



## DETERMINAÇÃO DA DOSAGEM ÓTIMA DO FLOCULANTE NATURAL DE MORINGA OLEÍFERA A PARTIR DO ESTUDO DO POTENCIAL ZETA PARA A APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO

José Wagner Alves Garrido<sup>1</sup>; Kássia Larissa Pinheiro de Lima<sup>2</sup>; Emilianny Rafaely Batista Magalhães<sup>3</sup>; Saulo Henrique Gomes de Azevêdo<sup>4</sup>; João Bosco de Araújo Paulo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – [josewagnerag@gmail.com](mailto:josewagnerag@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química – [kassialarissa@yahoo.com.br](mailto:kassialarissa@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – [emybatista\\_eq@hotmail.com](mailto:emybatista_eq@hotmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – [henrique.saulo@bol.com.br](mailto:henrique.saulo@bol.com.br)

<sup>5</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – [jbosco@eq.ufrn.br](mailto:jbosco@eq.ufrn.br)

### RESUMO

A água produzida é uma emulsão basicamente óleos e graxas em água, é proveniente das atividades de exploração/produção de petróleo e gás. O descarte desta água tem que estar conforme as recomendações da legislação ambiental brasileira, sendo teor de óleos e graxas (TOG) um importante parâmetro de lançamento de efluentes. Estas gotículas presentes nesta água geralmente possuem carga elétrica negativa, então para ter maior eficiência de remoção do sistema de tratamento, o indicado, portanto, é realizar a desestabilização destas gotículas, por meio da adição de floculantes catiônicos, que vai favorecer a aglomeração entre elas, para posterior separação. Para isso é aconselhável realizar um estudo de otimização da concentração do floculante a partir das medidas de identificação das cargas elétricas por meio do potencial zeta. O objetivo deste trabalho foi determinar a dosagem ótima do floculante natural de Moringa Oleífera a partir do estudo do potencial zeta para a aplicação no tratamento de água produzida da indústria de petróleo. Foram realizadas medições de potencial zeta no equipamento Zeta Potential Analyzer da Brookhaven Instruments Corporation para diferentes diluições (0,5%, 1%, 3%, 5%, 10% e 15% v/v) do floculante natural de moringa oleífera. Foi avaliada a eficiência do floculante natural de Moringa Oleífera na remoção de TOG no tratamento de água produzida juntamente com a técnica de flotação por ar dissolvido. O potencial zeta variou entre +18,3 mV e +5,2 mV, sendo a diluição de 1% foi a que apresentou maior potencial zeta, representando a dosagem ótima do floculante natural de Moringa Oleífera.

**Palavras-chave:** TOG; Água Produzida; Potencial Zeta; Flotação.

### 1. INTRODUÇÃO

A água produzida é uma emulsão basicamente óleos e graxas em água, é proveniente das atividades de exploração/produção de petróleo e gás das operações onshore e offshore.

Consiste em um efluente contaminante relevante, pela sua composição e/ou qualidade e quantidade gerada que podem variar consideravelmente [MOTTA *et al.*, 2013].

O descarte inadequado deste efluente implica em danos ambientais e



penalizações as empresas produtoras, contrariando a legislação ambiental vigente, assegurada pelas Resoluções CONAMA 393 [BRASIL, 2007] e 430 [Brasil, 2011]. Disposto por essa legislação o teor de óleos e graxas se constitui em importante parâmetro dos padrões de lançamento de efluentes.

Estas gotículas presentes na água produzida geralmente possuem carga elétrica negativa, então para ter maior eficiência de remoção do sistema de tratamento, o indicado, portanto, é realizar a desestabilização destas gotículas, por meio da adição de floculantes catiônicos, que vai favorecer a aglomeração entre elas, para posterior separação [AL-SHAMRANI, 2002]. Portanto, para ter maior desestabilização da na solução é aconselhável realizar um estudo de otimização da concentração do floculante a partir das medidas de identificação das cargas elétricas por meio do potencial zeta.

O conceito do potencial zeta está associado à aplicação da diferença de potencial elétrico em uma amostra de água contendo colóides negativos, de tal forma, que certa porção do meio, em torno de uma partícula coloidal caminhe junto com ela para o eletrodo positivo, caracterizando o rompimento do plano de cisalhamento [BORBA, 2001].

Segundo Borba [2001], o potencial zeta é a medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta que se desenvolve ao redor da partícula e o meio líquido em que ela está inserida.

O presente trabalho teve por objetivo determinar a dosagem ótima do floculante natural de Moringa Oleífera a partir do estudo do potencial zeta para a aplicação no tratamento de água produzida da indústria de petróleo.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Floculante natural

O Floculante Natural de Moringa Oleífera foi fornecido pela empresa Claeff Engenharia e Produtos Químicos.

### 2.2. Potencial Zeta

Foram realizadas medições de potencial zeta no equipamento Zeta Potential Analyzer da Brookhaven Instruments Corporation para diferentes diluições (0,5%, 1%, 3%, 5%, 10% e 15% v/v), disponível no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás – NUPEG/UFRN.

### 2.3. Eficiência do floculante natural

Para comprovar a eficiência do floculante natural de Moringa Oleífera, foi realizado o tratamento de água produzida juntamente com a técnica de flotação por ar dissolvido.

#### 2.3.1. Origem da água produzida

A água produzida utilizada neste trabalho foi da zona de exploração e produção de petróleo, cuja é derivada de campos onshore e offshore. A qual foi coletada após o sistema de pré-tratamento por separador água óleo (SAO) existente em uma estação de tratamentos de efluentes da Petrobras da unidade operacional Rio Grande do Norte e Ceará (UO-RNCE).

#### 2.3.2. Flotatestes

O equipamento para realização da técnica floculação/flotação por ar dissolvido foi montado no Laboratório de Monitoramento, Tratamento e Reúso de Resíduos da Indústria de Petróleo–LAMTRE/UFRN em escala de bancada, foi construído com modificações de acordo com Lacerda *et al.* [1997] do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB). Este foi previamente utilizado por Léo [2008] e Magalhães [2014].



É composto, de forma geral, por três colunas de flotação, onde ocorrem às etapas de mistura rápida, mistura lenta, floculação e flotação por ar dissolvido. Tais colunas estão conectadas a uma câmara de saturação pressurizada. A Figura 1 mostra um esquema geral do flotateste que foi utilizado.

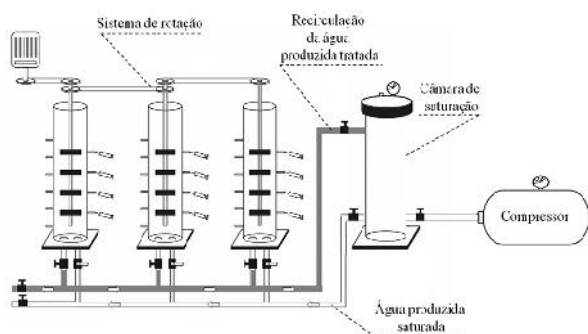


Figura 1: Esquema geral do flotateste.  
Fonte: Adaptado de Lacerda *et al.* [1997].

Na Tabela 1 apresentam os parâmetros considerados para a execução da técnica de floculação/flotação por ar dissolvido, conforme os trabalhos realizados por Lédo [2008] e Magalhães [2014].

Tabela 1: Parâmetros considerados na técnica combinada de floculação/flotação por ar dissolvido.

Parâmetro	Variação
Concentração do floculante Natural de Moringa Oleífera	20 mg/L
Tempo de agitação rápida	3 min.
Tempo de mistura lenta	5 min.
Tempo de flotação	20 min.
Taxa de recirculação	20 %
Velocidade de agitação rápida	226 rpm
Velocidade de agitação lenta	90 rpm
Pressão na câmara de saturação	5 kgf/cm <sup>2</sup>

Para a determinação da eficiência foi o analisador Infracal TOG (da Wilks Enterprise Corp - Modelo HATR-T2), que determinou a concentração de óleos e

graxas, através de espectrometria de absorção na região do infravermelho (Figura 2).



Figura 2: Infracal TOG/TPH.

O procedimento de obtenção de TOG no analisador infravermelho deu-se após a etapa da extração da fase orgânica. Eram coletadas amostra de 200 mL da água a ser analisada, a qual foi acidificada até pH<2 e transferida para um funil de decantação.

Nesta etapa utilizou ácido clorídrico P.A-ACS, 36,5 a 38% de pureza, da marca Synth. Em seguida, foi adicionado hexano P.A ACS da marca Êxodo Científica, com 98,5% de pureza, numa proporção volumétrica de 1:10 de água, no frasco âmbar, o qual foi vigorosamente agitado com o objetivo de desprender de suas paredes o óleo. Posteriormente, a emulsão obtida foi também transferida ao funil decantador. Esse funil contendo a água e a emulsão foi submetida a uma agitação rigorosa, objetivando, desta vez, extrair o óleo contido na água.

O funil ficou estático por 1 minuto, quando se obteve a separação das duas fases. Em seguida, com o auxílio de uma micropipeta (marca Digipet) coletou 50 µL desta fase orgânica e esta quantidade era inserida no centro do prato de cristal do Infracal e realizada a análise de TOG.

O prato de cristal do Infracal sempre era limpo com hexano antes de iniciar as medições e no intervalo de cada uma delas, para garantir que o óleo presente seja apenas o da amostra avaliada. Sendo, que a limpeza do equipamento era



confirmada quando o display indicava  $00 \pm 2$ , caso contrário repetia o procedimento de limpeza.

A eficiência foi avaliada a partir das análises dos teores de óleos e graxas antes do tratamento (água produzida bruta - APB) e depois do tratamento (água produzida tratada - APT). A equação (1) define a eficiência de separação.

$$y(\%) = \left(1 - \frac{TOG_f}{TOG_i}\right) * 100 \quad [1]$$

Em que,  $TOG_i$  é a concentração de óleo e graxas inicial da água produzida bruta-APB (mg/L) e  $TOG_f$  é a concentração de óleo e graxas da água produzida tratada-APT (mg/L).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os valores das medições realizadas em duplicata de potencial zeta para as diferentes diluições estudadas do floculante natural de Moringa Oleífera.

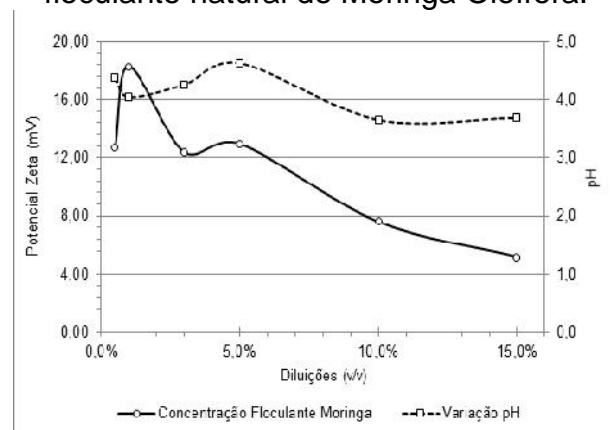
Tabela 2: Valores de potencial zeta para diferentes diluições de floculante natural de moringa oleífera.

Diluição (v/v)	Potencial zeta (mV)
0,5%	10,2
	15,2
1%	18,1
	18,5
3%	10,9
	13,9
5%	15,7
	10,3
10%	6,8
	8,4
15%	3,6
	6,8

As medições de potencial zeta realizadas conforme a Tabela 2 foram

identificadas por um gráfico (Figura 3) que representa a variação média do potencial zeta e pH para diferentes diluições do floculante natural de Moringa Oleífera.

Figura 3: Variação média do potencial zeta e pH para diferentes diluições do floculante natural de Moringa Oleífera.



Observa-se na Figura 3 que o potencial zeta variou entre +18,3 mV e +5,2 mV, sendo a diluição de 1% (v/v) que apresentou maior potencial zeta de +18,3 mV, identificando que este floculante natural é catiônico, podendo ser utilizado para promover a desestabilização de determinadas emulsões.

Na Figura 3 mostra que o pH teve uma pequena variação 4,4 a 3,7, caracterizando a faixa de atuação do floculante natural de Moringa Oleífera, apresentando o potencial zeta positivo, independentemente da faixa de variação do pH da solução que o floculante irá atuar. Conforme O'Mélia [1972] o mecanismo de coagulação predominante irá depender do valor de pH de coagulação, do tipo e dosagem do floculante utilizado, das características da água, carga e concentração das partículas e/ou gotículas.

Na Tabela 3 apresentam as eficiências de remoção do teor de óleos e graxas, quando aplicado o floculante de Moringa Oleífera juntamente com a técnica de tratamento de flotação por ar dissolvido.



Tabela 3: Eficiências de remoção de  
TOG.

Medição	APB TOG's (mg/L)			APT TOG's (mg/L)			(%)
	TOG 1	TOG 2	Média	TOG 1	TOG 2	Média	
	1	61	62	61,5	10	10	
2	82	82	82	4	5	4,5	95%
3	95	95	95	9	11	10	90%

Com a aplicação do floculante natural de Moringa Oleífera, o mesmo atuou-se de forma eficiente nas três medições, sendo as eficiências superiores em relação aos dados da literatura, apresentando eficiência média 89,6% de remoção de TOG.

O floculante natural de Moringa Oleífera tem sido aplicado em diferentes estudos para desestabilizar partículas e/ou gotículas com intuito de favorecer a aglomeração entre elas, para tornar se mais fácil à sua separação. Por exemplo, o estudo desenvolvido por Lédo *et al.* [2009] utilizou a moringa Oleífera como floculante para clarificar águas com baixa turbidez, alcançando valores de 74% de remoção; e quando aplicado no tratamento de efluentes da indústria de petróleo, conforme o estudo de Magalhães [2014] apresentou uma eficiência em média de 70% de remoção de óleo e graxas da água produzida.

#### 4. CONCLUSÕES

A diluição de 1% foi a que apresentou maior potencial zeta, representando a dosagem ótima do floculante natural de Moringa Oleífera.

O floculante natural de Moringa Oleífera atuou como polieletrólito catiônico que se demonstrou efetivo no tratamento da água produzida.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química/UFRN, FUNPEC/CNPq e a PETROBRAS/CENPES/UO-RNCE pelo suporte financeiro e material para desenvolvimento deste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-SHAMRANI; JAMES, A.; XIAO, H. ***Destabilisation of oil-water emulsions and separation by dissolved air flotation.*** Water Research, v.36, p.1503-1512, 2002.

BORBA, L. R. ***Viabilidade do uso da moringa Oleífera Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades.*** 2001, 92 p. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA n. 393, de 8 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

LACERDA, M. R. S.; MARQUES, S.F.S.; BRANDÃO, C.C.S. ***A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido no tratamento de água com baixa turbidez e presença de algas.*** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E



AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu.  
Anais... Foz do Iguaçu, 1997.

LÉDO, P. G. S. **Flotação por ar dissolvido na clarificação de águas com baixa turbidez utilizando sulfato de alumínio e sementes de Moringa Oleífera como coagulantes.** 2008, 123p. Tese de Doutorado em Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

LÉDO, P. G. S.; LIMA, R. F. S.; PAULO, J. B. A.; DUARTE, M. A. C. **Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad.** Información Tecnológica, v.20(5), p. 3-12, 2009.

MAGALHÃES, E. R. B. **Avaliação de floculante natural à base de Moringa Oleífera no tratamento de água produzida na indústria do petróleo: aplicação da técnica combinada floculação/flotação.** 2014, 95p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAUJO, P. M.; BRANCO, L. da P. N. **Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão.** Engenharia Sanitária e ambiental, v.18, n.1, p.15-26, 2013.

O'MELIA, C. R. **Coagulation and flocculation in physicochemical process for water quality control.** Interscience, p.61-107, 1972.