIGUES, S. A.; XAVIER-FILHO, L. **Avaliação do percentual de óleo do cotilédone das sementes d*e Moringa oleifera*Lam. para a produção de biodiesel etanólico**. Encontro Nacional de Moringa – ENAM. Aracaju – SE, 2009.

STEPHENSON, M. T. **Components of produced water: a compilation of results from several industry studies**. SPE n.23313, p. 25-38, 1991.

STEPHENSON, M.T. **A Survey of Produced Water Studies**. In Produced Water, J.P. Ray and F.R. Englehart (eds.), Plenum Press, New York. 1992.

VEIL, J. A; PUDER, M. G; ELCOCK, D; REDWEIK, R. J. Jr; **A White Paper Describing Produced Water from Production of Crude Oil Natural Gas, and Coal**

Bed Methane. U. S. Department of Energy - National Energy Technology Laboratory.Under Contract W-31-109-Eng-38, 2004.

VIANA, S. G.; SOUTO, J. S.; MARQUES, L. FL.; SOUTO, P. C.; SOUSA, K. L.; Avaliação da germinação da Moringa em diferentes substratos e profundidades. **Potencialidades da Moringa*oleiferaLam***. Editora UFS, v.2, p.9-15, 2012.

ZANTA, C.L.P.S.; ANDRADE, A.R. AND BOODTS, J.F.C. Electrochemical Behavior of Olefinas. Oxidation at Ruthenium-Titanium Dioxide and Iridium-Titanium Dioxide Coated Electrodes. **J. Appl. Electrochem**., v.30. p. 469-478, 2000.

ZANTA, C.L.P.S; MICHAUD P.A. COMNINELLIS, C. H.; ANDRADE, A. R.; BOODTS, J.F.C. Electrochemical Oxidation of p-chlorophenol on SnO2-Sb2O5 based anodes for wastewater treatment. **J. Appl. Electrochem**., v. 33. p. 1211-1215, 2003.

ANEXOS

ANEXO A – Parâmetros do óleo

O óleo (petróleo) utilizado para o preparo da emulsão O/A, cedido pela Petrobras da Estação de Bonsucesso do campo de Carmópolis-SE, possui os seguintes parâmetros:

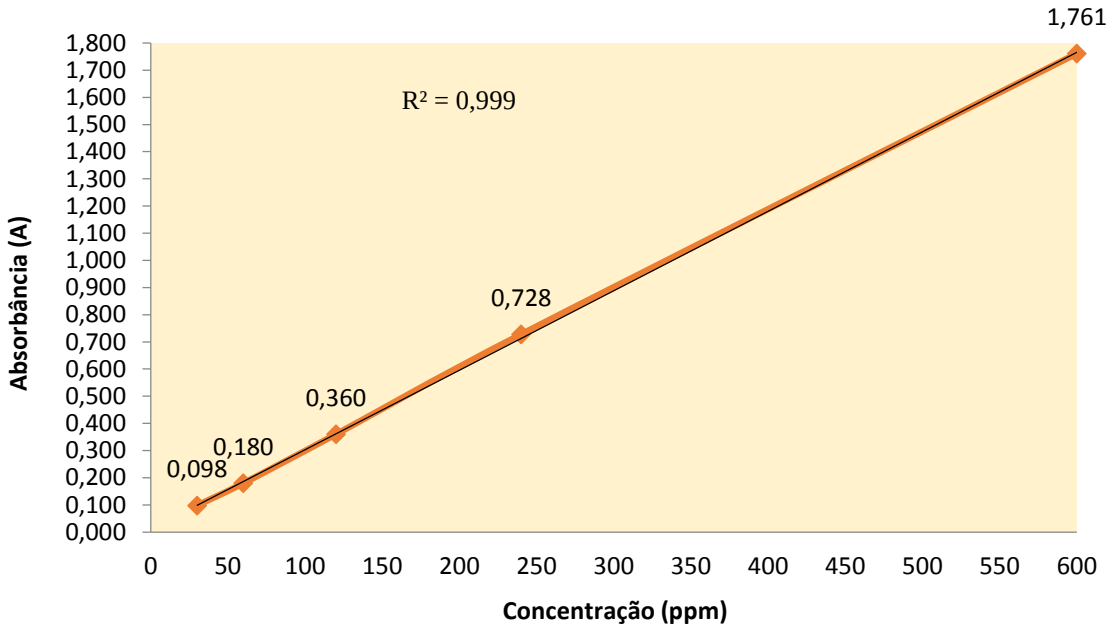
BSW	**Salinidade**	**Densidade a 20°C**	**°API**
0,8%	574,54 mg NaCl/L	0,9043	24,3

ANEXO B– Calibração do TOG

Os padrões foram feitos com concentrações de óleo (petróleo)e clorofórmio (HPLC/ESPECTRO), conforme é mostrado abaixo.

	Padrão 1	**Padrão 2**	**Padrão 3**	**Padrão 4**	**Padrão 5**
Concentração (ppm)	600	240	120	60	30
Absorbância (A)	1,761	0,728	0,360	0,180	0,098

Curva de calibração do TOG



ANEXO C – Cálculo da vazão de entrada no filtro

Leitura	t (s)	V (L)	Q (L/s)
1	8,024	4	0,499
2	8,099	4	0,494
3	8,920	4	0,448
4	8,012	4	0,499
5	9,080	4	0,441
6	8,070	4	0,496
7	7,962	4	0,502

Média	0,483
Desvio Padrão	0,026