

# 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



## TÍTULO DO TRABALHO:

AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE TOG EM ÁGUA PRODUZIDA EM MICROSISTEMAS DE SEPARAÇÃO

## AUTORES:

José Ewerton Ângelo Matias Silva<sup>1</sup>, Luiz André F. Oliveira<sup>1</sup>, Jackson A. de Oliveira<sup>1</sup>, Domingos Fabiano de Santana Souza<sup>1</sup>, Marcelo da Silva Pedro<sup>2</sup>, José Daladiê da Costa Filho<sup>2</sup>, Mariana C. G. M. Guimarães<sup>2</sup>, Juan Alberto Chavez Ruiz<sup>3</sup>.

## INSTITUIÇÃO:

Bolsista PIBIC CNPq (IC), contatoewerton.ams@gmail.com, <sup>1</sup>Departamento de Engenharia Química, Laboratório de Energia Alternativa e Fenômenos de Transporte, Universidade Federal do Rio Grande do norte, <sup>2</sup> Programa de pós graduação em Engenharia Química, Laboratório de Energia Alternativa e Fenômenos de Transporte, Universidade Federal do Rio Grande do norte, Instituto Senai de Inovação – ISI-RN3.

## **AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE TOG EM ÁGUA PRODUZIDA EM MICROSISTEMAS DE SEPARAÇÃO**

### **Abstract**

Linked to perspective of increased natural gas production, especially due to the discovery of new production fields, it is estimated that there will be an increased in the volume of water produced. The water produced is defined like a effluente resulting of separations process existings in the collection and treatment plants related to the oil and gas production area which should have a propor disposal. The resolution Conama 393/2007 establish a maximum oil and grease content (TOG) allowed for disposal being bellow 29 (mg of oil and grease).(L of water)-1 monthly and less than 42 (mg of oil and grease).(L of water)-1daily. The presente has as its main objective the evaluation of microsystem technology in the removal of TOG of water produced. The experiments were performed under diferente conditions of volumetric flow rates and L/d. The final effluente has obtained acceptable concentrations according to the regulations, validating the unit as efficient for the separations process.

### **Introdução**

A exploração de poços maduros e de poços de baixa e média qualidade, como no nordeste do Brasil, produz grandes volumes de água, óleo e sais, onde o conjunto denota-se água produzida (AP) (OLIVEIRA, et al. ;2019). Sob determinadas condições, principalmente em decorrência da agitação constante, a mistura entre a água e óleo tende à formação de uma emulsão de difícil tratamento (ALMAROUF, et al. ;2015) aumentando o custo operacional do processo.

No Brasil, a produção de AP alcança cerca de 3,8 milhões de barris por dia (NUNES, 2010). O volume coletado de AP é tratado em laboratórios e/ou em unidades de tratamento através de tanques de separação, flotadores, hidrociclones ou decantadores, e descartado seguindo normas específicas (Resolução CONAMA 393/2007). Segundo essa resolução, em seu artigo 5º, a concentração diária de teor de óleos e graxas não deve ultrapassar 42mg/L com concentração média mensal de 29 mg/L. Caso haja discrepância com os valores permitidos, a água retorna para a unidade de tratamento até que os limites sejam assegurados. Persistindo a concentração acima do regulamentado, a empresa poderá pagar multas às entidades ambientais responsáveis.

As técnicas de separação de óleos e graxas da água podem variar de acordo com os componentes químicos que se deseja obter em cada fase e das limitações de projeto como área disponível e custo máximo. Um dos processos de mitigação comumente utilizados é a reinjeção da AP no próprio poço de petróleo. Além dessa, técnicas como o uso de filtros de areia, evaporação e oxidação química também são utilizadas (CABRAL, et al.; 2018). No entanto, esses métodos são onerosos ou possuem desvantagens operacionais como o requerimento de grandes espaços para utilização.

Devido ao grande custo de tratamento, processos em micro escala são uma solução para a aplicação no tratamento de AP. Os processos em micro escala são mais eficientes devido a apresentarem um incremento de dois a três vezes nos coeficientes de transferência de massa quando comparados a processos tradicionais (SATTARI-NAJAFABADI, et al. ;2018), sendo assim, necessitando de uma

menor quantidade de solventes e energia para operação de maquinário além de menor espaço ocupado frente a processos tradicionais de extração líquido-líquido.

Em junção a utilização de microprocesso, a escolha de um solvente que possui grandes cadeias de hidrocarbonetos propicia maior afinidade com o óleo do que a água. Dessa forma, o processo de separação torna-se mais viável (BENTO; 2005). Atrélado a isso, o padrão de escoamento das fases em microssistemas interfere na transferência de massa e, conseqüentemente na eficiência final do processo de separação (FREITAS; 2017).

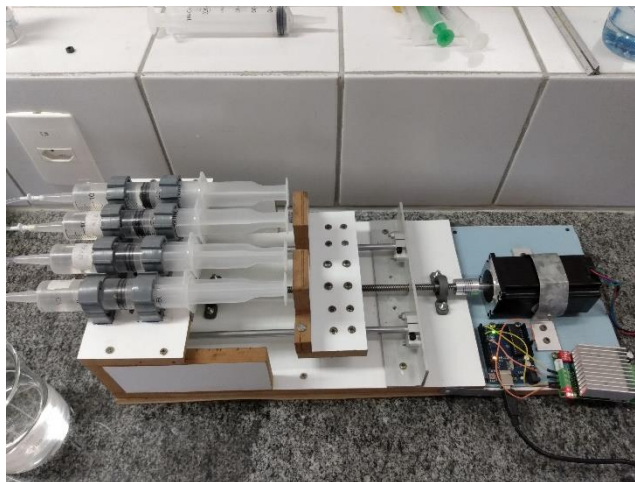
No presente trabalho, a aplicação de extração líquido-líquido em escala micro é aplicada no sistema AP e um solvente orgânico. O experimento é realizado para diferentes diâmetros e velocidades superficiais das fases líquidas. Por fim, foi observado a redução da escala do sistema acarreta uma maior diminuição de TOG do efluente tratado.

### Metodologia

A unidade utilizada e montada para o processo é formada por uma bomba seringa (figura 1) e pela mesa onde ocorre a microseparação (figura 2). A bomba seringa é subdividida em algumas partes:

- Base em MDF: possui como função da sustentação e estabilidade às seringas e motor de passo.
- Conjunto de eixos: o equipamento possui dois eixos lineares e um fuso trapezoidal com passo de 8mm, onde uma volta completa no fuso corresponde a um avanço de 8mm nas seringas. Os dois eixos lineares—exercem a função de suporte para o deslocamento da base, através de pillow blocks (suportes que permitem o deslocamento horizontal).
- Motor de passo: dispositivo eletromecânico que converte um sinal elétrico em torque, rotacionando seu eixo em passos (step) com ângulos bem definidos e precisos. O modelo do motor de passo escolhido foi o NEMA 23.
- Seringas: A bomba pode operar com até quatro seringas sendo pressionadas simultaneamente. Em duas delas é colocada a água contaminada com óleo e nas outras o solvente de extração.
- Placa arduino: plataforma eletrônica do tipo open-source, ou seja, código aberto com hardwares e softwares de fácil manuseio. Esta placa foi usada e programada como dispositivo de controle para o motor de passo da bomba seringa.

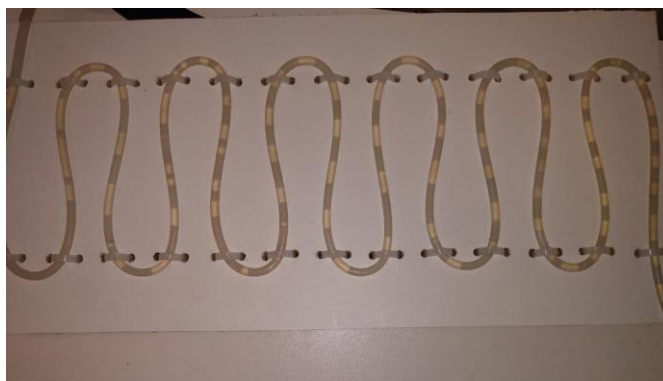
Figura 01 – Bomba seringa



Fonte: Autor

A unidade de microsistema é composta por uma conexão Y (que recebe as fases oriundas da bomba seringa) e um tubo polimérico translúcido montado horizontalmente na configuração zig-zag e responsável pela passagem dos líquidos. Na saída do sistema, as fases finais são coletadas em um béquer de vidro e, posteriormente, levados a um funil de separação.

Figura 02 – Mesa de microextração



Fonte: Autor

A água produzida utilizada foi criada de forma sintética (água destilada e óleo para motor), fazendo-se o uso de um agitador mecânico para produzir a emulsão óleo/água. O solvente utilizado como extratante foi querosene comercial.

As fases de água produzida e solvente foram distribuídas em duas seringas conectadas a bomba de seringa. O experimento tem início com a partida da bomba e posterior injeção dos fluidos, fazendo

com que ambos entrem em contato no tubo dando início a extração. A saída do microsistema possui um reservatório e funil de separação, para separação dos produtos.

Além disso, fora utilizado a técnica de inversão de fases onde 10% da solução de água e óleo seria composta de solvente a fim de analisar a sua influência no resultado do processo.

Após a separação, a fase aquosa é condicionada para a análise do TOG (teor de óleo e graxas) no equipamento TOG Infracal localizado no Laboratório de Monitoramento e Reuso de Resíduos da Indústria de Petróleo (LAMTRE). A eficiência de extração foi analisada através da equação (1).

$$\text{Eficiência de extração } (\eta) = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde  $C_0$  e  $C_f$  são, respectivamente, a concentração inicial de óleo na água sintética e a concentração final de óleo na água após a extração.

### Resultados e Discussão

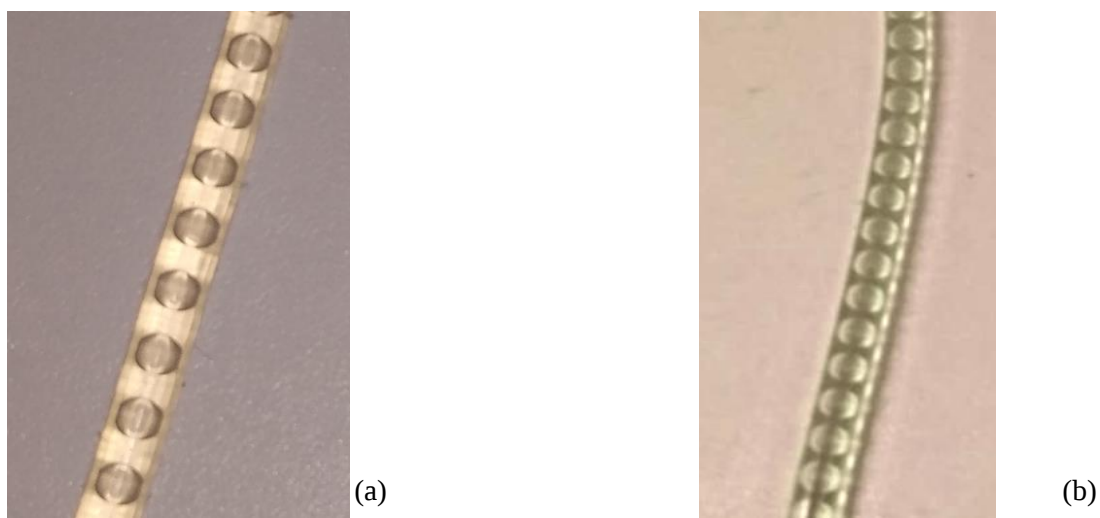
Os experimentos foram realizados em duplicatas para diferentes condições de processo:

- Condição 1: tubo de 1,8mm de diâmetro e 1,3m de comprimento com velocidades de rotação do eixo da bomba de 4 e 2 passos por segundo.
- Condição 2: tubo de 0,8mm de diâmetro e 1,3m de comprimento com velocidade de rotação de eixo da bomba constante e igual a 2 passos por segundo.
- Condição 3: tubo de 0,8mm de diâmetro e 1,3m de comprimento, velocidade de rotação de eixo da bomba de 2 passos por segundo e aplicando a inversão de fases.

No primeiro experimento da condição 1, a velocidade de rotação foi de 4 passos por segundo o que gerava uma vazão volumétrica de injeção de 0,211 mL/min para a AP sintética e solvente. O regime manteve-se constante durante maior parte do tempo. A Figura 3a mostra que nestas condições, o regime de escoamento predominante foi o de gotas dispersas e uniformes.

No segundo experimento, realizado com uma vazão de 0,105 mL/min, o regime também manteve-se constante na maior parte do tempo e também caracterizado como um regime de gotas, com tamanho menor e dispostas mais próximas umas das outras, como pode ser visto na Figura 3b.

Figura 03 – Condição 1: Perfil de escoamento de bolhas regulares em diferentes vazões: (a) 0,000211 L/min; (b) 0,000105L/min.



Fonte: Autor

Para as condições acima, foi calculada a eficiência de extração, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 01 – Eficiência de extração para o regime de escoamento de bolha regular.

| Vazão 0,211 mL/min (4 passos/seg) Concentração inicial: 385mg/L |                           |                                        |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|
| Tempo de residência (min)                                       | Concentração final (mg/L) | Eficiência de extração ( $\eta$ ) em % |
| 15,3                                                            | 83,0                      | 78,44                                  |
| Vazão 0,105 mL/min (2 passos/seg)                               |                           |                                        |
| Tempo de residência (min)                                       | Concentração final (mg/L) | Eficiência de extração ( $\eta$ ) em % |
| 31,4                                                            | 32,0                      | 91,69                                  |

Fonte: Autor

Nos experimentos referentes à condição 2 o regime manteve-se slug, bolhas alongadas; em todo escoamento durante o processo como mostra a figura 04.

Figura 04 – Condição 2: Perfil de escoamento slug para vazão de 0,000105L/min



Fonte: Autor

Tabela 02 – Eficiência de extração para o regime de escoamento slug.

| Vazão 0,000105 L/min (2 passos/seg) Concentração inicial: 421 mg/L |                           |                                        |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|
| Tempo de residência (min)                                          | Concentração final (mg/L) | Eficiência de extração ( $\eta$ ) em % |
| 31                                                                 | 115                       | 79,48                                  |

Fonte: Autor

O regime manteve-se o mesmo para a condição 3 como mostra a figura 05.

Figura 05 – Condição 3: Perfil de escoamento slug para vazão de 0,000105L/min



Fonte: Autor

Tabela 03 – Eficiência de extração para o regime de escoamento slug com inversão de fases.

| Vazão 0,000105 L/min (2 passos/seg) Concentração inicial: 421 mg/L |                           |                                        |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|
| Tempo de residência (min)                                          | Concentração final (mg/L) | Eficiência de extração ( $\eta$ ) em % |
| 31                                                                 | 138                       | 67,22                                  |
| 31                                                                 | 144                       | 65,79                                  |

Fonte: Autor

## Conclusões

Torna-se evidente que a alteração no regime de escoamento influencia diretamente na capacidade de extração do microsistema. Neste caso, os melhores resultados foram observados em regimes de gotas uniformes e regulares no tubo de silicone. Além disso, pôde-se confirmar que a redução da vazão, para as gotas regulares, promove um aumento na eficiência. Ademais, a técnica de inversão de fases, para 10% de solvente, conseguiu reduzir a concentração de AP em índices, também, aceitáveis.

A unidade de microsistema possibilitou eficiências acima de 90% com concentração final de 32 mg/L que é abaixo de 42 mg/L diários estabelecido pela resolução CONAMA. Assim, o

microsistema conseguiu eficientemente, a partir de uma água sintética com concentração de óleo de 385mg/L, o objetivo de reduzir o TOG em água produzida.

## **Agradecimentos**

Para o desenvolvimento deste trabalho agradeço a todos os membros do Laboratório de Energia Alternativa e Fenômenos de transporte (LEAFT), meu orientador Prof. Jackson Araújo, meu Co-orientador Prof. Domingos Fabiano, a Professora Magna Sousa e ao técnico do Laboratório de Monitoramento e Reuso de Resíduos da Indústria de Petróleo (LAMTRE), Gilmar. Todas essas pessoas foram de fundamental importância para realização do estudo experimental de remoção de TOG em microsistemas.

## **Referências Bibliográficas**

OLIVEIRA, L.H.; SOUSA, S.M.A.G.; SOUZA, A.A.U. **Aplicação de adsorventes para o tratamento de emulsões óleo/água**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2019. Disponível em <<http://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/1347/1219>>.

BRITO, E. **Avaliação do teor de óleos e graxas sob a perspectiva da resolução conama nº 393/2007 para o descarte de água produzida em plataformas de petróleo na costa do espírito santo**. Universidade federal do Espírito Santo, 2015. Disponível em <[http://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/avaliacao\\_do\\_teor\\_de\\_oleos\\_e\\_graxas\\_sob\\_a\\_perspectiva\\_da\\_resolucao\\_conama\\_n\\_393\\_2007\\_para\\_o\\_descarte\\_de\\_agua\\_produzida\\_em\\_plataformas\\_de\\_petroleo\\_na\\_costa\\_do\\_espirito\\_santo\\_-\\_emilia\\_brito.pdf](http://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/avaliacao_do_teor_de_oleos_e_graxas_sob_a_perspectiva_da_resolucao_conama_n_393_2007_para_o_descarte_de_agua_produzida_em_plataformas_de_petroleo_na_costa_do_espirito_santo_-_emilia_brito.pdf)>.

CASTRO, R.M.L. **Emulsão: um revisão bibliográfica**. Universidade Federal da Paraíba, 2014. Disponível em <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/947>>.

CABRAL, R.C; SANTOS, D. F. **Estudos das principais técnicas para o tratamento de água produzida de petróleo. Uma análise das principais metodologias utilizadas em campo**. Centro Universitário Tiradentes, 2018. Disponível em <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/6782/3388>>.

BENTO, D.M. **Análise Química da Degradação dos Hidrocarbonetos de Óleo Diesel no Estuário da Lagoa dos Patos – Rio Grande/RS**. Universidade Federal do Rio Grande, 2005. Disponível em <[http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/3526/2005\\_Douglas.pdf?sequence=1](http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/3526/2005_Douglas.pdf?sequence=1)>.

FREITAS, R.V.N. **Estudo de modelos de dois fluidos acoplados ao método FCT em escoamentos bifásicos**. COPPE Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. Disponível em <<https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/5959>>.

LIMA, M.P. **Aferição do modelo VOF na caracterização de padrões de escoamento multifásico em tubulação horizontal e inclinada**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. Disponível em <<http://repositorio.ufes.br/jspui/handle/10/9809>>.

SILVA; Melissa Cordoeira. **Impactos macroeconômicos da descoberta do pre-sal**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em <<https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/676>>

ALMAROUF, Haidar S. et al. Demulsification of stable emulsions from produced water using a phase separator with inclined parallel arc coalescing plates. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 135, p. 16-21, 2015.

SATTARI-NAJAFABADI, Mehdi et al. Mass transfer between phases in microchannels: A review. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 127, p. 213-237, 2018.