

**XXVII Workshop do PRH44.1 em Petróleo, Gás e Energias Renováveis**  
**18 a 20 de janeiro de 2022**

**Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN**  
**Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás - NUPEG**



# **LIVRO DE RESUMOS**

## Sumário

<i>Fluidos de Reservatórios Brasileiros: Problemas de Dados Experimentais e Modelos</i> .....	3
<i>Modelagem da Solubilidade de Sais em Mistura de Solventes Considerando a Abordagem de Pitzer Modificada: Estudo de Caso para Água + MEG + Eletrólito Forte</i> .....	4
<i>Seletividade de Espumas de Poliuretano Nano e (Micro)Modificadas em Sistema Água-Óleo</i> .....	6
<i>Coluna de Extração Líquido-Líquido: Montagem e Operação</i> .....	8
<i>Avaliação de Ésteres Destilados do Biodiesel como Aditivo ao Diesel</i> .....	10
<i>Produção de H<sub>2</sub> Verde a partir da Oxidação Eletroquímica de BTX em Reator em Fluxo Conectado a Energia Solar</i> .....	12
<i>Obtenção de Biodiesel Utilizando Solventes Eutéticos Profundos – Parte IV</i> .....	14
<i>Atividade Fotocatalítica da Nanoestrutura CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:TiO<sub>2</sub> para Degradação de Contaminantes Orgânicos</i> .....	16
<i>Controle Inteligente de Sistemas Mecatrônicos</i> .....	18
<i>Projeto Mecânico de Estrutura para Medição de Força de um Atuador Eletro-Hidráulico e Calibração de sua Respetiva Célula de Carga</i> .....	19
<i>Manufatura de um Manipulador Flexível Destinado à Indústria do Petróleo e Gás</i> .....	21
<i>Construção e Instrumentação de um Esclerômetro Pendular de Passe Único para Avaliação de Lubrificadorrefrigerantes</i> .....	23
<i>Modelagem da Propagação de Ruídos em Parques Eólicos</i> .....	25
<i>Aperfeiçoamento do Processo de Separação por Membranas Utilizadas em Dessalinizadores de Água Produzida</i> .....	27
<i>Estudo Reológico de Biodiesel Aditivado com Líquidos Iônicos</i> .....	29
<i>Simulação Numérica de Transferência de Calor em Um Tubo com Aletas Submetidas ao escoamento Turbulento</i> .....	31
<i>Análise dos Sistemas de Medição de Petróleo e Gás, a partir da Perspectiva dos Métodos de Monte Carlo e Taguchi</i> .....	33
<i>Desenvolvimento de Eletrocatalisadores e Design de Reatores (Foto)Eletrocatalíticos para Promover a Conversão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> a Produtos de Valor Agregado</i> .....	35
<i>Tratamento de Água Produzida Utilizando Tensoativo em Microemulsões</i> .....	36
<i>Avaliação do Diâmetro de Gotículas de Nanoemulsões obtidas pelo Método de Inversão da Composição das Fases</i> .....	38
<i>Ensaio preliminares do equilíbrio dos sistemas aquosos com CO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>+CaCO<sub>3</sub> utilizando o ebuliômetro de Othmer modificado</i> .....	40
<i>Equilíbrio Sólido-Líquido-Vapor do Sistema H<sub>2</sub>O + NaCl</i> .....	42
<i>Equilíbrio Líquido-Vapor de Misturas de Álcool e Éster, Visando Processamento do Biodiesel</i> .....	44
<i>Estudo do Equilíbrio Líquido-Vapor do Sistema Formado por Etanol e Ácido Oleico</i> .....	46
<i>Ensaio Preliminares de Análise de Fenol Diluído em Água</i> .....	48
<i>Estudo Comparativo de Bioadsorventes para Remoção de Cobre em Meio Aquoso</i> .....	50

***Fluidos de Reservatórios Brasileiros: Problemas de Dados Experimentais e Modelos***

***Prof. Frederico W. Tavares\****

***Universidade Federal do Rio de Janeiro***

***\*e-mail: tavares@eq.ufrj.br***

Os reservatórios de petróleo brasileiros são sistemas extremamente complexos de modelar. O comportamento termodinâmico dos fluidos confinados em poros de uma rocha sofre influência de vários fenômenos com origem nas interações microscópicas sólido-fluido e fluido-fluido, e nem todos eles estão totalmente compreendidos nem existem informações experimentais disponíveis que incluam o efeito de confinamento. Embora a Modelagem Termodinâmica seja uma ferramenta poderosa no cálculo das propriedades do fluido em fase volumar, os fenômenos dentro dos reservatórios ainda não podem ser previstos completamente. Problemas de reservatórios em não-equilíbrio, falta de dados experimentais, efeitos de confinamento, altos teores de CO<sub>2</sub> serão abordados no seminário organizado pelo programa PRH44.1.

**Modelagem da Solubilidade de Sais em Mistura de Solventes Considerando a Abordagem de Pitzer Modificada:**

**Estudo de Caso para Água + MEG + Eletrólito Forte**

**Mateus. F. Monteiro\***; Mario. H. M. Neto; Marcel. S. Deus; Katherine. C. Oliveira; José. A. F. Oliveira; Leonardo S. Pereira; O. Chiavone-Filho

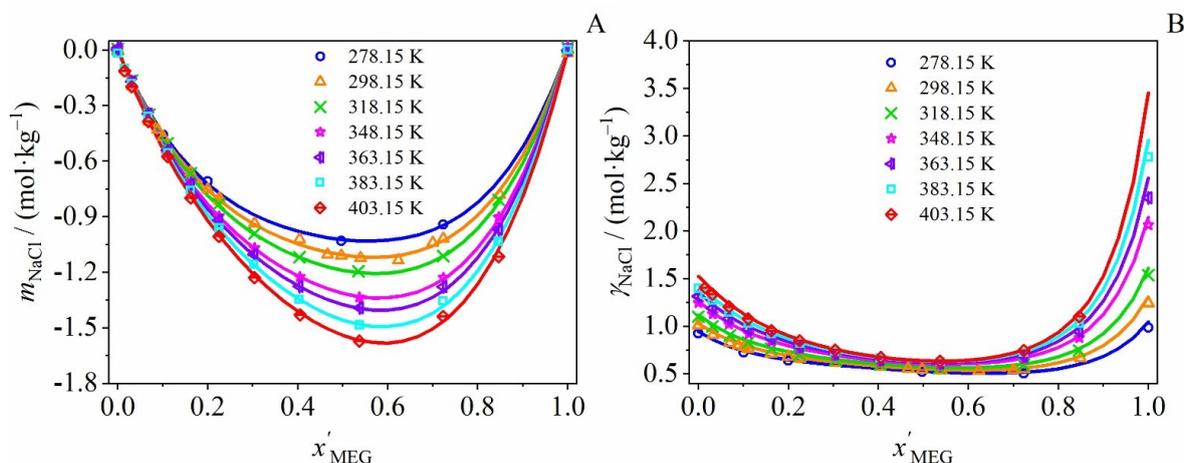
Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases – Departamento de Engenharia Química (UFRN)

\*e-mail: mateus@nupeg.ufrn.br

**Introdução**

O monoetileno glicol (MEG) tem sido aplicado como inibidor da formação de hidratos na exploração do gás natural. A unidade de recuperação do MEG apresenta incrustação de sal que implica problemas operacionais no processamento de gás natural. Um levantamento da literatura e análise de dados experimentais de solubilidade de sais em mistura de solventes foram realizados, revelando que estudos experimentais estão disponíveis para oito espécies iônicas. Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de cálculo de solubilidade de eletrólitos em misturas aquosas contendo MEG. O método de cálculo aplica o modelo de Pitzer-Lorimer para mistura de solventes [1,2]. Os resultados indicam a viabilidade da modelagem proposta para os dados de solubilidade de sais na descrição de solventes mistos. Além disso, a interface desenvolvida pode ser facilmente aplicada para fins de estimativa de parâmetros e simulação de processos.

Figura 1 – Potencial químico de excesso do NaCl (A) e coeficiente de atividade (B) obtidos a partir dos dados experimentais e correlação (linhas sólidas) na mistura água + MEG em: ○ 278.15 K (azul); △ 298.15 K (laranja); × 318.15 K (verde); ☆ 348.15 K (magenta); ▼ 363.15 K (violeta); □ 383.15 K (ciano); ◆ 403.15 K (vermelho).



Fonte: Autores

**Metodologia**

A abordagem de Pitzer-Lorimer foi considerada para o cálculo do coeficiente de atividade do eletrólito na mistura de solventes. O modelo de Pitzer original foi aplicado para o sistema binário água + eletrólito. A partir da energia livre de Gibbs de transferência foi calculado o coeficiente de atividade no solvente MEG. Uma regra de mistura dependente da constante dielétrica dos solventes puros foi considerada.

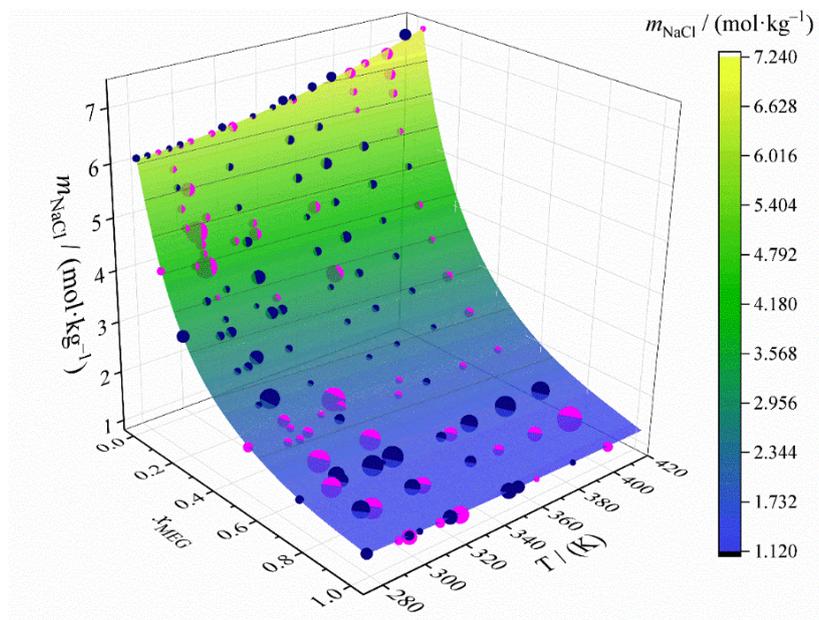
As solubilidades em solvente simples foram correlacionadas como função da temperatura considerando a equação do tipo Clarke-Glew [3]. Parâmetros para o potencial químico de excesso foram estimados, considerando uma função do tipo Redlich-Kister até o terceiro termo. A linguagem Python foi utilizada como ferramenta computacional. Foram estudados 10 eletrólitos: NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, KCl, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KI, KBr e CuSO<sub>4</sub>.

## Resultados e Discussão

Para ilustrar os resultados obtidos, foi discutido o sistema água + MEG + NaCl. Foram coletados 162 pontos experimentais de solubilidade em temperaturas entre 278,15 e 423,15. O potencial químico de excesso e o coeficiente de atividade são apresentados na Figura 1. Vale destacar que para esse sistema o potencial químico é negativo. O coeficiente de atividade é positivo, apresenta crescimento em regiões ricas em MEG.

A solubilidade do NaCl na mistura água+MEG como função da temperatura é apresentada na Figura 2. Conforme esperado, regiões com menor teor de MEG possuem maior solubilidade e o aumento da temperatura favorece o aumento da solubilidade. Considerando a metodologia de cálculo supracitada foi obtido  $AARD = 0,76\%$  e  $AARD^{max} = 3,52\%$ . Vale destacar que os maiores desvios estão na região de maior concentração de MEG.

Figura 2 – Solubilidade do NaCl como função da temperatura e composição de MEG: dados experimentais (pontos) e correlação (superfície). Os tamanhos dos pontos experimentais são proporcionais ao  $AARD_{m_{NaCl}}$ , com valor máximo de 3,52%. Desvios negativos em magenta e desvios positivos em azul escuro.



Fonte: Autores

## Conclusões

Uma descrição adequada dos dados de solubilidade de NaCl em misturas água+MEG foi obtida com a abordagem Pitzer-Lorimer. A predição da solubilidade para a faixa completa de concentração de MEG e ampla faixa de temperatura foi performada, obtendo-se desvios relativos médio e máximo de, respectivamente, 0,76% e 3,52%. A aplicação do método para outros sais e outras misturas de solventes é viável e foi desenvolvida com sucesso para outros 10 eletrólitos.

## Referências Bibliográficas

- [1] Pitzer, K. S. Thermodynamics of Electrolytes. I. Theoretical Basis and General Equations. *J. Phys. Chem.*, **1973**, 77, 268–277.
- [2] Lorimer, J. W. Thermodynamics of solubility in mixed solvent systems. *Pure Appl. Chem.*, **1993**, 65, 183–191.
- [3] Clarke, E. C. W.; Glew, D. N. Evaluation of Thermodynamic Functions from Equilibrium Constants. *Trans. Faraday Soc.*, **1966**, 62, 539–547.

## *Seletividade de Espumas de Poliuretano Nano e (Micro)Modificadas em Sistema Água-Óleo*

*Keslei R. Rocha\*; Leonardo F. Medeiros; Osvaldo Chiavone-Filho; Humberto N. M. Oliveira*  
*Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*e-mail: kesleirosendo@gmail.com*

### **Introdução**

Derramamentos de óleos em água causados por acidentes devem ser contidos e remediados com agilidade. Desta forma, evita-se que haja espalhamento do óleo devido ao movimento natural da água. Pesquisas diversas vêm sendo conduzidas apontando diversos tipos de técnicas para remoção do óleo derramado [1,2,3,4]. Entre as técnicas, uma que se destaca atualmente é a sorção através de materiais sorventes. Para que um material seja considerado sorvente adequado, faz-se necessário que este apresente seletividade para a substância que se quer remover<sup>1</sup>. Em um derramamento de óleo em alto mar, por exemplo, o objetivo do uso de um material sorvente é que este sorva o máximo do óleo derramado e o mínimo possível de água. Materiais porosos são amplamente estudados para esse fim uma vez que os poros podem reter óleo [1,4], mas para isso o material precisa ser averso à sorção de água (hidrofobia) e possuir afinidade para substâncias oleosas (oleofinidade). Através de técnicas de modificação superficial é possível modificar a seletividade de um material. Espumas de poliuretano, por exemplo, são amplamente porosas, mas pouco seletivas, ou seja, sorvem grandes volumes de óleo e água ao mesmo tempo. No entanto, com modificações químicas adequadas é possível aumentar sua seletividade para sorver óleos em detrimento da água.

Neste estudo, modificações superficiais em espumas de poliuretano novas e pós-comercializadas foram realizadas. Após as modificações, testes de sorção foram conduzidos em sistemas água-óleo para avaliação da seletividade antes e após modificações.

### **Metodologia**

Espumas de poliuretano novas e pós-comercializadas de densidade 18 foram utilizadas. Os cortes foram realizados de forma uniforme gerando estruturas semelhantes a cubos com 1 cm<sup>3</sup>, aproximadamente. Todos os testes foram realizados em triplicata. As modificações baseadas no trabalho de Li e colaboradores [5] consistiram no grafting com óxido de zinco tanto para as espumas novas (ZnO-N) como para as pós-comercializadas (ZnO-PC); revestimento com ácido hexadecanóico: AH-N e AH-PC; assim como para a combinação das modificações: ZnO/AH-N e ZnO/AH-PC. Os testes utilizados foram o de sorção dinâmica ASTM F726 e ASTM D95. Os mesmos testes foram realizados para as espumas sem alterações (SA-N e SA-PC) com o objetivo de se avaliar a seletividade das espumas antes e após as modificações. Os sistemas óleo-água utilizados foram: água-óleo diesel 8 % (viscosidade 40° C ASTM 445 3 ~ 5 cSt); água-óleo lubrificante 8 % (viscosidade 40° C ASTM 445 46 cSt); água-óleo de motor 20w-40 8 % (viscosidade 40° C ASTM 445 120 cSt).

### **Resultados e Discussão**

Para o sistema água-diesel, as espumas novas e pós-comercializadas, modificadas ou não, apresentaram os melhores resultados na sorção de diesel em termos absolutos. No entanto, não houve diferença estatística (p-valor > 0,05) entre os tratamentos. Como o diesel é pouco viscoso, sua entrada nos poros e canais da espuma não enfrenta barreiras. Desta forma, independente do tratamento ou condição da espuma, a sorção de diesel foi máxima chegando a alcançar até 47,85 ± 5,46 g/g (SA-PC).

Para o sistema água-óleo lubrificante, as espumas novas e pós-comercializadas modificadas com ZnO e ZnO/AH apresentaram os melhores resultados e foram estatisticamente superiores as demais espumas (p-valor < 0,05), mas estatisticamente semelhantes entre si. A sorção máxima de óleo lubrificante foi de 28,33 ± 2,75 g/g (ZnO/AH-N).

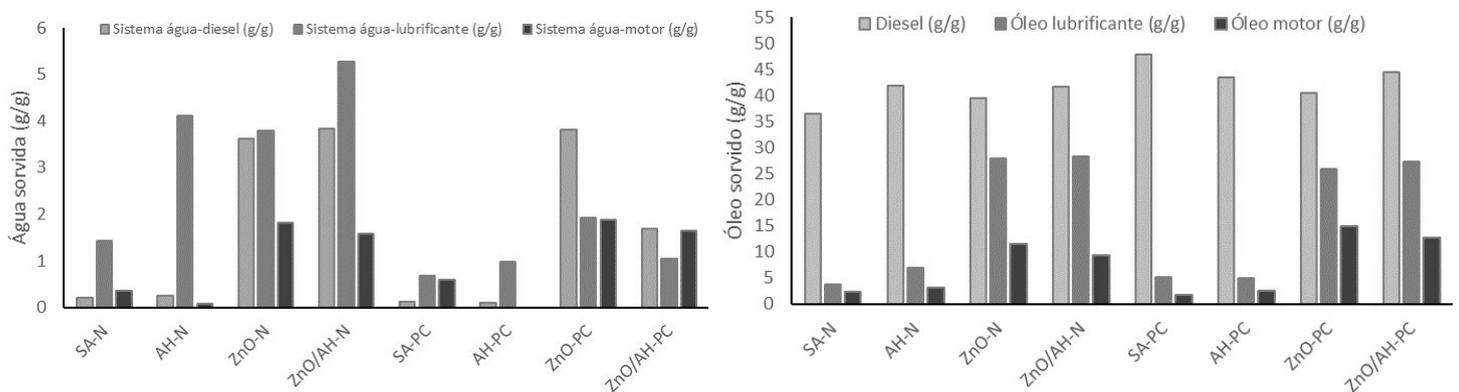
Para o sistema água-óleo motor, a modificação ZnO apresentou os melhores resultados tanto para as espumas novas como para as pós-comercializadas, sorvendo  $11,47 \pm 0,62$  g/g e  $14,83 \pm 0,33$  g/g, respectivamente.

Comparando-se a modificação ZnO-PC com a espuma sem alteração SA-PC, houve um acréscimo na capacidade de sorção em aproximadamente 5 x para o óleo lubrificante (de  $5,17 \pm 0,07$  g/g para  $25,79 \pm 0,10$  g/g) e 8 x para o óleo de motor (de  $1,82 \pm 0,02$  g/g para  $14,83 \pm 0,12$  g/g).

A influência das modificações ficou mais clara a partir do uso de óleos mais viscosos, visto que a passagem pelos poros e canais requer maior atração oleofílica. Este aumento de atração é observada nas espumas submetidas ao grafting com ZnO que possibilitou a oleofilização da espuma e, por isso, obteve melhores valores de sorção. Li et al. (2015) revestiram espumas de poliuretano com micro hastes de ZnO e também com ácido palmítico [5]. As espumas sem modificação tiveram sorção máxima de 23 g/g de petróleo bruto disperso em água. Isso representou 47,7 % menos sorção que aquela observada nas espumas modificadas, cuja sorção máxima foi de 44 g/g.

Na Figura 1 estão apresentados os resultados para os testes de sorção nos diferentes sistemas estudados.

Figura 1 – Sorção de água e óleo pelas espumas de poliuretano em sistemas água-óleo.



Fonte: Autores

## Conclusões

As espumas de poliuretano pós-comercializadas se mostraram eficientes na sorção de óleo em sistemas água- óleo. A modificação com micro hastes de ZnO proporcionou excelentes resultados para sorção de óleo de média e alta viscosidade. Quando esta modificação é comparada com as espumas sem alteração, houve um acréscimo na capacidade de sorção de óleo de até 7 vezes, ou aumento de até 700 % na capacidade de sorção.

## Referências Bibliográficas

- [1] GAO, X., WANG, X. OUYANG, X. and WEN, C. Flexible Superhydrophobic and Superoleophilic MoS<sub>2</sub> Sponge for Highly Efficient Oil-Water Separation. *Nature*. v. 6, n. 1, p. 1-8, 2016.
- [2] GHERIANY, I. A., SAQA, F. A., AMER, A. A. E. R. and Hussein, M. Oil spill sorption capacity of raw and thermally modified orange peel waste, *Alexandria Engineering Journal*, v. 59, n. 2, 2020.
- [3] HOANG, A. T., and CHAU, M. Q. A mini review of using oleophilic skimmers for oil spill recovery. *Journal of Mechanical Engineering Research & Developments*. v. 41, n. 2, p. 92-96, 2018.
- [4] KO, T. J., HWANG, J. H., Davis, D., SHAWKAT, M. S., HAN, S. S., RODRIGUEZ, K., OH, K. H., LEE, W. H., and JUNG Y. Superhydrophobic MoS<sub>2</sub>-based multifunctional sponge for recovery and detection of spilled oil. *Current Applied Physics*. v. 5116, n. 1, p. 1-33, 2020.
- [5] LI, B.; LIU, X.; ZHANG, X.; ZOU, J.; CHAI, W.; LOU, Y. Rapid adsorption for oil using superhydrophobic and superoleophilic polyurethane sponge. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, v. 90, n. 11, p. 2106–2112, 2015.

## Coluna de Extração Líquido-Líquido: Montagem e Operação

*Daniel G. Lima\*; Tereza N. C. Dantas; Katherine C. Oliveira*

*Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*e-mail: godoydl@ufrn.edu.br*

### Introdução

Na operação de extração líquido-líquido utiliza-se um solvente. Esse solvente deve ser estável e quimicamente inerte com relação aos componentes da mistura e, é necessário um líquido diluente para separar o soluto. Os equipamentos disponíveis para extração líquido-líquido são divididos em seis grupos: colunas de extração estática, misturador em estágios, colunas rotativas agitadas, pratos perfurados recíprocos, colunas de fluxo pulsado e extratores centrífugos. No presente trabalho, foi montada uma coluna de extração de pratos perfurados recíprocos e estudado o sistema água – tolueno – acetona para determinar a dispersão axial no extrator e a eficiência de extração do soluto com esse sistema.

### Metodologia

O extrator de pratos perfurados recíprocos construído tem 5 cm de diâmetro interno e uma altura útil de 1,20 m. Ele é formado por três seções de tubo de vidro de 31 cm que são conectados internamente com juntas de teflon – cada uma dessas seções possui uma válvula lateral para a retirada de amostras. Na parte superior do extrator há a presença do vaso de separação de fases e o sistema de agitação para pulsação através de um motor fixado na estrutura. Já na fase inferior, a base do extrator, apresenta uma estrutura similar ao vaso de separação para a saída da fase contínua e entrada da fase dispersa. A coluna é sustentada por duas estruturas metálicas e os pratos perfurados são sustentados por uma haste cilíndrica e espaçadas 5 cm entre si.

Figura 1 - Coluna de extração.



Fonte: Autores

A dispersão axial, os quais são desvios no escoamento dentro do extrator que podem enfraquecer a força impulsora para a transferência de massa, foi determinada pela metodologia Levenspiel (1962) [1], através de medidas do traçador (injeção de 5 ml de azul de metileno 2000 ppm) que variam em função da altura do equipamento e do tempo (coletas a cada 25 s). Deste modo, o coeficiente de dispersão axial  $E$  será calculado para a fase contínua (água) através do método da resposta do traçador em estado não estacionário aplicado ao modelo de dispersão para um sistema fechado e com dispersão de grande intensidade. Com as concentrações do traçador, foram construídas as curvas de distribuição de tempos de residência (DTR) – concentração,  $C\theta$ , versus o tempo adimensional  $\theta$ . Com as variâncias e a média destas curvas para o sistema fechado, foi calculado o número de Peclet, seguida pelo coeficiente  $E$ .

Para o sistema com alta tensão interfacial, água – tolueno – acetona (TAA), a fase contínua (água) é alimentada por gravidade enquanto a fase dispersa (tolueno + 10% acetona) é alimentada através de uma bomba. A razão entre fase contínua para dispersa foi de 3 para 1. As variáveis das operações foram: velocidade de agitação (3,6 cm/s), velocidade da fase dispersa (4,5 cm/s), velocidade da fase contínua (2,5 cm/s) e diâmetro dos furos presentes nos pratos (0,3 cm).

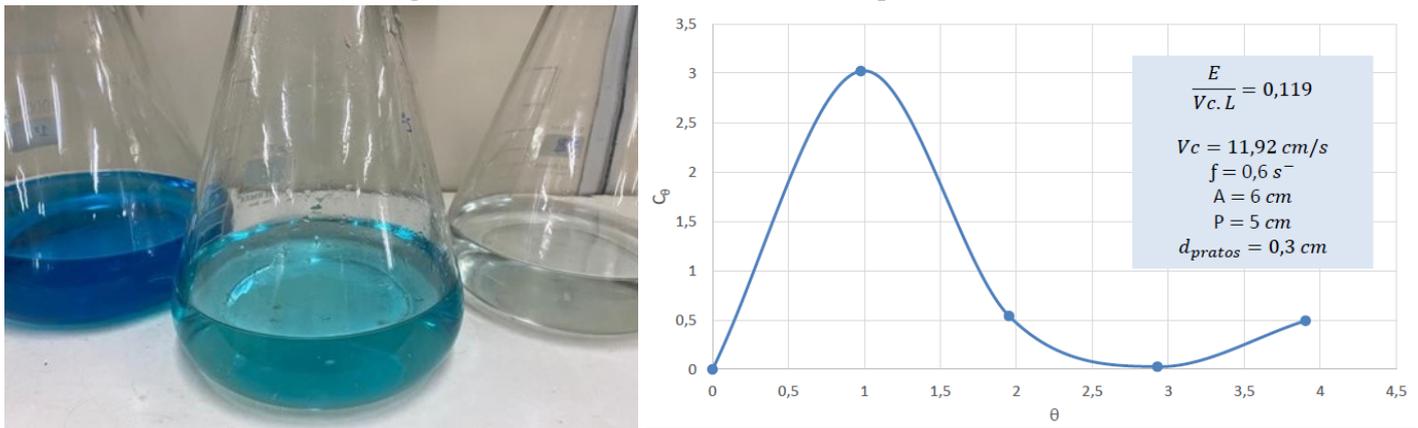
Para quantificar esses parâmetros de concentração, tanto para o estudo de dispersão axial como para determinar e eficiência de extração, foi construída uma curva de

calibração após a análise do comprimento de máxima absorvância da acetona e do azul de metileno, para quantificação desses, por meio de um espectrofotômetro de absorção molecular no UV- visível.

## Resultados e Discussão

Para o estudo de dispersão axial do sistema, o número de Peclet ( $Pe$ ) encontrado foi de aproximadamente 8,4 e o coeficiente de dispersão ( $E$ ) igual a 127,906  $\text{cm}^2/\text{s}$ . Em mesmas condições de operação e com a utilização do mesmo traçador, Garnica (2003) [2] encontrou valores de dispersão 100 vezes menor, uma vez que operou a coluna nos testes de dispersão axial com uma velocidade superficial da fase contínua de 0,12  $\text{cm/s}$  – aproximadamente 100 vezes menor do que a utilizada para esse trabalho. Nota-se, também que a razão  $E/(VcL)$  foi característica para sistemas entre média a grandes dispersões. O experimento feito no extrator construído, a eficiência de extração do sistema para o sistema TAA foi de 87,27%. Endres et al, 1999 [3] operou com o mesmo sistema em uma coluna de extração do tipo Karr com porcentagem de acetona em tolueno de 3% e proporção entre fase contínua e dispersa de 3:1 e apresentou resultados de extração entre 80 e 90%, mostrando que a eficiência obtida nesse trabalho para o sistema TAA se enquadra nos dados da literatura. É importante mencionar que, no experimento na coluna, o sistema TAA operou em emulsão, ou seja, na região onde se tem as melhores taxas de troca de massa – regiões de operações estabelecidas por Sege e Woodfield, 1954 [4] – mediante a operação em altas cargas totais na alimentação e uma dispersão uniforme das gotas da fase dispersa na fase contínua.

Figura 2 – Resultados do estudo de dispersão axial.



Fonte: Autores

## Conclusões

Assim, conclui-se que diante de uma significativa eficiência de extração da acetona em tolueno de 87,27% através da água no extrator utilizado e os resultados de dispersão axial congruentes com os dados da literatura, o equipamento mostra-se importante para futuros trabalhos visando uma melhor compreensão dos fenômenos envolvidos na operação de extração líquido-líquido.

## Referências Bibliográficas

- [1] LEVENSPIEL, O. Chemical reactor engineering. John Wiley & Sons, New York, 242, 1962.
- [2] GARNICA, A. I. Extrator de pratos perfurados recíprocos: construção, montagem e estudos da hidrodinâmica e transferência de massa. 2003. 194 p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (Tese de Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- [3] ENDRES, J. C. T.; LAY, M. L. D.; GERMANY, C. J. Hidrodinâmica e transferência de massa em coluna de extração do tipo Karr. Fundação de ciência e tecnologia. Rio Grande Sul, Brasil. Maio, 1999.
- [4] SEGE, G.; WOODFIELD, F. W. Pulse column variables. Chemical Engineering Progress. v. 50. December, 1954.

## *Avaliação de Ésteres Destilados do Biodiesel como Aditivo ao Diesel*

*Fernanda L. R. R. Silva\*; Eduardo L. B. Neto*

*Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*e-mail: fernanda.limarei@gmail.com*

### **Introdução**

A substituição total ou parcial de combustíveis fósseis por biocombustíveis ajuda a reduzir impactos negativos ao meio ambiente, já que minimiza os efeitos da emissão de poluentes como CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e matéria particulada (MP). As formulações que vem sendo utilizadas atualmente, apesar de suas evidentes vantagens, ainda apresentam desvantagens a serem contornadas, como a diminuição do poder calorífico, aumento da viscosidade cinemática e aumento das emissões de NO<sub>x</sub> causados pela adição de biodiesel no diesel [1].

Para contornar essas desvantagens, diversos estudos demonstram a eficácia de aditivação com compostos oxigenados, com a finalidade de se obter misturas de combustíveis com melhores características e eficiência energética [2]. Assim, este trabalho objetiva examinar o efeito de novos aditivos oxigenados, derivados da destilação do biodiesel, sobre a qualidade da gasolina, através de análises de consumo em motor de combustão e da avaliação dos gases de emissão.

### **Metodologia**

Os ésteres serão obtidos através da destilação fracionada do biodiesel, cujas frações leves e pesadas serão utilizadas em mistura com o diesel. Os ésteres puros e em mistura serão caracterizados conforme a Resolução ANP N° 50, através dos métodos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e da American Society for Testing and Materials (ASTM). O desempenho do motor será avaliado quanto ao consumo horário/específico e às emissões provenientes da combustão, realizando-se ensaios com formulações com concentração de 10% dos destilados leves e pesados com o diesel. Os dados referentes às emissões serão capturados através de um analisador de gases GreenLine para a detecção de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e fuligem. Já o consumo foi avaliado utilizando-se o motor acoplado a um dinamômetro elétrico equipado com um painel para controle de carga. Serão obtidas curvas de consumo dos combustíveis mantendo-se a rotação do motor e variando-se a potência.

### **Resultados e Discussão**

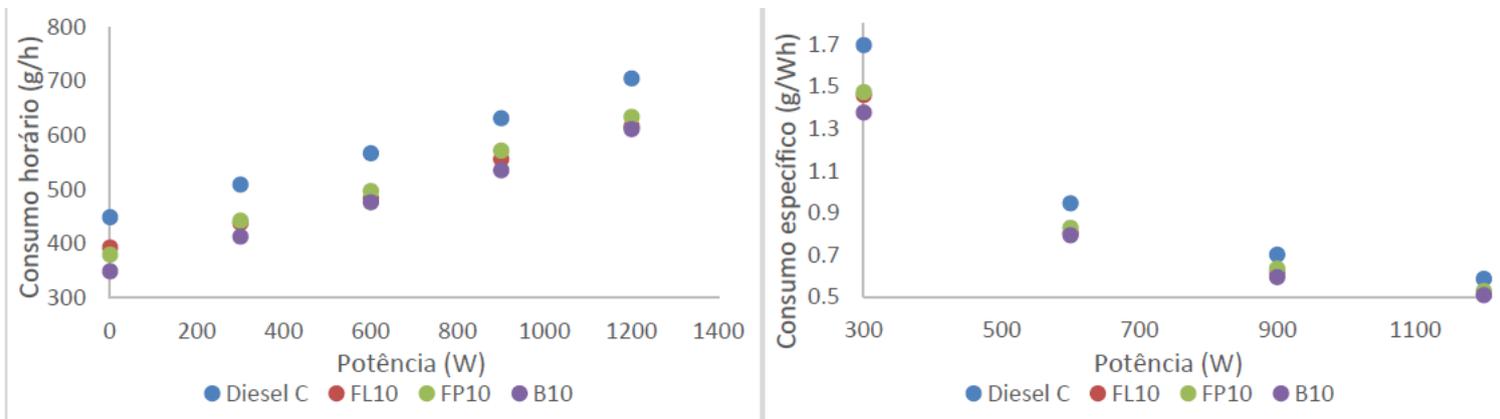
Os ensaios de consumo foram realizados medindo-se o tempo necessário para o consumo de 5 mL de cada combustível, em triplicata, para valores de potência que variaram de 0 a 1200 W. As curvas de consumo horário e consumo específico foram geradas, de acordo com a figura 1.

Observa-se que o consumo horário das formulações aumenta com o aumento da potência dissipada pelo motor e que o consumo das formulações com os ésteres, apesar do menor poder calorífico, foi menos do que o diesel tipo C. Já o consumo específico é um indicativo da eficiência do motor, visto que correlaciona o volume consumido à potência efetiva. Constata-se que o consumo específico para todas as formulações analisadas diminui com o aumento da potência, e ainda que a diferença entre as formulações diminui à medida que a potência aumenta, não havendo alterações significativas de eficiência em relação ao diesel tipo C.

Também foram realizados testes de densidade para o diesel comercial puro, bem como para os destilados leves e pesados puros e em mistura com o diesel C. Os resultados encontrados estão dispostos na Figura 2.

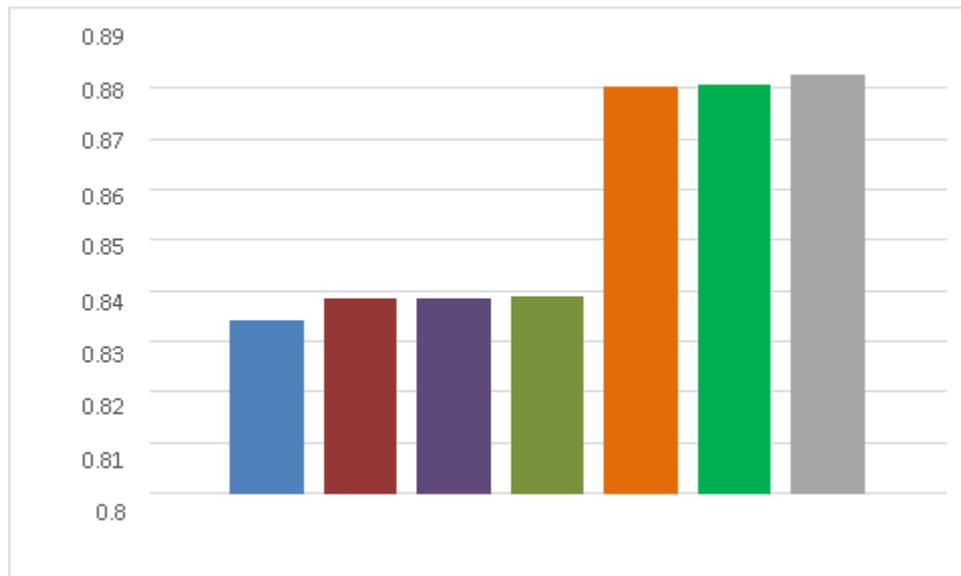
A adição dos ésteres, tanto da fração leve quanto da fração pesada, causou um aumento na densidade do combustível, com uma variação de 0,52% para a fração leve, 0,54% para o biodiesel e 0,56% para a fração pesada. Isso se deve à maior densidade dos ésteres puros, como se percebe na Figura 2.

Figura 1 – Curvas de consumo para misturas de diesel + ésteres a) consumo horário b) consumo específico.



Fonte: Autores

Figura 2 – Curva de densidade para os combustíveis em estudo.



Fonte: Autores

## Conclusões

Este trabalho avalia misturas de ésteres destilados do biodiesel e diesel, de modo a gerar um combustível cujas propriedades finais se adequem ao padrão de desempenho exigido. Verifica-se, através das curvas de consumo horário e específico, que a aditivação do combustível não altera de forma significativa a eficiência do motor, além de aumentar a densidade do combustível, ainda que de forma pouco expressiva.

## Referências Bibliográficas

- [1] DAMANIK, N.; ONG, H. C.; TONG, C. W.; MAHLIA, T. M. I.; SILITONGA, A. S. A review on the engine performance and exhaust emission characteristics of diesel engines fueled with biodiesel blends. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 15307–15325, 2018.
- [2] Jenkins, W.; Munro, M.; Nash, S.; Chuck, C. J. Potential renewable oxygenated biofuels for the aviation and road transport sectors. *Fuel*, 103, 593-599, 2013.

## *Produção de H<sub>2</sub> Verde a partir da Oxidação Eletroquímica de BTX em Reator em Fluxo Conectado a Energia Solar*

*Suelya S. M. Paiva\*; D. Medeiros de Araújo; Eduardo L Barros Neto; Marco A. Quiroz;  
Carlos A. Martínez-Huitle; Elisama V. dos Santos  
Laboratório de Eletroquímica Ambiental Aplicada - LEAA (UFRN)  
\*e-mail: suelyapaiva@live.com*

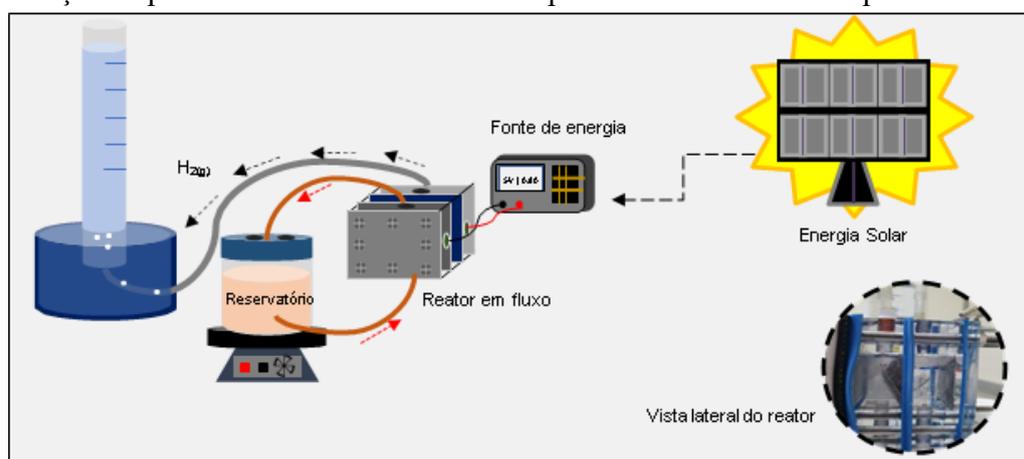
### **Introdução**

De acordo com o último relatório do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), a temperatura do planeta atualmente é cerca de 1.09°C maior que no período de 1850-1900, parte desse valor é causado pela ação antrópica ao longo dos anos, dentre outros motivos pela elevada emissão dos gases do efeito estufa<sup>1</sup>. Somado a isso, a poluição em corpos hídricos, pela exploração de petróleo e vazamentos em tanques de armazenamento, torna a situação mais preocupante devido a presença de hidrocarbonetos aromáticos como o BTX (Benzeno, Tolueno e Xileno), que são extremamente tóxicos a saúde humana. Diante desse contexto, o emprego de um combustível considerado limpo, ambientalmente amigável, e com alto poder energético como o hidrogênio torna-se uma alternativa atrativa, principalmente sendo produzido a partir do processo de eletrólise, onde não há necessidade da queima de combustíveis fósseis<sup>2</sup>. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo produzir gás hidrogênio empregando o processo de oxidação eletroquímica no sistema em fluxo, com degradação simultânea de compostos recalcitrantes como o BTX. A taxa de degradação dos compostos, produção de H<sub>2</sub>(g) e eficiência do sistema foi acompanhada em função do tempo de eletrólise.

### **Metodologia**

Para o desenvolvimento do trabalho, foi empregado um reator em fluxo (Figura 1) utilizando o Diamante Dopado com Boro e uma malha de aço como eletrodo anódico e catódico, respectivamente. Neste caso, os reservatórios anódico e catódico são separados por uma membrana Nafion, que permite apenas a passagem de H<sup>+</sup> (do ânodo para o cátodo), impedindo a mistura de gases (H<sub>2</sub>(g) e O<sub>2</sub>(g)) que são formados ao longo do processo de eletrólise.

Figura 1 – Representação esquemática da célula eletrolítica para o tratamento eletroquímico com produção de H<sub>2</sub>(g).



Fonte: Autores

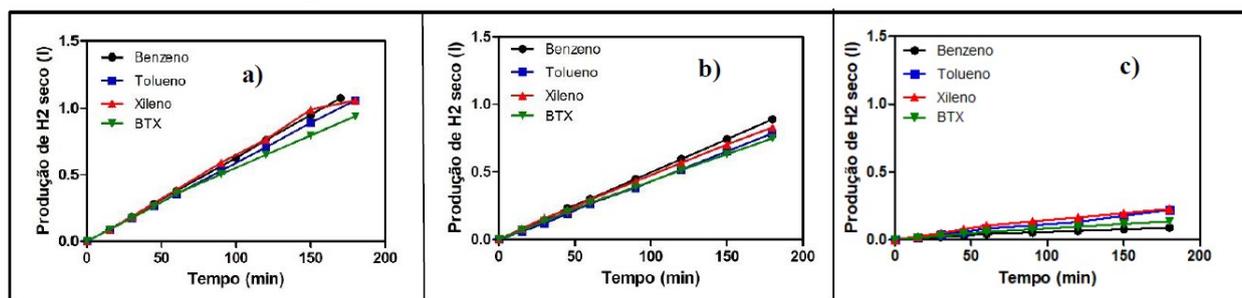
A fim de avaliar a oxidação eletroquímica dos compostos e a produção catódica de H<sub>2</sub>(g), foram realizados 12 experimentos distinguindo no composto a ser degradado (Benzeno, Tolueno, Xileno e BTX) e na densidade de corrente elétrica (15, 45 e 60 mAcm<sup>-2</sup>) aplicada durante 180min de eletrólise. No compartimento anódico foi empregada uma

solução contendo 20 mg L<sup>-1</sup> do composto dissolvido em 0,25 M de ácido sulfúrico, enquanto que no compartimento catódico foi adicionada uma solução eletrolítica contendo 0,25 M de ácido sulfúrico. Conectado ao compartimento catódico, uma mangueira captava e transportava o H<sub>2</sub>(g) para em seguida ser realizado a quantificação. Os experimentos de eletrólise para produção de hidrogênio, foram desenvolvidos acoplado dois módulos fotovoltaicos (FV) de silício policristalino conectados em série com uma potência de pico total de 640Wp<sup>3</sup>.

## Resultados e Discussão

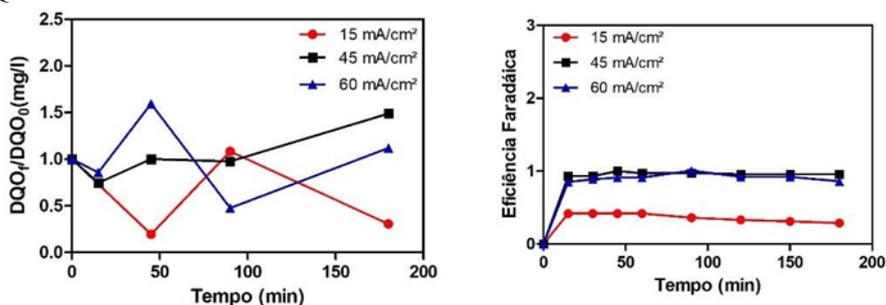
Amostras foram coletadas para analisar a degradação dos compostos ao longo do processo eletroquímico. Neste caso, foram realizadas análises no espectrômetro SP 2000 UV, a fim de que fosse obtido o valor da absorbância, e a análise da Demanda Química de Oxigênio (DQO). Nos experimentos para todos os compostos foi observado um aumento na produção do gás hidrogênio à medida que aumentou a densidade de corrente elétrica (Figura 2). Além disso, foi notado uma maior produção para o composto Xileno (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>) se comparado aos outros compostos, e uma menor produção para a solução com a mistura BTX.

Figura 2 – Produção de H<sub>2</sub>(g) nas diferentes densidades de corrente elétrica: 15(a), 45(b) e 60 mA/cm<sup>2</sup>(c).



Fonte: Autores

Figura 3 – DQO e Eficiência faradáica do Benzeno nas diferentes densidades de corrente elétrica.



Fonte: Autores

Em relação a DQO (Figura 3), é observado nos primeiros minutos uma queda na quantidade do composto, seguido por um aumento que está relacionado a formação de intermediários ao longo da reação. Além disso, um aumento da eficiência de transferência de carga é observado nas maiores densidades de corrente.

## Conclusões

Através do estudo realizado, conclui-se que o processo eletroquímico foi capaz de promover simultaneamente a degradação dos compostos e a produção de hidrogênio. O processo se mostrou eficiente nas três densidades de corrente elétrica avaliadas, destacando uma maior produção e degradação na maior densidade de corrente.

## Referências Bibliográficas

- [1] Change (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press.2021
- [2] Brillas, E. Journal of the Brazilian Chemical Society, 2013. <http://dx.doi.org/10.5935/0103-5053.20130257>.
- [3] Henrique, J.M.M., et al. J Chem Technol Biotechnol 94, 9, p. 2999-3006, 2019. <https://doi.org/10.1002/jctb.6110>.

## *Obtenção de Biodiesel Utilizando Solventes Eutéticos Profundos – Parte IV*

*J. Demétrio N. Cavalcante\*; Camila G. P. Courtial; Osvaldo Chivone-Filho*

*Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*e-mail: jdncavalcante@gmail.com*

### **Introdução**

O consumo de combustíveis vem aumentando desde o fim do século XIX e o uso do petróleo como principal fonte de energia e como matéria prima para a fabricação de uma infinidade de produtos, aqueceu de modo exponencial o seu processo de extração e também de seu próprio consumo. O tratamento desse tipo de material tem sido, de modo geral, descuidado, resultando em fortes impactos negativos no meio em que é manipulado. Dentre os principais produtos resultantes do fracionamento do petróleo, temos o óleo diesel, que é amplamente utilizado como fonte combustível de motores de caminhões e aeronaves. Como forma de incentivar a diminuição desses compostos nocivos, o uso de meios combustíveis alternativos se torna essencial num processo de transição para uma economia mais verde. Dentre esses compostos temos o biodiesel, que é um óleo diesel produzido por meio de óleos de origem não mineral, geralmente extraídos de sementes de frutos ricos em óleos ou de gordura animal, passando por meio de um tratamento químico com álcool. Esse processo de obtenção do óleo diesel por meio de óleos permite que o biodiesel não possua componentes sulfurados comuns do óleo diesel obtido do petróleo. Os materiais utilizados atualmente como catalisadores das reações de transesterificação são produtos químicos comuns, ácidos e bases, que podem sofrer uma série de ciclos dentro do processo, entretanto parte desses materiais são removidos como rejeitos. Essa saída juntamente com os rejeitos é preocupante devido ao destino que é dado, sendo produtos nocivos ao meio ambiente ou podendo ser prejudiciais em outros processamentos. Em adição, os processos usuais dificultam as etapas de purificação do biodiesel. A partir dessa problemática surge a necessidade de produtos alternativos para realizarem as mesmas funções, que possuam a capacidade de corrigir os problemas supracitados. Partindo disso, pesquisas voltadas ao desenvolvimento de técnicas de aproveitamento de resíduos de biomassa se tornam imprescindíveis. Assim o uso de novos materiais, mais baratos e, ambientalmente corretos, que consigam atingir os objetivos nos processamentos de biodiesel se torna bastante atrativo. Nesse aspecto, surgem novos métodos de produção, como o uso de Solventes Eutéticos Profundos Sintéticos (DES) como meios solventes e catalisadores das reações. Este estudo possui como propósito a análise da produção de biocombustíveis por meio da utilização de solventes eutéticos profundos, como meio catalisador da reação, bem como os principais fatores que influenciam o processo assim como as características de algumas características comuns.

### **Metodologia**

Por meio de uma primeira etapa de estudos e pesquisas determinou-se que o trabalho a ser desenvolvido teria como base a produção do biodiesel com um DES formado por brometo de metil trifetilfosfônio com etilenoglicol, que apesar da presença do grupo fenil o composto é biodegradável. A segunda etapa consiste na escolha e preparação dos solventes eutéticos profundos em laboratório assim como sua posterior caracterização de suas propriedades físico-químicas. Por meio dos estudos analisados, as metodologias utilizadas por Hayyan [1] e Mjalli [2] foram selecionadas para os estudos da caracterização térmica e físicas para o DES formado. Na etapa seguinte o DES será aplicado na reação de transesterificação do álcool etílico com o óleo vegetal de soja. Como meio de obter-se uma melhor otimização do processo reacional, um estudo desse comportamento será realizado para avaliar os seguintes parâmetros: a temperatura da reação, o pH, a quantidade de catalisador e razão molar óleo/álcool,

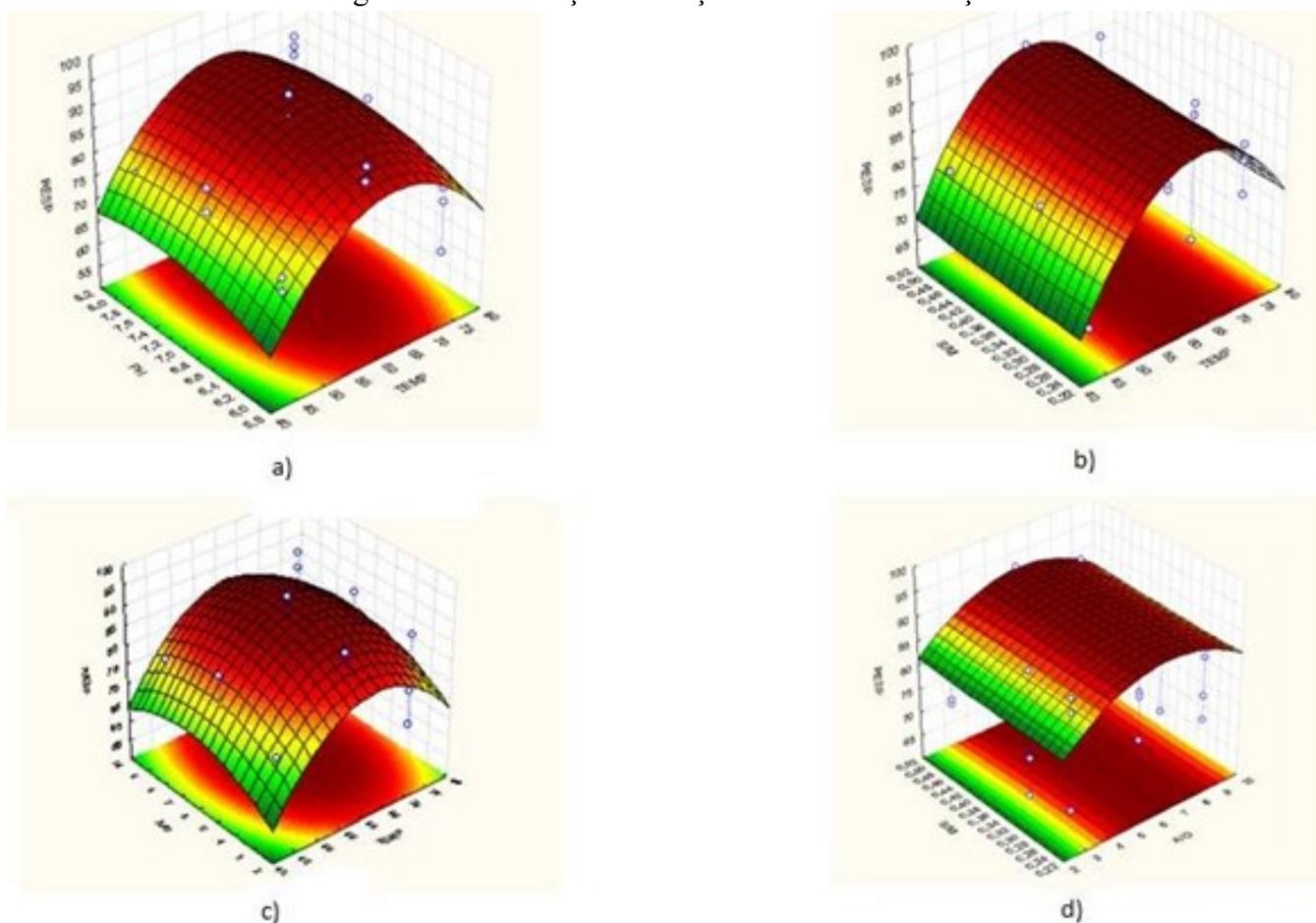
a razão de catalisador; estudo realizado por intermédio de um planejamento fatorial em duplicata já proposto. O

biodiesel obtido pelo planejamento será analisado e caracterizado em relação às suas propriedades físico-químicas para analisar sua posterior viabilidade para uso comercial seguindo as normas exigidas pela ANP.

## Resultados e Discussão

Os primeiros resultados, referente à etapa de otimização da reação, realizados em ambiente controlado e sob observação da eficiência da produção a partir dos reagentes, podemos observar, por meio da figura 1, que existe uma convergência da eficiência ao se analisar os diferentes fatores. Os gráficos 1.a; 1.b; 1.c e 1.d representam a eficiência na produção com pH x temperatura; razão sal/MEG x temperatura; razão álcool/óleo x temperatura e razão sal/MEG x razão álcool/álcool; respectivamente.

Figura 1 – Otimização da reação de transesterificação.



Fonte: Autores

A convergência desses dados nos fornece um ponto de otimização, encontrado em uma temperatura de 60 °C; pH de 7,5; razão sal/MEG de 1/3 e razão álcool/óleo de 6,5 em massa. O estudo do comportamento da densidade também foi realizado.

## Referências Bibliográficas

- [1] HAYYAN, A. et al. Glucose-based deep eutectic solvents: Physical properties. *Journal of Molecular Liquids*, v. 178, p. 137–141, 2013.
- [2] MJALLI, F. S. et al. Monoethanolamine-based deep eutectic solvents, their synthesis and characterization. *Fluid Phase Equilibria*, v. 448, p. 30–40, set. 2017.

## *Atividade Fotocatalítica da Nanoestrutura $\text{CoFe}_2\text{O}_4:\text{TiO}_2$ para Degradação de Contaminantes Orgânicos*

*Samuel B. F. Santos\*; Luana R. Hollanda; Júlia G. A. A. Faustino; Edson L. Foletto; Osvaldo Chiavone-Filho*  
*Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*e-mail: samuelbritof@gmail.com*

### **Introdução**

Um dos principais poluentes dos ecossistemas aquáticos são os contaminantes emergentes (fármacos, cosméticos e defensivos agrícolas) e os contaminantes orgânicos persistentes. Esta segunda classe de contaminantes é definida como compostos que apresentam elevada estabilidade, não sendo possível (ou de difícil) degradação via processos biológicos, podendo apresentar caráter bioacumulativo (ANGELIS et al., 2021). Os principais representantes dos contaminantes orgânicos persistentes são os corantes, pesticidas e o fenol, este último também resultante dos processos de exploração e refino da indústria de petróleo.

O método de fotoquímica heterogênea, ou fotocatalise, consiste em um processo oxidativo avançado que ocorre com a aceleração das reações fotodirigidas em função da utilização de um semicondutor que atua como catalisador. O fotocatalisador absorve os fótons provenientes da fonte luminosa, gerando um par elétron-vacância ( $e^-H^+$ ) que são responsáveis pela geração de novos radicais oxidantes ou reagem diretamente com as moléculas adsorvidas na superfície do material, para formar novos compostos (VAIANO et al., 2020).

Desta forma, este trabalho teve por objetivo sintetizar e caracterizar a nanoestrutura de  $\text{CoFe}_2\text{O}_4:\text{TiO}_2$ , com características magnéticas, além de avaliar a sua atividade fotocatalítica na degradação do contaminante orgânico modelo erionyl vermelho A-3G.

### **Metodologia**

A nanoestrutura  $\text{CoFe}_2\text{O}_4:\text{TiO}_2$  foi sintetizada por rota solvotérmica, utilizando como precursores metálicos  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , na razão 1:2 mmol, e  $\text{TiO}_2$  equivalente a 90% (m/m). Os precursores foram dissolvidos em 120 mL de etilenoglicol, seguido da adição de 23,7 mmol de acetato de sódio ( $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ). A síntese ocorreu em autoclave de aço inox e revestimento de teflon a 200 °C por 15 h em estufa. Os materiais foram caracterizados por difração de raios X (DRX), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), distribuição granulométrica, espectroscopia de reflectância difusa e análise textural (BET).

A atividade fotocatalítica foi avaliada em um reator anular composto por uma lâmpada UVC (vapor de mercúrio, 250 W), inserida em um poço de quartzo, acoplada a um tanque de borossilicato com capacidade para 1L de volume reacional, como esquematizado na Figura 1. Tanto o poço de quartzo, quanto o tanque, tiveram suas temperaturas mantidas por um banho termostático a 20 °C. O ensaio foi realizado em pH inicial 2 e 1,0 g/L do catalisador. Todo o aparato foi mantido em uma caixa fechada para isolamento de fontes luminosas externas.

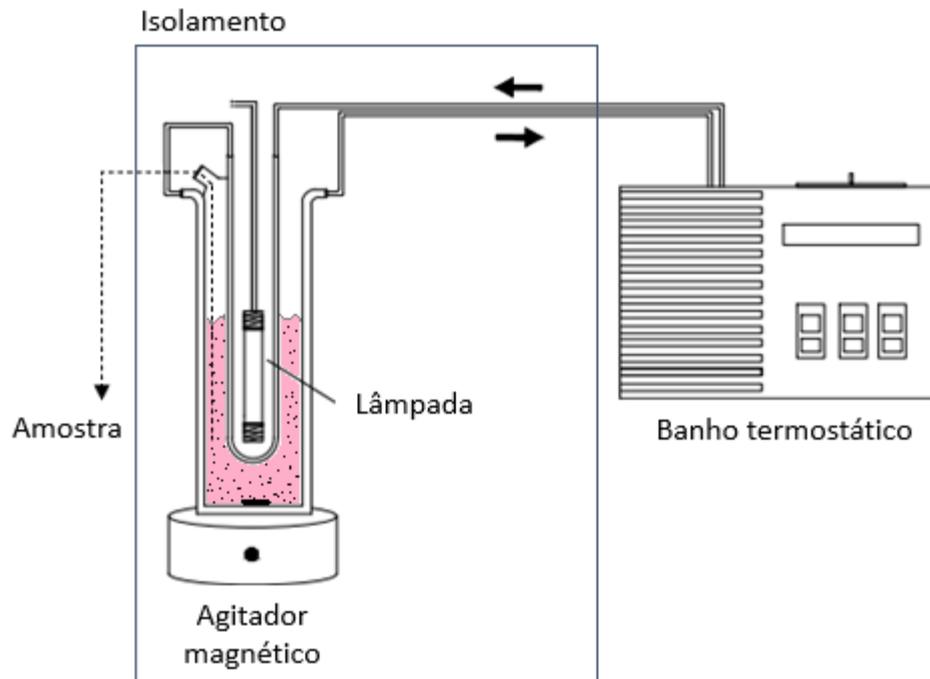
O acompanhamento das concentrações do poluente foi feito empregando a técnica de espectrofotometria UV-Vis no comprimento de onda de absorbância máxima (522 nm).

### **Resultados e Discussão**

Os difratogramas identificaram a síntese das nanoestruturas com a anatase como fase principal e  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  como segunda fase. Os espectros confirmaram a formação do espinélio e da ligação metal-oxigênio do  $\text{TiO}_2$ . A distribuição granulométrica revelou a escala nanométrica das NPMs sintetizadas e as dimensões da nanoestrutura preparada com o  $\text{TiO}_2$ . A ferrita de cobalto apresentou absorção em todo o espectro UV-Vis, o  $\text{TiO}_2$  apresentou absorção apenas na região UV e a heterojunção ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4:\text{TiO}_2$ ) exibiu a contribuição da ferrita no aumento da absorção para a região visível. Os materiais apresentaram um *band gap* óptico de 2,75 eV. A análise textural indicou a formação de uma

nanoestrutura mesoporosa, com área superficial de 6,34 m<sup>2</sup>/g e volume de poros de 0,04 cm<sup>3</sup>/g. Os ensaios fotocatalíticos exibiram o potencial das nanoestruturas sintetizadas para a degradação do contaminante orgânico, alcançando 100% da degradação em até 60 min.

Figura 1 – Reator anular para os ensaios fotocatalíticos (Adaptado de Hollanda et al. 2021).



Fonte: Autores

## Conclusões

As nanoestruturas CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:TiO<sub>2</sub> apresentaram potencial para degradação de contaminantes orgânicos, com características magnéticas e possibilidade para futuros testes no tratamento de efluentes da indústria de petróleo.

## Referências Bibliográficas

- [1] ANGELIS, M.; SCHRAMM, K.. Perinatal effects of persistent organic pollutants on thyroid hormone concentration in placenta and breastmilk. *Molecular Aspects of Medicine*, 2021.
- [2] VAIANO, V.; SANNINO, D.; SACCO, O.. The use of nanocatalysts (and nanoparticles) for water and wastewater treatment by means of advanced oxidation processes. In: AMRANE, A.; RAJENDRAN, S.; NGUYEN, T. A.; ASSADI, A. A.; SHARABA, A. M.. *Nanotechnology in the beverage industry*, Elsevier, 2020
- [3] HOLLANDA, L. R.; SANTOS, S. B. F.; FAUSTINO, J. G. A. A.; DOTTO, G. L.; FOLETTO, E. L.; CHIAVONE-FILHO, O.. Oil field-produced water treatment: characterization, photochemical systems, and combined processes. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 52744-52763, 2021.

***Controle Inteligente de Sistemas Mecatrônicos***

***Prof. Wallace Moreira Bessa\****

***Universidade Federal do Rio Grande do Norte***

***\* e-mail: wmbessa@ct.ufrn.br***

Nos últimos anos, temos testemunhado o surgimento de muitos dispositivos inteligentes. Robôs aspiradores de pó, lavadoras inteligentes e veículos autônomos, só para citar alguns, são exemplos de como os sistemas mecatrônicos inteligentes estão se tornando parte intrínseca de nossas vidas diárias. Grosso modo, esse tipo de dispositivo deve coletar dados por meio de sensores para agir e/ou tomar decisões em um ambiente de incertezas e informações imperfeitas. Nesse sentido, um sistema inteligente precisa de um esquema de controle que seja capaz de aprender e se aprimorar interagindo com o ambiente. Nesta palestra, abordarei o projeto de sistemas de controle para sistemas inteligentes e mostrarei que além de proporcionar melhor desempenho, eles também podem ser mais sustentáveis. Serão também destacadas algumas aplicações na indústria do petróleo.

## *Projeto Mecânico de Estrutura para Medição de Força de um Atuador Eletro-Hidráulico e Calibração de sua Respectiva Célula de Carga*

*Lidiane Rodrigues Carvalho\**; *Wallace Moreira Bessa*  
*Laboratório de Manufatura – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*  
*\*e-mail: lidi\_diane@hotmail.com*

### **Introdução**

A avaliação experimental de uma técnica de controle tem por objetivo principal comprovar a viabilidade da implementação prática da estratégia proposta, permitindo que tal tecnologia possa ser adequadamente transferida do ambiente acadêmico para o industrial. Desta maneira, após o desenvolvimento de um algoritmo de controle de força para um atuador eletro-hidráulico e suas respectivas simulações numéricas, torna-se interessante a aplicação do método sobre um sistema real. Todavia, a bancada experimental disponível para a realização dos testes, apresentada em [1], não dispõe de um suporte adequado para inserção de uma célula de carga, transdutor utilizado para aferir o parâmetro de controle, a força. Assim, propõe-se o projeto de uma estrutura que contém todo o aparato necessário para possibilitar a medição segura e eficaz dos esforços produzidos pelo atuador. Ademais, para que a avaliação experimental do controle ocorra com sucesso, realiza-se a calibração do sensor de carga, a fim de que o comportamento do mesmo seja bem delineado e ajustado ao padrão que se espera durante os testes, garantindo que a última etapa do desenvolvimento do método de controle seja devidamente consolidada.

### **Metodologia**

A bancada experimental do sistema eletro-hidráulico consta no Laboratório de Manufatura da UFRN e pode ser visualizada pela Figura 1. Para medição de força do atuador, fixado em uma placa de alumínio, é necessário que o cabeçote do mesmo, acoplado por rosca na extremidade da haste, esteja concêntrico com a célula de carga, de modelo cilíndrico LCM 304 da *Ômega Engineering* com capacidade máxima de medir 5000 N, cujo ponto de sensibilidade se localiza em um ressalto na superfície, conforme também exibido pela Figura 1. Para que isto se torne possível, propõe-se a criação de um sistema composto por: 1) um perfil L, onde um lado é ajustado na placa e o outro acopla o sensor; 2) um case e respectiva tampa para que tal célula se mantenha estática durante os testes; 3) duas massas cilíndricas, uma para exercer pressão sobre o sensor e outra correspondendo a um novo cabeçote para o atuador, de modo a transmitir a força exercida pelo mesmo ao restante do sistema; 4) uma mola, que conecta ambas as massas e permite que o parâmetro de controle incremente conforme avanço do atuador e decamente conforme o retorno e 5) um conjunto de quatro guias que sustenta a estrutura e associa seus componentes, por onde tanto o pressionador como o cabeçote têm possibilidade de se deslocar. No que se refere à calibração do sensor, é utilizado um esquema já pronto localizado no mesmo laboratório que permite a imposição de diferentes valores de massas sobre a célula. Dessa forma, o gráfico gerado de sua leitura pode ser interpolado e ajustado a uma reta de modo a permitir que tal sensor retorne valores equivalentes ao peso imprimido. Para que o parâmetro lido seja transformado em esforço, na unidade de N, conforme o objetivo desde trabalho, multiplica-se o mesmo pela aceleração da gravidade local, isto é,  $g = 9,781 \text{ m/s}^2$ . É válido salientar que as massas utilizadas nesta etapa correspondem a anilhas de 5 kg, como as mesmas são organizadas no esquema de par em par, os valores utilizados são de, respectivamente, 10 kg, 20 kg e 30 kg. O suporte para calibração é exibido pela Figura 2, evidenciando o uso de um microcontrolador Arduino como sistema de aquisição dos dados.

### **Resultados e Discussão**

A Figura 3 ilustra o modelo projetado para estrutura de medição de força do atuador, os itens que correspondem a elementos de fixação do suporte à placa, ao conjunto de hastes que compõe as guias e à mola puderam ser adquiridos

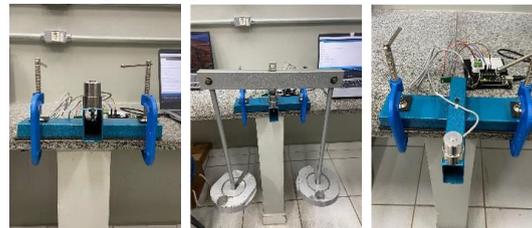
sem o auxílio de processos de fabricação. Em contrapartida, tanto o perfil L, como o case e sua tampa e ambas as massas cilíndricas se encontram em fase de manufatura, sendo as matérias primas barras e tarugos de aço 1020. Ademais, o gráfico mostrado pela Figura 4 se refere à curva de calibração obtida diante dos testes realizados com a célula. Na equação da reta advinda do modelo,  $x$  é o valor medido pelo sensor e  $y$  corresponde a tal valor já ajustado para que o esforço imposto e o aferido sejam equivalentes.

Figura 1 - Bancada do sistema eletro-hidráulico (à esquerda) e a célula de carga (à direita).



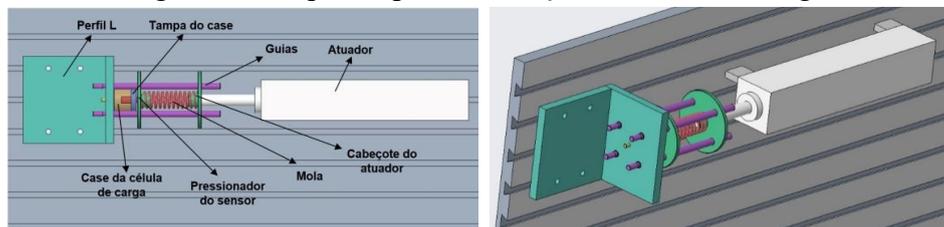
Fonte: Autores

Figura 2 – Esquema para calibração da célula de carga.



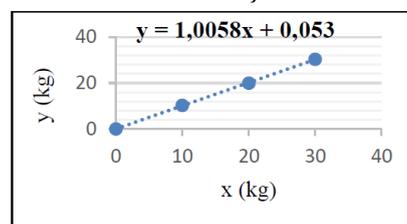
Fonte: Autores

Figura 3 – Esquema para calibração da célula de carga.



Fonte: Autores

Figura 4 – Curva de calibração da célula de carga.



Fonte: Autores

### Conclusões

Para validação experimental de um algoritmo de controle relacionado a um sistema eletro-hidráulico, tornou-se necessário o auxílio de uma estrutura capaz de configurar o sensor à bancada experimental. Estando o projeto mecânico da mesma em fase de desenvolvimento e tendo sido finalizada a calibração de tal sensor, almeja-se a consolidação da avaliação do controlador, de modo a garantir sua aplicabilidade industrial.

### Referências Bibliográficas

- [1] AZEVEDO, G. O. A. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecatrônica, 141 p., UFRN, Natal, 2016.
- [2] CUSTÓDIO, R. A. R. Tese (Doutorado) – Engenharia Mecânica, 126 p., UNESPE, Guaratinguetá, 2011.

## *Manufatura de um Manipulador Flexível Destinado à Indústria do Petróleo e Gás*

*Stephanie G. de Moraes\*; Kelly K. R. da Paz Rodrigues; Adilson J. de Oliveira  
Laboratório de Manufatura – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*

*\*e-mail: stephanie-gm@hotmail.com*

### **Introdução**

A automação de processos na indústria do petróleo e gás permite o aumento da taxa de produção e a realização de atividades com maior segurança. Atividades como deslocamento de cargas perigosas, movimentação precisa e correta de ferramentas, separação de itens em linhas de produção são típicas demandas para os manipuladores robóticos. Um manipulador robótico tem a capacidade de movimentar objetos devido à associação de um sistema mecânico a um sistema de controle. Existem dois grupos de manipuladores robóticos: os rígidos e os flexíveis. Os manipuladores flexíveis são uma alternativa para aumentar a velocidade de manipulação e a redução da potência demandada. Esse grupo é caracterizado pela existência de deformações elásticas durante os movimentos operacionais, o que dificulta o controle do sistema. O setor de exploração de petróleo e gás tem utilizado manipuladores robóticos flexíveis em locais de difícil acesso (como grandes profundidades ou com atmosfera contaminada), e eles são normalmente associados a veículos submarinos ou terrestres operado remotamente (Sciavicco e Siciliano, 2000, Huang et al., 2018, Meng et al., 2018, Sharma et al., 2015, García-Valdovinos et al., 2014). Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo é desenvolver um manipulador robótico flexível com dois graus de liberdade com a otimização do projeto desenvolvido previamente por Porto (2019). As principais atividades envolvem a mudança no sistema de transferência de potência e criação de um novo sistema de controle para gerenciar dois graus de liberdade simultaneamente.

### **Metodologia**

Este trabalho é realizado com o objetivo de continuar os estudos sobre o desenvolvimento e controle de manipuladores robóticos com elos flexíveis. O projeto está dividido em cinco fases: a) revisão da literatura; b) o projeto conceitual e projeto mecânico detalhado; c) a manufatura e montagem; d) desenvolvimento de hardware e software para controle; e) testes funcionais.

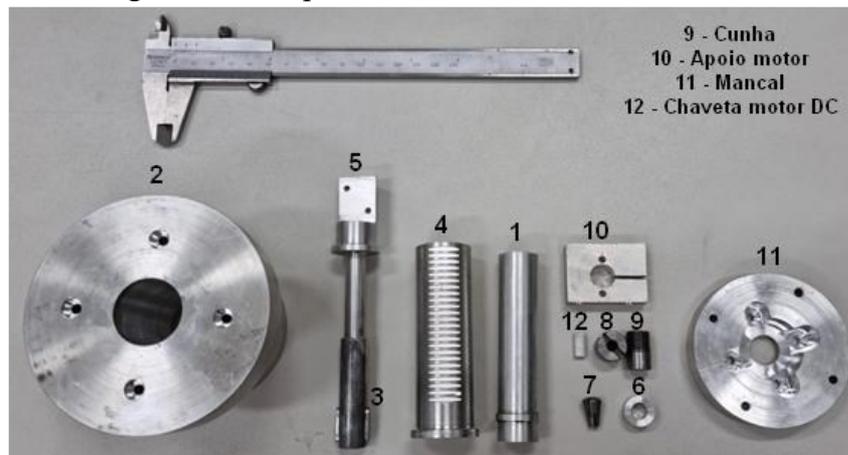
As atividades dessa etapa se concentraram nas fases de desenvolvimento (b) e (c). Inicialmente, foram adotadas estratégias para a redução de folgas mecânicas no sistema de movimentação e para introduzir um novo grau de liberdade. Para o desenvolvimento do projeto, a modelagem foi desempenhada no software Creo Parametric (versão acadêmica). A segunda etapa, compreendeu na manufatura e análise dimensional dos componentes mecânicos. Todos os equipamentos e materiais estavam disponíveis no Laboratório de Manufatura (LABMAN) da UFRN.

### **Resultados e Discussão**

A manufatura dos componentes mecânicos partiu de barras de liga de alumínio 6061, aço 1045 e aço 1020. Todos os tarugos passaram pela operação de desbaste, que se estendeu próximo as dimensões estabelecidas por cada peça. A partir das estratégias de usinagem, as ferramentas necessárias e as operações de torneamento, fresamento, aplainamento e furação foram determinados para a fabricação de cada componente do sistema. A Figura 1 mostra os componentes mecânicos que foram manufaturados.

Além disso, a fim de atender os requisitos do projeto, todos os componentes passaram por uma análise dimensional com os instrumentos de medição, durante e após a manufatura. Essas dimensões inspecionadas são críticas para a montagem e o funcionamento do sistema mecânico. A Tabela 1 mostra uma média de cinco medições realizadas após a manufatura de cada componente, assim como as referências das tolerâncias.

Figura 1 – Componentes mecânicos manufaturados.



Fonte: Autores

Tabela 1 - Média de cinco medições após a manufatura de cada componente e as referências das tolerâncias.

Ítem	Peça	Referência (mm)	Média das medições (mm)	Ítem	Peça	Referência (mm)	Média das medições (mm)
1	Bucha	$\varnothing 20_{-0,03}^0$	19,99	4	Cremalheira	$\varnothing 22_0^{+0,5}$	22,01
		$\varnothing 22_{-0,2}^{-0,1}$	21,86			$\varnothing 28_{-0,4}^{-0,2}$	27,77
		$\varnothing 13,5_0^{+0,05}$	13,51			$\varnothing 33_{-0,2}^{-0,1}$	32,88
		$5_0^{+0,05}$	5,02			$\varnothing 20_0^{+0,05}$	19,96
2	Capa	$\varnothing 33_0^{+0,1}$	33,05	5	Eixo interno	$5_0^{+0,05}$	5,03
		$\varnothing 55_0^{+0,2}$	55,16			$\varnothing 13,5_{-0,03}^0$	13,48
		$\varnothing 28_0^{+0,1}$	28,01			$17_0^{+0,2}$	16,83
3	Chaveta eixo interno	$17_{-0,3}^{-0,1}$	16,7	6	Espaçador	$\varnothing 8_0^{+0,02}$	8,01
		$5_{-0,05}^{-0,02}$	4,98	7	Pinça	$\varnothing 4_0^{+0,05}$	4,01
		$4 \pm 0,05$	4,01	8	Porca porta pinça	$\varnothing 8_0^{+0,02}$	8,01

## Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, pôde concluir que, apesar da manufatura estar em andamento, os componentes que passaram pelo processo de usinagem atingiram os requisitos do projeto. Dessa forma, as próximas etapas são: concluir a manufatura, realizar a montagem dos componentes e desenvolver os testes funcionais.

## Referências Bibliográficas

- [1] SCIAVICCO, L.; SICILIANO, B. Modelling and Control of Robot Manipulators. Springer, London, 2000. [2] HUANG, He et al. Mechanism design and kinematic analysis of a robotic manipulator driven by joints with two degrees of freedom (DOF). Industrial Robot: An International Journal, 2018.
- [3] MENG, Deshan et al. Dynamic modeling and vibration characteristics analysis of flexible-link and flexiblejoint space manipulator. Multibody System Dynamics, v. 43, n. 4, p. 321-347, 2018.
- [4] SHARMA, Richa; GAUR, Prerna; MITTAL, A. P. Performance analysis of two-degree of freedom fractional order PID controllers for robotic manipulator with payload. ISA transactions, v. 58, p. 279-291, 2015.
- [5] Porto, D. R. Projeto e construção de um manipulador flexível utilizando barra instrumentada com acelerômetro. Relatório de Iniciação Científica. 3 ° Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica da UFRN, 2019. Disponível em: <http://www.cic.propesq.ufrn.br/index.php>. Acesso em 15 de maio de 2019.

## *Construção e Instrumentação de um Esclerômetro Pendular de Passe Único para Avaliação de Lubrificantes*

*Uellen Nicolete Silva\**; *Anderson Clayton Alves de Melo*  
*Laboratório de Manufatura – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*  
*\*e-mail: u.nicolete@gmail.com*

### **Introdução**

O uso de lubrificantes pode minimizar o desgaste em ferramentas de corte usadas nas diversas operações de usinagem. De forma geral, os fluidos de corte, atuam melhorando o desempenho da ferramenta, seja diminuindo seu desgaste ou dissipando o calor gerado na formação do cavaco. No ensaio de esclerometria pendular de passe único é possível simular as condições de uma operação de usinagem de uma forma simples e confiável [1]. Com o ensaio de esclerometria pendular é possível investigar variáveis como a dureza e a taxa de escoamento do material riscado, além da temperatura desenvolvida no teste [2]. A medição dessas variáveis permite a investigação de diversas condições de lubrificação. O funcionamento de um esclerômetro pendular consiste na liberação do pêndulo de uma determinada altura e energia potencial [3]. No pêndulo é fixado um penetrador capaz de gerar um risco na amostra fixada no ponto mais baixo de sua trajetória. O risco gerado é realizado com um penetrador de geometria de baixa complexidade e com uma profundidade de corte predeterminada. A força de corte desenvolvida durante o ensaio de esclerometria pendular pode ser decomposta em uma componente normal e outra tangencial à superfície da amostra. Com as componentes da força de corte é possível calcular três variáveis que refletem as condições do ensaio, sendo elas a energia específica de riscamento, definida como o trabalho realizado pela componente tangencial da força de riscamento por unidade de massa removida, a dureza dinâmica de riscamento, definida como o trabalho realizado pela componente normal por volume de massa perdida e o coeficiente de atrito, definido como sendo a razão entre as componentes tangencial e normal da força de riscamento. Assim, os principais objetivos deste trabalho são construir e instrumentar um esclerômetro pendular de passe único a partir de um equipamento semelhante àquele usado em ensaios de impacto, que seja capaz de fornecer os valores das componentes da força de riscamento, da energia específica consumida, dureza dinâmica e coeficiente de atrito produzidos durante o ensaio.

### **Metodologia**

#### *Adequações físicas*

O esclerômetro em desenvolvimento partiu de um equipamento que já se encontrava no Laboratório de Manufatura da UFRN. A partir dele, fez-se toda a avaliação inicial para adaptá-lo ao esclerômetro pretendido. Assim, fez-se a separação das peças que não seriam necessárias, daquelas que seriam aproveitadas.

#### *Instrumentação*

A instrumentação do esclerômetro proposto, está sendo realizada a partir de transdutores do tipo extensômetros com capacidade de 5000 N (LCM 304 da *Ômega Instruments*), conectados a amplificadores JY-S60 da *Calt* com sensibilidade de 2 mV/V e ao módulo de aquisição de dados *MyDAQ* da *National Instruments*. Para a programação e leitura dos sinais produzidos pelas células de carga, está sendo utilizado o módulo *Daq Assistant* do *software LabVIEW* 2019 versão estudantil, também da *National Instruments*.

### **Resultados e Discussão**

#### *Estrutura mecânica*

A Fig. 1 mostra a situação atual da estrutura mecânica do esclerômetro. Nota-se que a mesma foi pintada e a mesa, onde foi montada o porta-amostra, foi fixada à base da estrutura.

Figura 1 – Esclerômetro parcialmente modificado e montado.

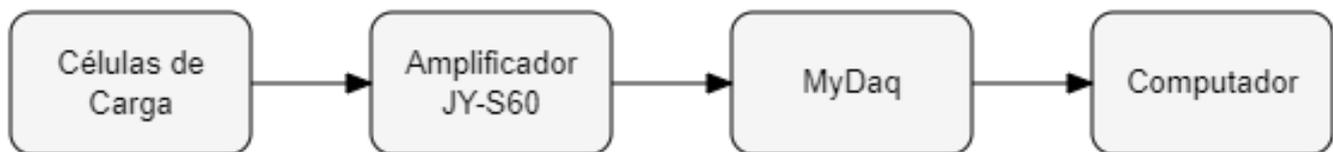


Fonte: Autores

### Instrumentação

A Fig. 2 mostra o esquema de montagem do circuito de aquisição de dados que está sendo aperfeiçoado. Nota-se que foi inserido o amplificador de sinal JY-S60.

Figura 2 – Circuito de aquisição de dados.



Fonte: Autores

### Referências Bibliográficas

- [1] SOUZA, J. R. Desenvolvimento de compósitos tribologicamente eficazes. 2015. 192 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2015.
- [2] Buttery T. C, Archard J. F. Grinding and Abrasive Wear. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. 1970;185(1):537-551. doi:10.1243/PIME\_PROC\_1970\_185\_058\_02. Acesso em 23 set. 2021.
- [3] FINZI, M. B. A. et al. avaliação de fluidos de corte em ensaios de esclerometria pendular. In: IX CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2016, Rio de Janeiro, Brazil. Anais [...]. Rio de Janeiro, Brazil: Abcm Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2016.

## *Modelagem da Propagação de Ruídos em Parques Eólicos*

*Gladson F. P. da Silva\**; *Adilson J. de Oliveira*; *Antônio M. de Medeiros*; *Raniere Rodrigues*  
*Laboratório de Manufatura – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*

*\*e-mail: gladson.pinhoeiro.silva@gmail.com*

### **Introdução**

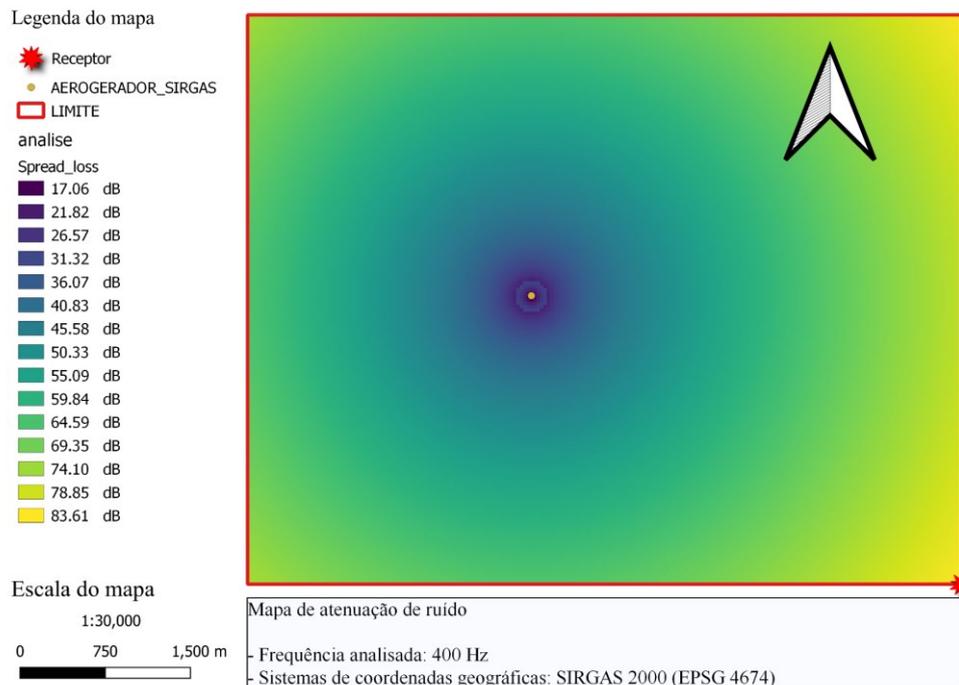
A energia eólica é uma alternativa que tem crescido nos últimos vinte anos, tornando-se uma das principais fontes de energia renovável. Segundo a ANEEL [1], atualmente o Brasil tem capacidade instalada de cerca de 18 GW e possui 732 usinas. A maturidade do setor eólico no Brasil carrega consigo a necessidade de conhecimento e desenvolvimento de tecnologias adequadas à realidade do mercado brasileiro. Nos últimos anos, junto com o seu crescimento considerável, aumentou a necessidade da medição de ruídos emitidos pelos parques eólicos, isso se dá porque, além de tal medição ser um fator normativo para a implementação de um parque. É possível observar que as primeiras áreas adquiridas por leilões estavam situadas em lugares mais distantes das cidades, ainda assim, a emissão de ruídos era capaz de afetar a vida animal. Os parques eólicos estão sendo construídos mais próximos das áreas urbanas, o que, logisticamente, se mostra como alternativa de maior viabilidade, devido ao fato de tais áreas estarem mais próximas de infraestruturas de transportes e de transmissão e distribuição de energia. As simulações de propagação de ruído e suas tecnologias envolvidas têm um papel indispensável para o crescimento sustentável deste ramo. O *software ArcGIS* [2] surge como o estado da arte no que diz respeito a tais simulações, isso porque o mesmo conta com uma ferramenta adequada para este fim, chamada *SPreAD-GIS* [3]. No entanto, tal *software* é de uso prioritário, contendo assim um alto custo para a sua obtenção. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma nova alternativa para a área de simulação de propagação de ruído em parques eólicos, a partir do *software* livre *QGIS* [4]. Isso se dá pela criação de um *Script* na linguagem Python [5] que, no final, resultará em um *script* capaz de melhorar a oferta de tal serviço, fornecendo a mesma qualidade de simulação proposta pelo *ArcGIS* [2], aplicada, especificamente, a parques eólicos. O modelo de simulação oferecido pelo *SPreAD-GIS* [3] se mostra confiável, além de não demandar elevado custo computacional, ele permite simular a propagação de ruído de modo a levar em conta a influência do espalhamento esférico, da absorção atmosférica, da folhagem, a direção do vento e das características do terreno. Até o presente momento da pesquisa, foi desenvolvido um *script* que posteriormente será utilizado para a criação de um *plugin* com uma abordagem mais voltada para fins comerciais. Tal *script* já é capaz de gerar resultados contabilizando os efeitos do espalhamento esférico, absorção atmosférica, perda devido a vegetação e perda devido às barreiras topográficas sobre a propagação sonora.

### **Metodologia**

Para a realização da pesquisa, foi necessária uma série de treinamentos que serviram de embasamento teórico, agregando na revisão bibliográfica. Entre os treinamentos realizados estão: Treinamento na linguagem Python [4], treinamento no *Software ArcGIS* [2], treinamento no *Software QGIS* [4], além de leitura de artigos científicos sobre o tema da avaliação e simulação da propagação de ruído. Para a elaboração do *script*, primeiramente, foi feita uma análise do *script* do *SPreAD-GIS* [3], com auxílio do seu manual [6], buscando compreender os processos envolvidos na simulação do fenômeno físico, bem como a sequência dos processos. A partir disso, foi possível compreender como os processos se relacionam, gerando assim um fluxograma lógico do código computacional do *SPreADGIS*. Com isso, a próxima etapa foi gerar um *script* em Python [5] capaz de seguir as etapas do processo do *SPreADGIS*, porém com as adaptações necessárias. O código computacional é capaz de produzir um arquivo *Raster* (.tif), contendo os resultados da propagação sonora, a partir de uma fonte, com a influência de quatro fenômenos de atenuação. A figura 1 mostra o arquivo *Raster* gerado como resultado da simulação, tal análise é feita na frequência de 400 Hz.

## Resultados e Discussão

Figura 1 - Raster de atenuação de ruído, na frequência de 400 Hz, com faixa de gradiente de perda de decibéis (dB).



Fonte: Autores

Como mostrado na Figura 1, o ruído sofre uma perda de mais de 83 dB a uma distância de quatro quilômetros e meio, se analisado a uma frequência de 400 Hz. O resultado é interessante e parece reproduzir o fenômeno de propagação de maneira adequada. Doravante, a pesquisa se debruçará na implementação outros blocos de códigos computacionais responsáveis por gerar uma simulação mais próxima da realidade, além disso, implementar o plugin para o software QGIS [3], tendo, por fim, um produto que possa, de fato, atender ao mercado eólico brasileiro.

## Conclusões

Com o resultado é possível concluir que o algoritmo atendeu as expectativas mesmo com as adaptações necessárias, gerando assim um arquivo *Raster* que reproduz a atenuação do ruído. Posteriormente o mesmo passará por etapas de calibração e validação e será implementado como *plugin*.

## Referências Bibliográficas

- [1] ANEEL. Matriz Energética Brasileira. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSI0ImMiOjR9>.
- [2] PYTHON. In: Python Org. Versão 3.7. [S. l.]: Python Org, 2018.
- [3] SPREAD-GIS. In: SPreAD-GIS. 4.4. [S. l.]: Harrison et. al, 2017. Archive.
- [4] QGIS. In: QGIS Org. Versão 3.18 Zürich. [S. l.]: QGIS Org, 2021.
- [5] ARCGIS. In: ESRI. Versão 10.4. [S. l.]: ESRI, 2016.
- [6] SOUND Mapping Tools User's Guide: Version 4.4. [S. l.: s. n.], 2017.

## *Aperfeiçoamento do Processo de Separação por Membranas Utilizadas em Dessalinizadores de Água Produzida*

*Pedro Lucas O. Batista\*; Adilson J. Oliveira; Kelly Kaliane R. P. Rodrigues  
Laboratório de Manufatura – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*

*\*e-mail: lucaspedro24@gmail.com*

### **Introdução**

A produção de petróleo ainda representa boa porção da matriz energética do nosso país, e com isso, vem a necessidade também de tratar seus efluentes, sendo a Água de Produção o principal deles. Existem diversos métodos de separação água/óleo, tais como separadores gravitacionais, hidrociclones e flotores a ar (Motta et al, 2013), mas além de ocuparem muito espaço e usar produtos químicos caros, eles não são eficientes para partículas pequenas na faixa dos micrometros, neste sentido uma opção seria o Processo de Separação por Membranas (PSM). As membranas já são utilizadas para dessalinização da água do mar e o seu funcionamento se dá pelas fases de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa, e através destas o tamanho dos poros vai diminuindo até menos que 0,002 micrometros (Braceiro, 2014). Apesar de ser uma tecnologia bastante promissora, a aplicação dos PSM na Água Produzida com fins de reuso enfrenta desafios como: a grande quantidade de compostos tóxicos presente como os BTEX, NFD e compostos policíclicos aromáticos (HPA); a obstrução dos poros causada por gotículas de óleo, biofilme acumulado e a alta concentração salina (Carvalho, 2011). A colmatação das membranas, ou *fouling*, é o que diminui o fluxo do permeado, ou seja, apesar de filtrar bem as impurezas, é de pouca quantidade, porém estudos recentes mostraram que o aumento desse fluxo está correlacionado com certas alterações na morfologia da membrana, assim como a sua relação dentro do dispositivo dessalinizador. Dessa forma, objetiva-se com esta pesquisa aperfeiçoar o Processo de Separação por Membranas (PSM) do dessalinizador, que já se consolida como uma tecnologia promissora e inovadora, otimizando o fluxo de separação de resíduos através da adição de um monômero na morfologia das membranas. Isso deve acontecer de maneira tal que o sistema se torne economicamente viável e aplicável na indústria de petróleo.

### **Metodologia**

Este estudo será dividido em etapas, em que a primeira consiste na revisão de literatura, a fim de definir as melhores estratégias para a construção do dessalinizador. Para isto, vários periódicos conceituados estão sendo consultados na literatura. Na sequência do estudo de revisão, será feita uma caracterização da água produzida de um poço, bem como serão utilizadas amostras fabricadas em laboratório para maior praticidade do processo, pois como a água produzida que vem da indústria precisa ser coletada, conservada e monitorada para manter a fidelidade de suas características, se torna inviável realizar todo esse procedimento sempre que for necessário analisar o funcionamento do dessalinizador, logo seus parâmetros como teor de óleo e graxas, turbidez, pH e salinidade tem um grande espectro de variação (Carvalho, 2011). Será elaborado, também, um projeto mecânico detalhado de um dessalinizador, consultando, principalmente, o portal Periódicos Capes como fonte de pesquisa, a fim de compreender quanto ao dimensionamento e tipos de equipamentos necessários para a sua construção, utilizando o PSM em um Sistema Bioeletroquímico (BES). Dentre esses sistemas, optou-se pelas Células Microbianas de Dessalinização como base, pois são aparelhos que podem ter diversas configurações dependendo da sua finalidade e custo/benefício (Saeed, 2015). O princípio geral de funcionamento desses dispositivos é a formação de 3 câmaras, dispostas lado a lado e divididas por membranas, as câmaras das extremidades terão eletrodos para a passagem de corrente e a do meio é onde fica a água salina. Em uma extremidade fica o ânodo imerso em esgoto doméstico e em ambiente anaeróbico, a responsável pela geração de eletricidade através da degradação de matéria orgânica, feita por bactérias, expressa nessa reação:  $(CH_2O)_n + nH_2O \rightarrow nCO_2 + 4ne^- + 4nH^+$ . Já a extremidade do cátodo, onde deve ocorrer a seguinte reação:  $O_2 + 4ne^- + 4nH^+ \rightarrow 2H_2O$ , é onde tem margem para modificações de sua estrutura, em umas o eletrodo fica exposto ao ar, em

outras ele é submerso em água com o borbulhamento de ar e tem opções com o uso de produtos químicos para catalisar a reação (SAEED, 2015). Nas células microbianas de dessalinização as membranas irão intercalar as câmaras dos dois eletrodos com a câmara da água de produção ou salina, isto porque os cátions do NaCl vão para a câmara do ânodo e os ânions para o cátodo, então essas membranas precisam ser de Troca Catiônica (CEM) entre o ânodo e a câmara do meio, e de Troca Anódica (AEM) entre a câmara do meio e o cátodo.

## Resultados e Discussão

Como resultado espera-se construir um dessalinizador que, com base em uma caracterização da Água Produzida em poços da região, seja possível identificar os compostos de potencial obstrução, e assim sugerir modificações morfológicas nas membranas com a finalidade de otimizar o processo de separação de poluentes da água para posterior reuso na indústria de petróleo e gás. Além disso, verificou-se que um dos principais problemas dos Processos de Separação por membranas é a colmatação/obstrução dos poros, e isso se dá principalmente pela deposição na membrana do próprio biofilme, que faz parte do princípio de funcionamento da célula de dessalinização (Perazzoli, 2018), mas também pelos hidrocarbonetos emulsionados na água produzida e pela incrustação dos cristais quando a concentração salina vai se tornando maior com o tempo. A proposta é estudar a viabilidade da adição de monômeros nas morfologias das nossas membranas que evitem a deposição de biofilme, sem prejudicar o ambiente favorável ao cultivo de micro-organismos, como é o caso do *methacryloyloxyethyl phosphorylcholine* (MPC) que já é utilizado e pesquisado na área médica e odontológica (Oliveira, 2021). Com isso será possível avaliar diferentes cenários, desde a composição do efluente, passando pelas configurações do modelo do dessalinizador e suas membranas para a obtenção de dados embasados sobre a eficácia do protótipo.

## Referências Bibliográficas

- [1] MOTTA, A. R. Passos da et al. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental: *Sanitary Engineering Journal*, Salvador (Ba), Brasil, v. 18, n. 1, p. 1-12, jun. 2013.
- [2] BRACEIRO, A. P. dos Santos. Utilização da Tecnologia de Separação por Membranas na Reabilitação de Sistemas de Tratamento de Água. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências de Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2014.
- [3] CARVALHO, P. C. de A. Puglia de. Caracterização de água produzida na indústria de petróleo para fins de descarte e otimização do processo de separação óleo/água. 2011. . Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós - Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.
- [4] OLIVEIRA, F. J. et al. *A comprehensive review of the antibacterial activity of dimethylaminohexadecyl methacrylate (DMAHDM) and its influence on mechanical properties of resin-based dental materials. Japanese Dental Science Review*, [S.L.], v. 57, p. 60-70, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdsr.2021.03.003>. 2021.
- [5] PERAZZOLI, S. Célula Microbiana de Dessalinização com Biocátodo Anódico para simultânea remoção de carbono e nitrogênio, geração de bioeletricidade e dessalinização. 2018. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2018.
- [6] SAEED, H. M. et al. Microbial desalination cell technology: A review and a case study. *Desalination*, v. 359, p. 1–13, 2015.

## Estudo Reológico de Biodiesel Aditivado com Líquidos Iônicos

Bruna Beatriz A. F. Albuquerque\*; Saleté Martins Alves

Laboratório de Tribologia e Integridade Estrutural – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)

\*e-mail: brunaalbuquerque264@gmail.com

### Introdução

O biodiesel, que é um biocombustível, tem chamado a atenção de todos como um combustível alternativo, que em comparação com o diesel não agride o meio ambiente, não é tóxico, apresenta boa lubricidade, tem baixo teor de carbono e maior ponto de fulgor que o diesel [2]. No entanto, estudos apresentam que características gerais do biodiesel, como instabilidade térmica, oxidação, polimerização, absorção de água e o aumento de ácido são as principais preocupações em garantir propriedades estáveis do combustível durante sua aplicação [3].

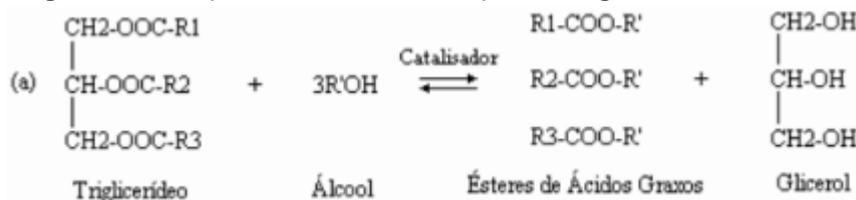
O objetivo desse estudo é a realização de ensaios preliminares para entender o comportamento de líquidos iônicos (LIs), já existentes no laboratório, como aditivos no biodiesel de óleo de soja. Os LIs são um dos principais tópicos de pesquisa em química atualmente, apresentam baixo ponto de fusão e suas propriedades físicas podem ser ajustadas por uma variação criteriosa em diferentes espécies de cátion, além de serem solventes ecologicamente convenientes [1]. Para isso foi sintetizado o biodiesel, aditivado com LIs e realizado ensaio reológico e índice de acidez (IA).

### Metodologia

#### Síntese do Biodiesel

A síntese do biodiesel foi realizada através do processo de transesterificação do óleo de soja com metanol (CH<sub>3</sub>OH) na presença de um catalisador alcalino, o hidróxido de potássio (KOH). A reação pode ser observada na figura 1.

Figura 1 – Reação de transesterificação de triglicerídeos com álcool.

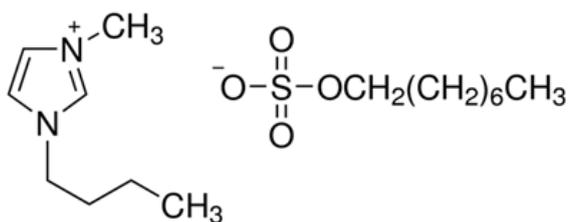


Fonte: Autores

### Líquidos Iônicos

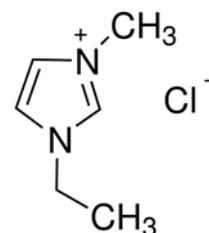
Os líquidos iônicos usados para ensaios preliminares foram o *1-butyl-3-methylimidazolium octyl sulfate* (BMIM OSU) e o *1-ethyl-3-methylimidazolium chloride* (EMIC) que apresentam fórmulas moleculares descritas nas figuras 2 e 3, respectivamente.

Figura 2 - BMIM OSU



Fonte: Autores

Figura 3 - EMIC

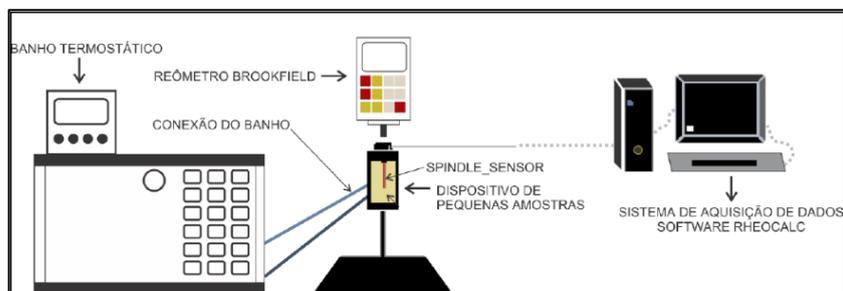


Fonte: Autores

## Ensaio reológico e índice de acidez

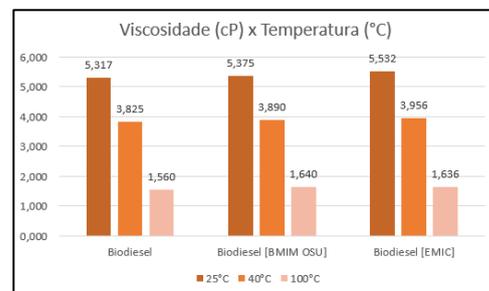
A viscosidade dinâmica foi analisada no *Brookfield Rheometer* (Figura 4), e o índice de acidez foi realizado de acordo com o método ASTM D 664.

Figura 4 - Esquema do conjunto de equipamentos utilizados em testes de viscosidade.



Fonte: Autores

Figura 5 – Viscosidade dinâmica para o biodiesel e as misturas EMIC e BMIM OSU.



Fonte: Autores

## Resultados e Discussão

A Figura 5 representa uma comparação da viscosidade dinâmica com a variação da temperatura. É possível observar um pequeno acréscimo nos valores de viscosidade das amostras de biodiesel aditivadas, porém o aumento da temperatura não altera consideravelmente a viscosidade das amostras aditivadas em relação ao biodiesel. Além disso, a viscosidade cinemática (viscosidade dinâmica dividida pela densidade) do fluido base, biodiesel, na temperatura de 40°C atendeu a Resolução ANP nº 45/2014 resultando em 4,3186 mm<sup>2</sup>/s sendo maior que o limite mínimo estipulado na Resolução que é de 3 mm<sup>2</sup>/s.

Figura 6 - Resultado da análise do índice de acidez.

Amostras	IA mgKOH/g
Biodiesel	0,9806
BMIM OSU	0,9840
EMIC	0,4949

Fonte: Autores

De acordo com a Resolução ANP Nº 51 DE 25/11/2015, o índice de acidez deve apresentar limite máximo de 0,5 mgKOH/g, com os resultados obtidos para o IA podemos observar que apenas a mistura biodiesel e EMIC estão dentro do limite estipulado na norma (Figura 6).

## Conclusões

Com os resultados preliminares obtidos, conclui-se que a adição do *1-Butyl-3-methylimidazolium octyl sulfate* e *1-Ethyl-3-methylimidazolium chloride* não altera significativamente a viscosidade permitindo que o biodiesel continue sendo usado como combustível.

## Referências Bibliográficas

- [1] CHEN, Yu et al. Ionic Liquid Antioxidant [X][C6H2(OH)3COO] of Biodiesel and Its Theory Antioxidant Mechanism. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. China, p. 2-14. 13 jul. 2019.
- [2] DHARMA, S. et al. An overview of engine durability and compatibility using biodiesel–bioethanol–diesel blends in compression-ignition engines. Elsevier. Malásia, p. 2-3. 28 set. 2016.
- [3] HASEEB, A.S.M.A. et al. Compatibility of automotive materials in biodiesel: A review. Elsevier. Malásia, p. 1-2. 02 nov. 2010.

## *Simulação Numérica de Transferência de Calor em Um Tubo com Aletas Submetidas ao escoamento Turbulento*

*Samuel D. de Almeida\*; Sandi I.S. de Souza*

*Laboratório de Simulação Numérica – Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*

*\*samuel.dantas.700@ufrn.edu.br*

### **Introdução**

A transferência de calor é essencial em inúmeros processos na indústria do petróleo. Assim, sabe-se que o emprego de trocadores de calor é vital quando se deseja aquecer e resfriar fluidos. Durante o projeto desses equipamentos, os engenheiros estão sempre atentos para que os mesmos cumpram seus objetivos, ou seja, trocar as quantidades de energia que os processos industriais necessitam. Além da preocupação com a eficiência térmica, existe também a preocupação com as eficiências econômica e ambiental. Segundo Incropera et al. (2008), o calor pode ser transferido de três formas: condução, convecção e radiação [1].

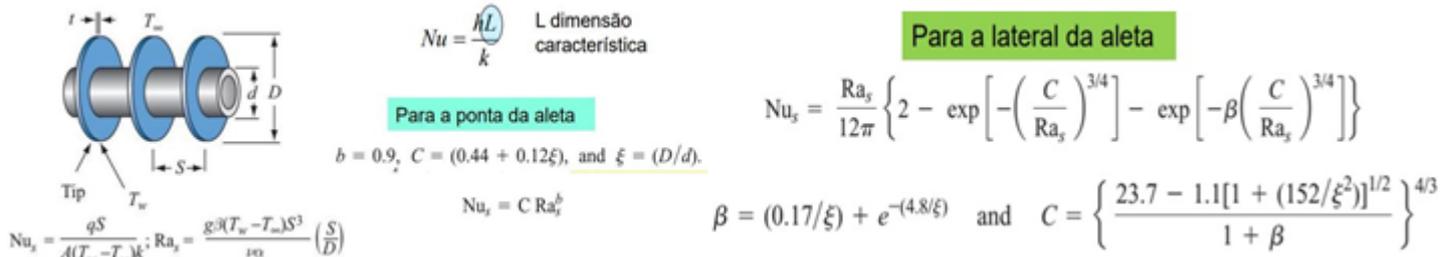
As aletas são superfícies estendidas muito importantes na transferência de calor, empregadas para intensificar a troca térmica. Nas superfícies das aletas, ocorre transferência de calor por condução, convecção e irradiação. Embora o equacionamento das aletas seja dominado e disponível na literatura de transferência de calor, ainda persistem pontos a serem esclarecidos, e este projeto tem como principal objetivo exatamente isso, um estudo do processo de transferência de calor, e do comportamento dos coeficientes de convecção em tubos com aletas circulares e retangulares. Neste caso, o principal ponto de necessidade de estudos está no coeficiente convectivo, que normalmente, está disponível apenas para geometrias simples. Quando as aletas são posicionadas em uma tubulação, ocorre uma alteração de sua geometria fazendo com que haja alteração nos padrões de escoamento, e conseqüentemente, do coeficiente convectivo. Além disso, algumas características geométricas, como o espaçamento entre elas e a própria forma de suas geometrias, também alteram os coeficientes convectivos [2]. A simulação numérica entra como um grande solucionador para tais estudos, pois consegue resolver e lidar com problemas mais complexos que teoricamente outros métodos não conseguem. Através da técnica numérica, será feito o uso de computadores e de softwares comerciais disponíveis no laboratório de Dinâmica de Fluidos Computacionais (CFD).

### **Metodologia**

A metodologia e as atividades desenvolvidas dentro desse projeto podem ser listadas pelas seguintes etapas: Revisão Bibliográfica e Técnica; Dedução das Equações Governantes, e solução analítica para as aletas; Treinamento de tutoriais no software *Ansys Fluent*, juntamente com o Laboratório de Simulação Numérica de CFD; Definição do domínio de estudo: condições de contorno, condições iniciais, escoamento associado (turbulento neste projeto); Modelagem 3D; Elaboração utilizando a ferramenta CAD presente no software; Elaboração das malhas computacionais; Realizações de diversas simulações; Obtenção, visualização e interpretação dos resultados; Análise das Variáveis; Geração dos Relatórios, publicações de artigos.

Até o presente momento, a revisão bibliográfica vem sendo realizada com auxílio de livros textos [1,3] e outros livros e artigos adicionais. Além disso, o progresso do estudo está na determinação das equações e soluções para as aletas, utilizando o Kreit et al. (2011) para o desenvolvimento do problema [4]. Tais estudos sobre a taxa de transferência de calor, o cálculo do número de Nusselt, o número de Rayleigh, e o coeficiente convectivo podem ser vistos em diferentes geometrias de aletas. A principal geometria de aleta analisada é a circular, com o avanço dos estudos poderão ser vistos outras geometrias como a retangular. As relações matemáticas encontradas para a geometria circular da aleta, tiradas da literatura [4] podem ser vistas na Figura 1.

Figura 1 – Equacionamento para aletas circulares.

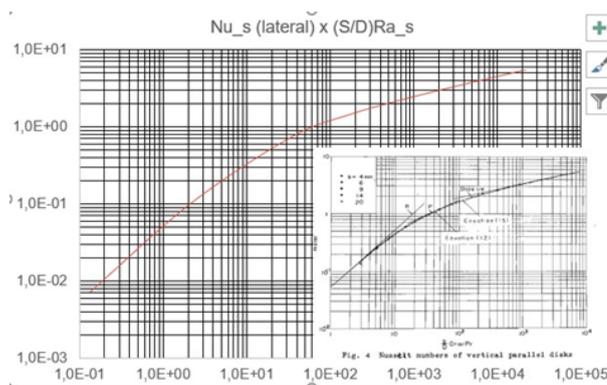


Fonte: Kreit, et al. (2011) [4]

## Resultados e Discussão

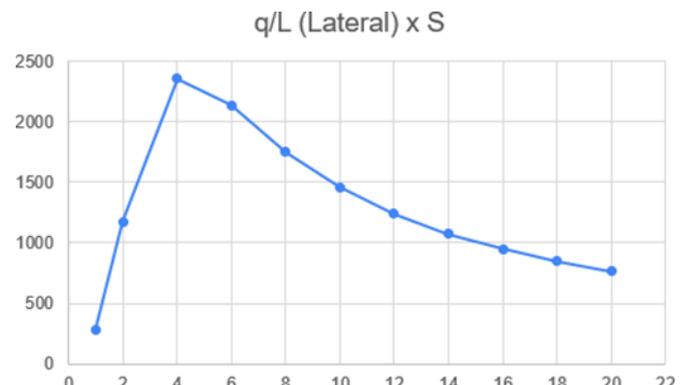
Os primeiros resultados do estudo experimental podem ser vistos nas figuras 2 e 3. Eles se referem a lateral da aleta circular, já que elas que detêm maior influência na transferência de calor, os resultados até o momento foram bons, e se adequam a literatura revisada. Na figura 3 é observado que o pico da taxa de transferência de calor ocorre por volta do espaçamento de 4 mm entre as aletas e o comportamento da curva do primeiro gráfico está adequado ao da literatura.

Figura 2 –  $Nu \times (S/D) Ra_s$ .



Fonte: Autores

Figura 3 –  $q/L$  vs espaçamento das aletas (S).



Fonte: Autores

## Conclusões

Os resultados apresentados são apenas alguns dos obtidos, também já foram verificados os cálculos referentes as aletas retangulares, e outras variáveis como o coeficiente convectivo, como também a comparação entre as aletas circulares e retangulares. Para o prosseguimento do trabalho ainda será revisado com mais propriedade os assuntos referentes ao escoamento turbulento para enfim chegar nas etapas das simulações (definição das condições de contorno, malhas e etc.).

## Referências Bibliográficas

- [1] Incropera, F.P; Dewitt, D.P; Bergman P.L; Lavine A.S. Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa. 6 ed. LTC Editora. 2007. Rio de Janeiro – RJ.
- [2] Souza, S.I.S; Bessa, K.L; Maurente, A. Numerical investigation of convection in tubes with aluminum and carbon steel fins: evaluating the assumption of convective heat transfer coefficient as that for the tube without fins and relating physical processes with the optimum spacing between fins. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engng. 2019.
- [3] Fox, R.W; Mcdonald, A.T; Pritchard, P.J; Lylegian, J.C; Introdução à Mecânica dos Fluidos. 8 ed. Gen: LTC Editora. Rio de Janeiro. 2014.
- [4] Kreit, F; Manglik, R.M; Bohn, M.S. Principles of Heat Transfer. 7 ed. Cengage Learning. 2011. Stamford - US.

*Análise dos Sistemas de Medição de Petróleo e Gás, a partir da Perspectiva dos Métodos de Monte Carlo e Taguchi*

*Arthur Vinícius Rocha dos Santos\*; Igor Lopes de Andrade.*

*Laboratório de Metrologia e Departamento de Engenharia Mecânica (UFRN)*

*\*e-mail: arthur.rocha.702@ufrn.edu.br*

**Introdução**

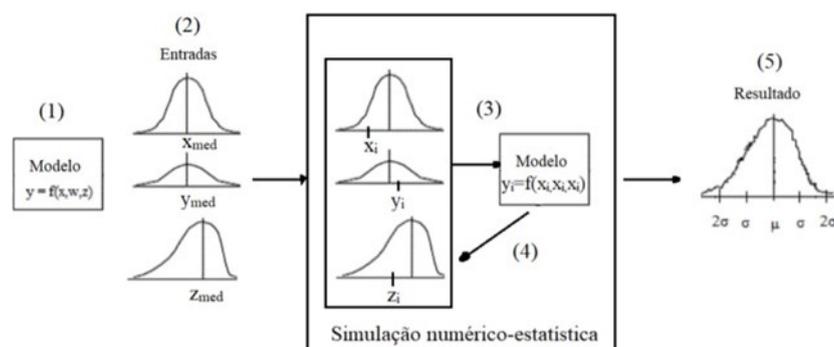
Todo sistema de medição deve obedecer às condições e os requisitos técnicos, construtivos e metroológicos mínimos com a finalidade de garantir a credibilidade dos resultados de medição, por isso a todo sistema deve ser aplicado um modelo de gestão da medição de forma a assegurar a eficácia e adequação ao uso pretendido, além de gerenciar o risco de resultados de medições incorretas (ANP, 2013). A incerteza de medição é o parâmetro associado ao resultado que representa a qualidade do resultado, a sua determinação é de fundamental importância para expressar o quanto se pode confiar na medição encontrada. Esse trabalho se concentra em desenvolver a análise através da SMC (Simulação de Monte Carlo) para posteriormente adentrar na perspectiva do MT (Método Taguchi), com objetivo de simplificar o processo de cálculo de incerteza na medição de vazão de um fluido. Comparado ao método tradicional, descrito pelo GUM - Guia para a Avaliação de Incerteza de Medição, esse tipo de abordagem até o presente momento não foi encontrado.

**Metodologia**

Até o presente momento houve esforços para introduzir modelos de programação matemática no contexto petrolífero (Pérez, 2017), mas ainda é pouco usada a SMC no que diz respeito à medição de vazão, sendo aplicada por exemplo para avaliar as incertezas na previsão de pressões em operações transientes de hidráulica em poços de petróleo (Silva, 2019) Desde a década de 1970, a SMC tem sido aplicada na hidrologia, através dos trabalhos de probabilidade e estatística na hidrologia, sendo vista, desde então, como o futuro da Hidrologia (Yevjevich, 1972).

O método descrito no guia para expressão de incerteza de medição (GUM, 2013) possui algumas condições de validade, como linearidade do modelo e a normalidade da distribuição da variável aleatória que representa os valores possíveis do mensurando. Quando se utiliza um modelo matemático muito complexo a SMC torna-se uma ferramenta de grande utilidade. A simulação de Monte Carlo produz a propagação das funções densidade de probabilidade (FDP) das grandezas de entrada através dos modelos matemáticos da medição, fornecendo como resultado uma FDP que descreve os valores do mensurando consistentes com a informação que se possui.

Figura 1 - Fluxograma simplificado da aplicação da Simulação de Monte Carlo (SMC).



Fonte: Silva (2019)

A aplicação dessa Simulação para cálculo de incerteza se orienta pelos seguintes passos discriminados por Martínez (2009).

1. Seleção do modelo matemático;
2. Definição dos parâmetros do modelo como variáveis aleatórias, seguindo uma distribuição de probabilidade escolhida;
3. Utilização das variáveis com aplicação e solução do modelo;
4. Repetição do passo anterior um número determinado de vezes;
5. Processamento dos dados obtidos de forma a retornar o resultado final, junto da incerteza.

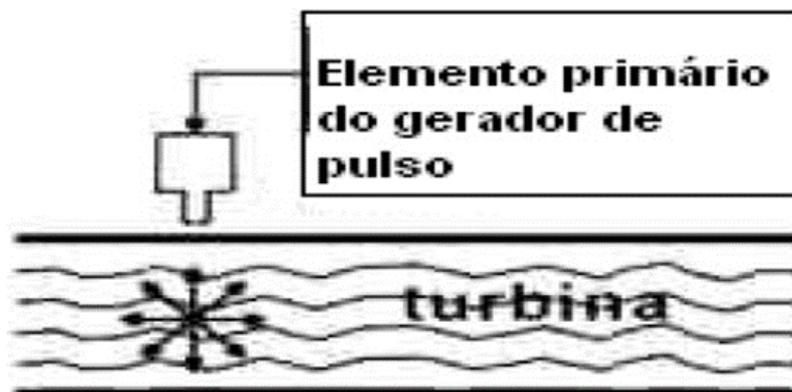
A priori iremos aplicar nossa análise na medição de vazão em um sistema do tipo turbina, que são principalmente usados em medição de transferência de custódia ou na medição fiscal, pois são altamente versáteis e já possuem uma baixa incerteza de medição.

### Resultados e Discussão

A turbina gera pulsos na passagem do fluido, o número de pulsos gerados é proporcional a quantidade de produto volumétrico que passa através da turbina. Ou seja, a vazão é diretamente proporcional ao número de pulsos lidos pelo medidor. Algumas variáveis serão consideradas para entendermos quais fatores influenciam diretamente na medição da vazão, como por exemplo: Validade da calibração, temperatura e pressão.

O procedimento para a completa análise da medição é bem definido: Durante a experimentação do processo de medição é feito o recolhimento dos dados (quantidade de volume que passou pela turbina, em cada período de medição) aplicamos os dados e replicamos as condições de forma aleatória para análise dessas condições melhorando o método baseado nessa análise.

Figura 2 – Elemento primário gerador de pulso.



Fonte: Autores

### Referências Bibliográficas

- [1] INMETRO/ANP. Regulamento técnico de medição de petróleo e gás natural a que se refere à resolução conjunta ANP/INMETRO nº 1, de 10 de junho de 2013.
- [2] PÉREZ, Miguel Angel Fernández. Modelos de Programação Matemática Para O Problema de Intervenção em Poços Terrestres de Petróleo. 2017. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio.
- [3] SILVA, Hiago Souza. Análise de Incertezas em Fenômenos Transitórios de Hidráulica de Poços Utilizando o Método Monte Carlo. 2019. (Trabalho de Conclusão de Curso). Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Federal do Paraná.
- [4] YEJVJEVICH, M. Vujica. Probability and Statistics in Hydrology. WRP | Water Resources Publications, LLC, 2013

***Desenvolvimento de Eletrocatalisadores e Design de Reatores (Foto)Eletrocatalíticos para Promover a Conversão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> a Produtos de Valor Agregado***

***Dra. Fernanda L. Souza \****

***Universidade Federal do Rio Grande do Norte***

***\*e-mail: fersouza.usp@gmail.com***

As emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para o ambiente são um dos principais contribuidores para o aumento do efeito estufa e das mudanças climáticas. Desta forma, torna-se imprescindível o desenvolvimento de tecnologias que possam convertê-los em combustíveis e produtos de valor agregado. A conversão eletroquímica é uma alternativa promissora por possuir um modo de operação mais flexível, possibilitar a geração de produtos multi-carbonos e permitir o acoplamento a fontes de energias renováveis. Com o objetivo de alcançar o melhoramento do sistema (foto)eletroquímico, este trabalho busca estudar principalmente o design do reator juntamente com o material catalítico e da otimização de parâmetros operacionais. Inicialmente foi desenhado e construído três tipos de eletrolisadores em fluxo, sendo i) um eletrolisador de fase aquosa para eletrodos sólidos, ii) um fotoeletrolisador de fase aquosa e iii) um eletrolisador do tipo eletrodo de difusão gasosa. Para estudo e otimização do primeiro foram sintetizados eletrodos de misturas de óxido de SnO<sub>2</sub> modificados com La, Sb, Bi, Cu e Fe preparados pelo método de síntese de decomposição térmica dos precursores poliméricos em substrato de Titânio. Caracterizações eletroquímicas e físico-químicas foram realizadas. Os eletrodos obtidos apresentaram uma estrutura típica de “barro-rachado” com formação de partículas nanométricas e boa homogeneidade. Além disso, a porcentagem dos componentes metálicos (razão Sn:M) para os anodos de Ti/SnO<sub>2</sub>-M (M=Sb, Cu, Fe, La e Bi), apresentaram uma boa correlação entre os valores reais e nominais. As análises de DRX confirmaram a presença de SnO<sub>2</sub> na estrutura tetragonal para todos os eletrodos. As voltametrias mostraram que todos os anodos apresentaram um aumento na corrente correspondente à reação de desprendimento de oxigênio em potenciais acima de 1.0 V vs Ag/AgCl. As espectroscopias de impedância revelaram que após a dopagem, a condutividade dos materiais melhora substancialmente, diminuindo a resistência à transferência de carga em uma ordem de magnitude. Para os estudo e otimização do reator fotoeletrocatalítico, foi empregado filmes de óxido de cobre (Cu<sub>2</sub>O) depositados sobre superfície de FTO preparados por spray-coating. Os filmes foram caracterizados por DRX e voltametria cíclica linear. Posteriormente, ensaios de fotoeletroredução de CO<sub>2</sub> foram realizados em diferentes eletrólitos e potenciais. Os resultados mostraram que para todas as condições operacionais, metanol, acetato de etila, acetona, ácido acético, acetato e etanol foram obtidos como principais produtos de reação. Maiores eficiências faradaicas e taxas de reação para a produção de metanol foram obtidas empregando -1.0V e Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> como eletrólito suporte. Por último, a heterojunção SnO<sub>2</sub>/CuO (SnCu) foi proposta a fim de avaliar a capacidade fotoeletrocatalítica deste material para oxidação de CH<sub>4</sub>. Para isso, inicialmente foi realizada a síntese de SnO<sub>2</sub> via hidrólise de cloreto de estanho seguida de tratamento térmico. Posteriormente, a síntese da heterojunção SnO<sub>2</sub>/CuO foi realizada via tratamento hidrotérmico e caracterizadas via DRX e MEV. Todas as amostras apresentaram boa cristalinidade em que a intensidade de difração da fase tetragonal tornou-se visível e com aumento progressivo com o teor de SnO<sub>2</sub>. As partículas de SnO<sub>2</sub> apresentam uma forma quase esférica com um tamanho médio de ~450 nm. As partículas de CuO por sua vez apresentaram formato irregular com tamanho de partícula variando entre 2-15 µm. Além disso, uma considerável quantidade de SnO<sub>2</sub> pôde ser observada na superfície das partículas CuO.

## Tratamento de Água Produzida Utilizando Tensoativo em Microemulsões

*Ammary V. S Moura\*; Khaterine C. de Oliveira; Tereza N. C. Dantas*

*Laboratório de Tecnologia de Tensoativos – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*e-mail: ammary.moura.700@ufrn.edu.br*

### Introdução

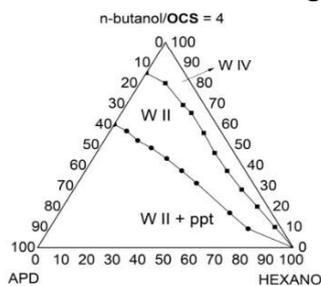
A água produzida (AP) é definida como uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, advindos da exploração de poços de petróleo e gás [1] constituindo-se em um dos grandes pontos de poluição representando uma das maiores preocupações ambientais [4].

Os tensoativos (TS) são moléculas anfifílicas capazes de interagir com componentes de naturezas quimicamente diferentes, que possui uma região polar (hidrofílica) e uma região apolar (lipofílica) [2]. O uso do TS e dos seus derivados vêm adquirindo importância ao longo de vários anos e sua aplicabilidade vem se tornando cada vez mais ampla, assim como seu uso em novas tecnologias e aplicações industriais, onde seus derivados (microemulsão e nanoemulsão) vêm se tornando alvo dos principais estudos, devido ao potencial barateamento dos processos utilizados, pois os mesmos podem conter uma significativa parte polar (muitas vezes água ou fases aquosas para aplicação). Este trabalho tem como objetivo mostrar a aplicação de microemulsões para tratamento de água produzida, além de testar a eficiência do processo, para posteriores aplicações de estudos em escala piloto.

### Metodologia

O sistema escolhido é uma microemulsão contendo OCS (óleo de coco saponificado) como tensoativo, butanol como cotensoativo, hexano como fase orgânica e a água produzida como fase aquosa.

Figura 1 - Diagrama ilustrativo para visualização das diferentes regiões de Winsor - Sistema n-butanol/OCS, C/T=4, solução de 2% como fase aquosa e hexano como fase orgânica.



Fonte: Nascimento (2018) [3]

Nos estudos de Nascimento (2018) [3], foi utilizada água produzida dopada com contaminantes e observou-se que no ponto de formulação de microemulsão na região de Winsor II (17,5% de C/T, com C/T=4, 7,5% Fo e 75% Fa), a água presente na fase aquosa estava limpa e indicava visualmente a extração do óleo. A água produzida utilizada nesse trabalho possui 1510 ppm de NaCl e 150 ppm de óleo bruto fornecido pelo complexo industrial de Guamaré/RN (PETROBRAS®) [4]. Também, foi utilizado um agitador mecânico TE-039 TECNAL® durante 10 minutos para a melhor dispersão do óleo na água salobra.

Observa-se no diagrama da Figura 1 uma região de W II + ppt, o qual foi explicado pela presença de sobrenadantes na interface entre a microemulsão e a fase aquosa em excesso devido o OCS ser um tensoativo com pouca afinidade e baixa solubilidade em água.

### Resultados e Discussão

Para os resultados preliminares foi reproduzido o ponto de melhor extração de contaminantes do trabalho de Nascimento (2018) [3], utilizando a água produzida citada na metodologia e notou-se a formação de Winsor II sem a formação de sobrenadantes – pelo fato da fase aquosa utilizada não ser dopada.

A partir do estudo prévio da sequência de imagens da Figura 2, conclui-se que em um tempo de 30 minutos, a turbidez inicial da fase aquosa, proveniente de partículas de OCS suspensas, diminui a ponto de possibilitar os estudos quantitativos de medição do óleo extraído. Tal dado é importante, uma vez que esse sistema poderá ser operado em uma coluna e não se utilizará centrífugas – dependendo do tempo para alcançar o equilíbrio da microemulsão.

No sentido operacional em uma coluna, a fase dispersa utilizada será a microemulsão no ponto de Winsor IV (61,25%

de C/T, com C/T = 4, 26,25% Fo e 12,5 Fa), também com a utilização da água produzida na fase aquosa, e a fase contínua será apenas água produzida. Esse ponto foi determinado com as mesmas proporções de cotensoativo, hexano, tensoativo do ponto de Winsor II já mencionado, mas com uma menor quantidade possível de água produzida para solubilização do OCS e formação de microemulsão. Nesse caso, a proporção da fase contínua ponto a fase dispersa será de 5:2, onde tais proporções podem ser utilizadas visando trabalhos futuros em escala piloto.

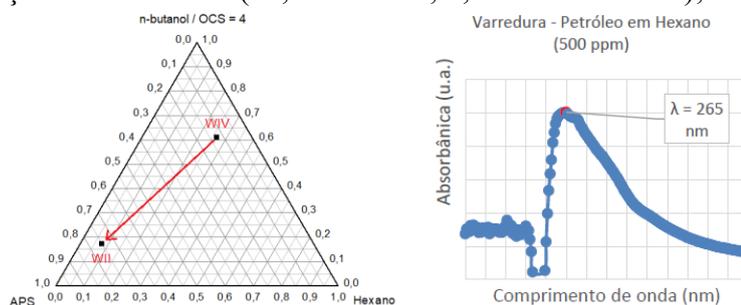
Figura 2 - Microemulsão utilizada para os estudos de extração em água produzida – intervalos das fotos de 3, 6, 12 e 30 minutos, respectivamente, nos sentidos das imagens da esquerda para direita.



Fonte: Autores

Para testar e quantificar a extração do óleo da água produzida, foi feita uma varredura desse pelo espectrofotômetro de absorção molecular no UV-visível e em seguida construída uma curva de calibração com  $R^2 = 0,9887$  e com equação de  $y = 0,0052x$  para obtenção de dados de concentração de óleo na água pela leitura da absorbância, assim podendo obter o gráfico representado na figura 3.

Figura 3 - Diagrama com o ponto da fase dispersa em Winsor IV (61,25% de C/T; 26,25% Fo e 12,5 Fa) e o ponto depois da extração em Winsor II (17,5% de C/T; 7,5% Fo e 75% Fa); e absorbância vs. [óleo].



Fonte: Autores

## Conclusões

Assim, o estudo abordado neste trabalho confirmou a possibilidade da utilização de tensoativo em sistemas de microemulsão para extração de óleo (petróleo) da água produzida advinda da indústria petrolífera e de acordo com a metodologia utilizada é possível prever a utilização em escala piloto em estudos futuros.

## Referências Bibliográficas

- [1] IGUNNU, E. T.; CHEN, G. Z. Produced water treatment technologies. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, v. 9, n. 3, p. 157–177, 2014.
- [2] LUCAS, Cláudio Régis dos Santos. Desenvolvimento de sistemas microemulsionados retardados para aplicação na estimulação ácida em reservatórios carbonáticos. 2020. 173f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- [3] NASCIMENTO, Y. I. F. Estudo da eficiência de sistemas microemulsionados na remoção de contaminantes de água produzida. 2018. 124 p. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo (Tese de Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- [4] SILVA, D.; LUCAS, C.; JUVINIANO, H.; MOURA, M. C.; NETO, A.; DANTAS, T. Novel Produced Water Treatment Using Microemulsion Systems to Remove Oil Content. *Journal of Water Process Engineering*. Brasil. v. 33, p 101006, 2020.

## *Avaliação do Diâmetro de Gotículas de Nanoemulsões obtidas pelo Método de Inversão da Composição das Fases*

*João V. de A. Freire\*; Alcides de O. W. Neto; Katherine C. de O. Deus*  
*Laboratório de Tecnologia de Tensoativos – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*  
*\*e-mail: jvandradeFreire@gmail.com*

### **Introdução**

O petróleo, por ser uma das mais importantes commodities, está sempre sob o foco da pesquisa de modo a tornar sua extração mais eficiente e economicamente viável. A recuperação avançada de petróleo é uma técnica importante que visa aumentar a produção do reservatório. Dentre as modalidades de recuperação avançada tem-se a alteração da molhabilidade das rochas reservatório [1], que ocorre através da utilização de tensoativos. Sistemas nanoemulsionados, produzidos pelo método ICF [2], são uma alternativa para este fim, pois tem baixa concentração de tensoativos e ainda assim mantem as propriedades de modificação superficial, entretanto, são sistemas termodinamicamente instáveis, ou seja, acabam se desconfigurando com o tempo. Desta forma faz-se necessário estudar a estabilidade de sistemas nanoemulsionados para encontrar uma metaestabilidade cinética, de forma que viabilize a aplicação eficiente na recuperação avançada de petróleo. Os principais fatores que influenciam a estabilidade cinética das nanoemulsões são o fenômeno de transporte de massa e barreiras energéticas, desta forma para obter nanoemulsões com estabilidade cinética de longo prazo é necessário utilizar uma fase apolar com baixíssima solubilidade na fase polar, evitando o efeito de Ostwald *ripening*, assim como deve-se minimizar o diâmetro de gotícula, para evitar cremação [3].

### **Metodologia**

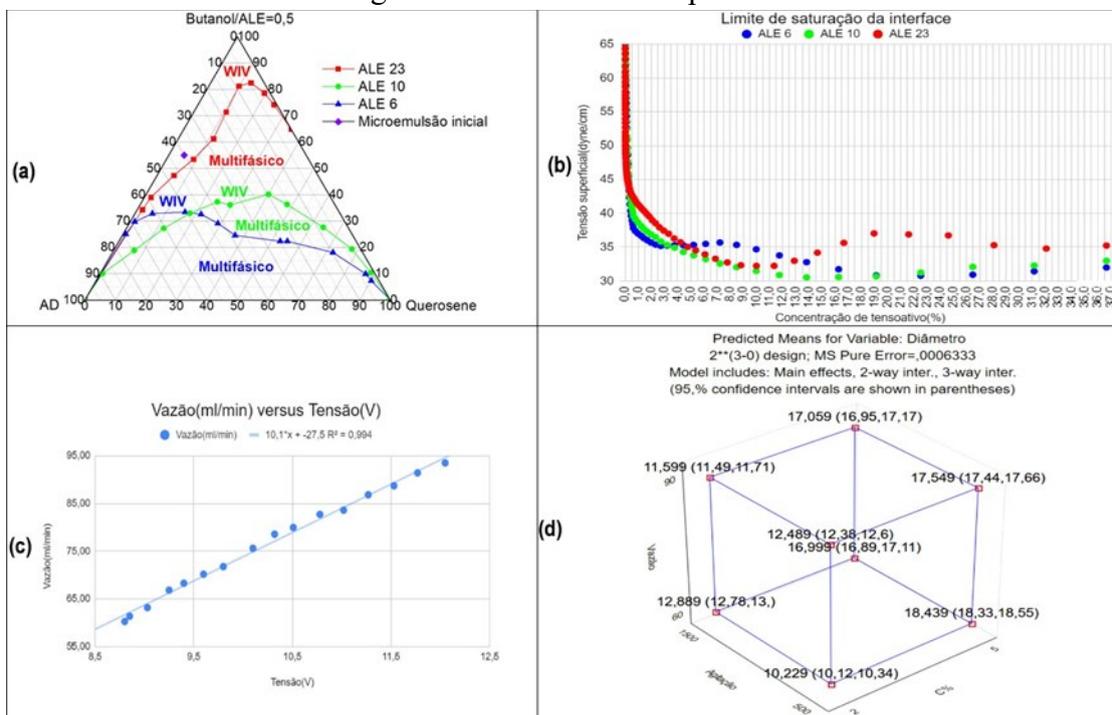
Para a obtenção de nanoemulsões pelo método Inversão da composição das fases (ICF) [2,4], é necessário utilizar uma microemulsão como matriz, assim os componentes utilizados para formular os sistemas microemulsionados foram: Querosene (OQ), como fase apolar, água destilada (AD), como fase polar, butanol (BT), como cotensoativo e os tensoativos Alkonat L 60 (ALE 6), Alkonat L 100 (ALE 10) e Alkonat L 230 (ALE 23), possuindo diferentes Balanços Hidrofílicos-Lipofílicos (BHL). Diagramas pseudoternários [5] são utilizados para identificar regiões de microemulsão e multifásica, estas fases podem ser classificadas de acordo com o sistema Winsor [6]. Também se faz necessário a identificação do limite de saturação da interface líquido-gás (LSI) [7,8]. Para isso a microemulsão matriz é diluída em AD, mantendo sua concentração e tensão conhecidas através do método da pressão máxima de bolha no equipamento SensaDyne - QC6000. O limite é identificado pela medida de tensão superficial que antecede sua drástica alteração. Conhecendo esses parâmetros, foi utilizado um planejamento experimental (PCC), no qual nanoemulsões são obtidas variando a concentração de tensoativo final, a vazão de AD e a energia fornecida ao sistema por agitação (RPM), avaliando o tamanho da gotícula utilizando o Microtrac-Nanotracer 252. Assim foi identificada a influência de cada variável no tamanho das gotículas das nanoemulsões.

### **Resultados e Discussão**

Foram construídos os diagramas e identificada a transição entre monofásico e multifásico, assim como foi escolhido o ponto da microemulsão matriz, destacado em roxo como apresentado na Figura 1 - a. A diversidade de áreas de microemulsão se dá pelos diferentes BHL, considerando o método ICF o ponto de microemulsão matriz deve ser localizado em região monofásica comum a todos os diagramas. Assim os gráficos de LSI foram construídos, a partir da microemulsão matriz, como apresentado na Figura 1 - b, apresentando variações de tensão não-comuns para os três sistemas, já todos os LSI encontram-se por volta de 1% a 0,5% de tensoativo. De forma a controlar a vazão de AD para o planejamento experimental, foi construído um sistema de gotejamento com Arduino e bomba peristáltica, onde um mosfet fornece variação da tensão à bomba, o que varia sua vazão, como apresentado na curva de calibração na Figura

1 – c. Para o planejamento experimental do sistema ALE 6 foram identificadas as influências de cada variável e suas proporções, visto na Figura 1 - d, sendo a concentração a variável predominantemente mais influente ao diâmetro de gotícula.

Figura 1 – Resultados compilados.



Fonte: Autores

## Conclusões

Utilizando os resultados da Figura 1. Com os diagramas obtidos é possível notar que o ALE 6 apresenta baixa solubilidade em AD, devido seu baixo BHL – 11,5. Já o ALE 10 apresenta uma alta solubilidade geral, atribuído ao seu intermediário BHL – 13,9. Assim o ALE 23 apresenta baixa solubilidade em OQ e BT, pelo seu alto BHL – 16,9. As variações de tensão dos gráficos de LSI necessitam de avaliações futuras para serem compreendidas, já seus LSI estão em valores convenientes para formação de nanoemulsão. A curva de calibração da bomba mostrou-se consistente como verificado pelo valor do Coeficiente de determinação, sendo este  $R^2 = 0,994$ . Como é necessário o menor diâmetro de gotícula para aumentar a estabilidade do sistema, a configuração que mais contribui para este fator no sistema do ALE 6 é 2% de tensoativo, 500 RPM e 60 ml/min, resultando em um diâmetro de gotícula de 10 nm.

## Referências Bibliográficas

- [1] T. Neuma de Castro Dantas, F.F. Viana, T. Thaise Costa de Souza, A.A. Dantas Neto, P.T.P. Aum, Study of single-phase polymer-alkaline-microemulsion flooding for enhancing oil recovery in sandstone reservoirs, *Fuel*. 302 (2021) 121176.
- [2] I. Solè, C.M. Pey, A. Maestro, C. González, M. Porras, C. Solans, J.M. Gutiérrez, Nano-emulsions prepared by the phase inversion composition method: Preparation variables and scale up, *J. Colloid Interface Sci.* 344 (2010) 417–423.
- [3] D.J. McClements, Nanoemulsions versus microemulsions: Terminology, differences, and similarities, *Soft Matter*. 8 (2012) 1719–1729.
- [4] A. Forgiarini, J. Esquena, A. C. González, C. Solans, Formation of Nano-emulsions by Low-Energy Emulsification Methods at Constant Temperature, *Langmuir*. 17 (2001) 2076–2083.
- [5] B.K. Paul, S.P. Moulik, Microemulsions : An overview, *J. Dispers. Sci. Technol.* 18 (1997) 301–367.
- [6] P.A. Winsor, Hydrotrophy, solubilisation and related emulsification processes, *Trans. Faraday Soc.* 44 (1948) 376–398.
- [7] D. Daltin, Tensoativos química, propriedades e aplicações, 1a, Blucher, São Paulo, 2011.
- [8] T.F. Tadros, Applied Surfactants: Principles and Applications, Wiley, 2005.

## *Ensaios preliminares do equilíbrio dos sistemas aquosos com $\text{CO}_2$ e $\text{CO}_2+\text{CaCO}_3$ utilizando o ebuliômetro de Othmer modificado*

*Éntony D. Dantas\*; Vitória C. S. Penha; Arthur V. V. Bezerra; Fedra A.V. Ferreira; Osvaldo Chivavone-Filho  
Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases (FOTEQ), Departamento de Engenharia Química (UFRN)  
\*e-mail: entonydd@gmail.com*

### **Introdução**

Dados de equilíbrio de fases de sistemas contendo dióxido de carbono e água são de ampla utilização para a indústria de petróleo. Por exemplo, no processamento do gás natural o  $\text{CO}_2$  é um contaminante que precisa ser removido [1]. Além disso, o dióxido de carbono influencia positivamente na solubilidade do carbonato de cálcio, um sal pouco solúvel que pode gerar incrustações nas tubulações de processamento onde também se encontra a fase aquosa, oriunda das águas subterrâneas [2]. O Ebuliômetro de Othmer modificado usado por Moura-Neto et al. [3] e proposto por Oliveira em 1999 [4] se caracteriza como um método dinâmico para determinação de dados de equilíbrio, sendo este método mais adequado para eletrólitos. Portanto, neste trabalho foi estudada a metodologia para a determinação do equilíbrio líquido-vapor do sistema  $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$  e sólido-líquido-vapor do sistema  $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2+\text{CaCO}_3$ .

### **Metodologia**

Para a determinação de dados no equilíbrio dos sistemas em estudo foi usado o procedimento experimental descrito por Oliveira [4]. Neste experimento são utilizados os seguintes equipamentos: ebuliômetro Othmer modificado; chapa de aquecimento; agitador magnético Fisatom; Fita aquecedora Fisatom 200 W; Regulador de voltagem Variac; banho ultratermostático CE-110/10; bomba a vácuo Edwards; Controlador de pressão Fisher System; Elevador Bochem; Sensores de temperatura digitais; isolante térmico; mangueiras de conexão, cilindro de  $\text{CO}_2$ .

O procedimento padrão inicia com uma substância ou mistura inserida no boiler para aquecer até a temperatura de equilíbrio, a pressão do sistema é setada no sistema Fischer e controlada com ajuda de uma bomba de vácuo. Após o início da recirculação da fase vapor, a taxa de gotejamento é contabilizada em intervalos de 15 minutos e para cada medida é anotado as temperaturas das fases (líquida e vapor), a pressão do sistema, a condutividade da fase líquida e as condições do processo (aquecimento e agitação). O equilíbrio é atingido quando as temperaturas das fases líquida e vapor são, aproximadamente, as mesmas e a taxa de gotejamento permanecem constantes em três medições consecutivas de 15 min. Ao final, são desligados os equipamentos e o sistema é aberto para coleta das amostras das fases vapor e líquida, respectivamente, para análise.

**Ensaios com  $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ :** Este ensaio segue o mesmo processo descrito anteriormente com algumas adaptações desenvolvidas neste trabalho. A água inserida no boiler é previamente aquecida para eliminar o  $\text{CO}_2$  que possa ter dissolvido e feita a análise de densidade e pH após o resfriamento. O sistema é despressurizado até 200 mbar e em seguida pressurizado à pressão atmosférica com o dióxido de carbono, esse processo é realizado duas vezes para garantir a atmosfera de  $\text{CO}_2$ . Uma pequena vazão de dióxido de carbono foi mantida no sistema para compensar o  $\text{CO}_2$  ejetado pela bomba de vácuo do sistema de controle de pressão a partir da segunda série de ensaios. As amostras coletadas foram levadas para um banho de gelo para evitar que o  $\text{CO}_2$  dissolvido esvaeça.

**Ensaios com  $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2+\text{CaCO}_3$ :** Este ensaio segue o mesmo procedimento do sistema  $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$  com a adição de uma quantidade em excesso de  $\text{CaCO}_3$  na água antes de ser inserida no boiler. O carbonato de cálcio adicionado deve estar saturado e com precipitado formado para medição do equilíbrio sólido-líquido-vapor.

**Análise do  $\text{CaCO}_3$ :** Foi utilizado o método de volumetria de complexação para determinação da composição de cálcio. Para isso, foram necessários os seguintes reagentes: solução padrão de EDTA 0.0025 mol/L como agente titulante, solução de negro de eriocromo T como indicador, solução tampão amoniacal para garantir o pH=10 e ácido nítrico

diluído (1:150) para evitar a formação de precipitado na amostra. A titulação foi feita em um erlenmeyer de 250 mL, adicionados 20 mL da amostra, 20 mL de água deionizada, 3 mL do tampão e 30 gotas do indicador. A solução inicialmente apresenta coloração violeta e muda para ciano no ponto de viragem. O volume de EDTA gasto foi anotado e os cálculos foram realizados para determinar a composição de carbonato de cálcio na fase líquida.

## Resultados e Discussão

Para o sistema  $H_2O+CO_2$  foram obtidos dados produzidos em duplicata nos ebuliômetros 1 e 2. A 1ª e 3ª linhas de dados referem-se ao ensaio com o  $CO_2$  inserido apenas na etapa inicial. Na 2ª e 4ª linhas mostram o ensaio com a vazão mínima e constante de  $CO_2$  durante todo o processo, resultando uma  $P$  um pouco maior (Tabela 1).

Tabela 1. Dados de equilíbrio para o sistema  $H_2O+CO_2$ ;  $T_L$  deve ser considerada a  $T$  de equilíbrio.

	$P$ (kPa)	$T_V(^{\circ}C)$	$T_L(^{\circ}C)$	$\rho_L$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_V$ (g/cm <sup>3</sup> )	pH (fase L)	pH (fase V)
Eb. 1	100.98	99.71	100.15	1.00013	1.00039	6.04 a 14.9 °C	4.17 a 15.6 °C
	102.29	99.98	100.55	1.00016	1.00023	6.45 a 17.6 °C	4.04 a 19.6 °C
Eb. 2	100.96	99.56	100.04	1.00013	1.00031	6.25 a 13.0 °C	4.20 a 14.6 °C
	102.32	99.96	100.35	1.00017	1.00037	6.12 a 18.9 °C	4.00 a 17.9 °C

Para o sistema  $H_2O+CO_2+CaCO_3$  foi obtido um ensaio em duplicata nos ebuliômetros 1 e 2 (Tabela 2).

Tabela 2. Dados de equilíbrio para o sistema  $H_2O+CO_2+CaCO_3$ ;  $T_L$  deve ser considerada a  $T$  de equilíbrio.

	$P$ (kPa)	$T_V(^{\circ}C)$	$T_L(^{\circ}C)$	$\rho_L$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_V$ (g/cm <sup>3</sup> )	pH (fase L)	pH (fase V)	[CaCO <sub>3</sub> ] ppm
Eb. 1	102.24	99.93	100.45	1.00025	1.00054	7.29 à 17.2 °C	4.08 à 18.8 °C	58.60
Eb. 2	102.24	99.88	100.25	1.00026	1.00051	7.32 à 16.6 °C	4.06 à 18.8 °C	71.50

Nos ensaios foram observados que a fase vapor dissolveu mais  $CO_2$ , devido aos valores de densidade maiores e valores de pH menores. Isto foi devido a temperatura mais reduzida no condensador. O teor de  $CO_2$  na fase gasosa é tema de estudos futuros, contudo os valores observados apontam de maneira coerente aos reportados na literatura.

A análise da concentração no equilíbrio ou solubilidade do  $CaCO_3$  pelo método de volumetria de complexação gerou resultados coerentes entre as amostras A1 e A2 feitas em triplicatas. Para a amostra 1 a concentração foi de  $58.60 \pm 0.70$  ppm e para a amostra 2 a concentração foi de  $71.50 \pm 0.47$ .

## Conclusões

Com base nos dados obtidos neste trabalho foi possível observar que a metodologia adotada para a determinação de dados de equilíbrio com  $CO_2$  é pertinente e reprodutível, porém, carece de uma forma que determine o teor de  $CO_2$  para completação dados obtidos e posterior comparação com a literatura. Os ensaios de volumetria de complexação que determina a composição do carbonato de cálcio apresentou dados precisos, podendo ser uma metodologia eficiente quando se trabalha com mais de um sal, como NaCl.

## Referências Bibliográficas

- [1] Valtz A, Chapoy A, Coquelet C, Paricaud P, Richon D. Vapour-liquid equilibria in the carbon dioxide-water system, measurement and modelling from 278.2 to 318.2 K. Fluid Phase Equilib. 2004;226(1–2):333–344.
- [2] Coto B, Martos C, Peña JL, Rodríguez R, Pastor G. Effects in the solubility of  $CaCO_3$ : Experimental study and model description. Fluid Phase Equilib. 2012; 324:1–7.
- [3] Monteiro MF, et al. Thermal Degradation of Monoethylene Glycol in Aqueous Saline Solution: Evaluation by Thermogravimetric and Physicochemical Analyses. Ind. Eng. Chem. Res. 2019;58(27):12159–12165.
- [4] Oliveira HNM. Dissertação de Mestrado-PPGEQ/UFRN, 1999.

## Equilíbrio Sólido-Líquido-Vapor do Sistema $H_2O + NaCl$

*Vitória C. S. Penha\**; *Éntony D. Dantas*; *Arthur V. V. Bezerra*; *Fedra A.V. Ferreira*; *Oswaldo Chivavone-Filho*  
*Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases (FOTEQ), Departamento de Engenharia Química (UFRN)*  
*\*e-mail: vitoria.vcsp@gmail.com*

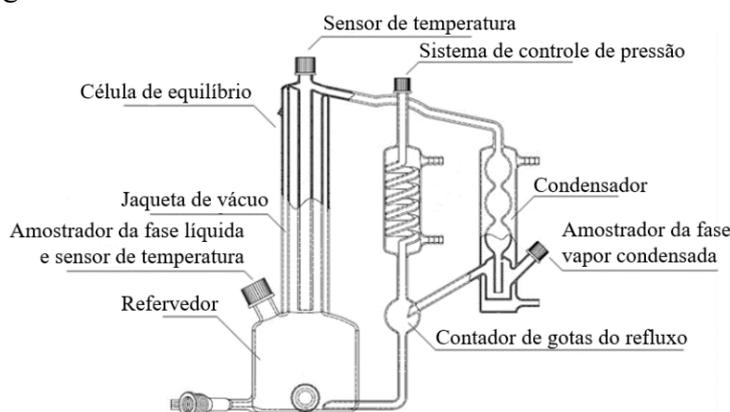
### Introdução

A indústria do petróleo, ainda sofre com problemas relacionados ao processo, como a precipitação de sais presentes na água produzida. Esses sais geram incrustações nos equipamentos levando a obstrução do fluxo e interrupção do processo [1]. O sal mais encontrado é o carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ), em razão da sua baixa solubilidade em água, e sua grande solubilidade nas condições de poço, devido a elevada concentração de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) nessas condições [2]. Outro sal também presente na água produzida é o cloreto de sódio ( $NaCl$ ), e a literatura [3,4] mostra que a presença desse sal, até a concentração de aproximadamente 2,5 mol/kg, aumenta a solubilidade do  $CaCO_3$  em água, e acima dessa concentração a presença do  $NaCl$  faz o inverso e diminui a solubilidade do carbonato. Com isso, o objetivo deste trabalho foi estudar a solubilidade e o equilíbrio sólido-líquido-vapor do sistema  $H_2O+NaCl$  no ebulliômetro de Othmer modificado, para entender seu comportamento a diferentes concentrações até a saturação do  $NaCl$ .

### Metodologia

Foram feitas soluções em 8 concentrações variando de 1% a 20% mássico, como também a solução saturada. Todas as soluções passaram pelo mesmo processo que consiste em alimentar o refervedor do ebulliômetro, que pode ser observado na Figura 1, com a solução inicial de concentração conhecida, em seguida iniciar o controle de pressão pelo Fischer System e a bomba de vácuo. A manta e chapa aquecedoras mantém a evaporação do líquido do refervedor, enquanto o banho termostático, mantido a 5 °C, garante a condensação do vapor. O líquido de alimentação, presente no boiler, e o condensado da fase vapor devem estar sob agitação constante, para garantia da homogeneização de cada fase. Quando o compartimento que contém o condensado da fase vapor se enche, a recirculação é iniciada. Após 30 min do início da recirculação é feita a contagem de gotas recirculadas, juntamente com a medição da pressão e das temperaturas da fase líquida e fase vapor. A contagem é feita em um intervalo de 15 min, sendo considerado o equilíbrio atingido quando as temperaturas e o número de gotas se mantêm constantes por 3 contagens consecutivas. Após atingir o equilíbrio são retiradas amostras da fase líquida e vapor para medição da densidade e concentração das fases, desse modo determinando dados completos de equilíbrio ( $P, T, x, y$ ) para o sistema estudado.

Figura 1 – Ebulliômetro de Othmer modificado. Fonte: Monteiro et al. (2019), adaptado [6].



Fonte: Autores

## Resultados e Discussão

Os dados obtidos foram comparados com dados da literatura [5] e podem ser observados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1. Dados de equilíbrio para o sistema  $H_2O+CO_2$ ;  $T_L$  deve ser considerada a  $T$  de equilíbrio.

	$P$ (kPa)	$T_V$ (°C)	$T_L$ (°C)	$\rho_L$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_V$ (g/cm <sup>3</sup> )	pH (fase L)	pH (fase V)
Eb. 1	100.98	99.71	100.15	1.00013	1.00039	6.04 a 14.9 °C	4.17 a 15.6 °C
	102.29	99.98	100.55	1.00016	1.00023	6.45 a 17.6 °C	4.04 a 19.6 °C
Eb. 2	100.96	99.56	100.04	1.00013	1.00031	6.25 a 13.0 °C	4.20 a 14.6 °C
	102.32	99.96	100.35	1.00017	1.00037	6.12 a 18.9 °C	4.00 a 17.9 °C

Para o sistema  $H_2O+CO_2+CaCO_3$  foi obtido um ensaio em duplicata nos ebuliômetros 1 e 2 (Tabela 2).

Tabela 2. Dados de equilíbrio para o sistema  $H_2O+CO_2+CaCO_3$ ;  $T_L$  deve ser considerada a  $T$  de equilíbrio.

	$P$ (kPa)	$T_V$ (°C)	$T_L$ (°C)	$\rho_L$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_V$ (g/cm <sup>3</sup> )	pH (fase L)	pH (fase V)	[CaCO <sub>3</sub> ] ppm
Eb. 1	102.24	99.93	100.45	1.00025	1.00054	7.29 à 17.2 °C	4.08 à 18.8 °C	58.60
Eb. 2	102.24	99.88	100.25	1.00026	1.00051	7.32 à 16.6 °C	4.06 à 18.8 °C	71.50

Como pode ser observado na Tabela 1, com o aumento da concentração de cloreto de sódio a temperatura de equilíbrio também aumenta, o que é um comportamento esperado para essa mistura. Além disso também é possível perceber que os desvios em relação a temperatura e a pressão da literatura [5] possuem baixos valores, sendo a média dos desvios respectivamente 0,052% e -0,177%, validando os dados experimentais obtidos. Além da validação dos dados obtidos, também é possível validar o método que foi utilizado para o desenvolvimento deste trabalho, pois ensaios envolvendo o ebuliômetro de Othmer modificado são trabalhos que requerem extremo cuidado com o controle das variáveis temperatura e pressão do sistema.

## Conclusões

Os dados experimentais obtidos estão de acordo com a literatura, pois como foi visto anteriormente, foi observada uma baixa divergência entre os dados. Além disso foi possível trabalhar uma diversidade de concentrações do cloreto de sódio até o ponto de saturação, o que configura o ensaio de equilíbrio sólido-líquido-vapor, pois na saturação a solução se encontra com excesso de sal. Outra forma de analisar os dados obtidos é através do coeficiente osmótico, que por ser um parâmetro bastante sensível a alterações de temperatura e pressão, ainda não foi avaliado, mas está sendo estudado para sua futura análise.

## Referências Bibliográficas

- [1] Figueiredo, C.S.; Ferreira, F.A.V.; Nascimento, J.F.; Ciambelli, J.R.P.; Santana, R.O.; Silva, A.P.N.; Dantas, Z.S.; Chiavone-Filho, O. Rio Oil & Gas 2014: Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2014.
- [2] Silva-Junior, G.F. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- [3] Millero, F.J.; Milne, P.J.; Thurmond, V.L. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, v. 48, n. 5, p. 1141-1143, 1984. Elsevier BV.
- [4] Wolf, M.; Breitkopf, O.; Puk, R. *Chemical Geology*, v. 76, n. 3-4, p. 291-301, 1989. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541\(89\)90097-1](http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541(89)90097-1).
- [5] Hubert, N.; Gabes, Y.; Bourdet, J.B.; Schuffenecker, L. *Journal of Chemical and Engineering Data*, v. 40, n. 4, p. 891-894, 1995.
- [6] Monteiro, M.F.; Moura-Neto, M.H.; Macedo, G.M.; Silva, G.V.; Silva, D.J.; Pereira, L.S.; Nascimento, J.F.; Chiavone-Filho, O. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 58, n. 27, p. 12159-12165, 2019. American Chemical Society.

## Equilíbrio Líquido-Vapor de Misturas de Álcool e Éster, Visando Processamento do Biodiesel

Arthur V. V. Bezerra\*; Hortência N. S. Câmara; Osvaldo Chiavone-Filho

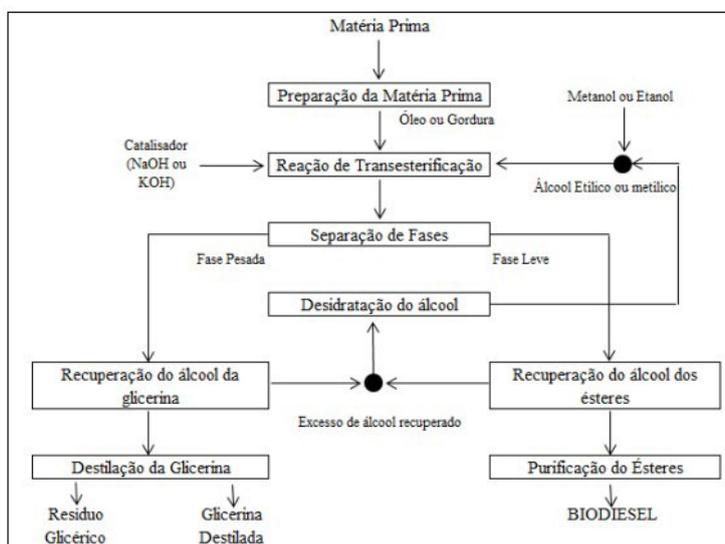
Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases – Departamento de Engenharia Química (UFRN)

\*arthurvinicius\_cds@hotmail.com

### Introdução

A necessidade de uma fonte de energia renovável e menos poluente que os combustíveis de origem fóssil está cada vez mais intensa. Os óleos vegetais são considerados fontes naturais renováveis e, mais recentemente, estes têm assumido um importante papel nas indústrias química e oleoquímica, devido ao fato de serem a principal matéria prima na produção do biodiesel, um combustível renovável alternativo aos combustíveis fósseis [1]. O biodiesel tornou-se mais atrativo recentemente devido aos seus benefícios ambientais e ao fato de ser produzido a partir de recursos renováveis. Quimicamente, o biodiesel é conhecido como éster metílico, ou etílico, de ácidos graxos, dependendo do álcool utilizado, que pode ser obtido por diferentes processos como a esterificação ou transesterificação sendo, esta última, a mais empregada no setor industrial. Para que seu uso possa ser efetivo no setor de energia, é necessário que o biodiesel esteja dentro das normas estabelecidas pelos órgãos regulamentares. A necessidade de um processo de purificação dos ésteres, assim como a recuperação do álcool empregado na síntese são alguns dos fatores associados à sua viabilidade de produção. Neste contexto, o processo de produção de biodiesel pode ser dividido em quatro principais etapas (Figura 1): preparo da matéria-prima, transesterificação (reação química), separação entre produto (biodiesel) e subproduto (glicerina) e purificação do biodiesel (produto final); e, dentre os principais equipamentos utilizados em uma planta de biodiesel, estão o reator, colunas de destilação e centrífugas ou decantadores. Conforme abordado em Prausnitz et al. [3], os estágios de preparação e purificação (Figura 2), requerem operações de separação (ou seja, destilação, absorção, extração). Em uma planta típica, 40-80% do investimento é dedicado a equipamentos para os processos de separação. Vale destacar que dados experimentais de propriedades termodinâmicas e de equilíbrio de fases de misturas envolvendo ésteres (biodiesel) e álcool são escassos na literatura. A determinação de dados de equilíbrio líquido-vapor (ELV) é crucial para o projeto, operação e aprimoramento de processos industriais, principalmente, os de separação; e, portanto, será objetivo de estudo deste trabalho, a fim de contribuir na realização de projetos de processos de produção de biodiesel, mais especificamente, na separação entre o álcool e o éster de ácido graxo e na purificação deste último.

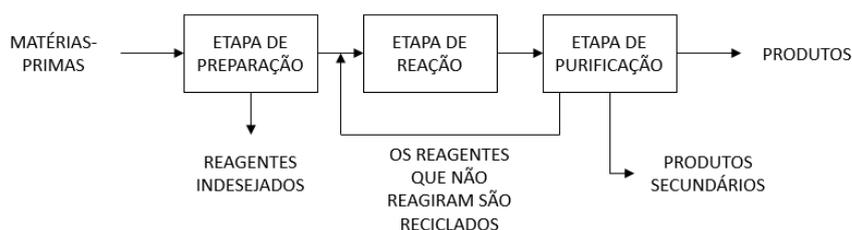
Figura 1 – Diagrama de blocos representativo da síntese de biodiesel por transesterificação.



## Metodologia

A determinação de dados de equilíbrio líquido-vapor (ELV) será realizada em dois dispositivos laboratoriais: O ebulliômetro do tipo Othmer modificado e o ebulliômetro de Fischer. Os procedimentos experimentais para estes ebulliômetros são descritos, respectivamente, por Oliveira em 1999 [4] e em 2003 [5]. Diante dos dados ELV, serão construídos diagramas líquido-vapor para sistemas binários compostos por éster de ácido graxo (linoleato de metila/etila) e álcool (metanol/etanol), com a possibilidade de incremento, no estudo, de outros componentes envolvidos na produção de biodiesel, como o glicerol (sistemas ternários). Para isto, o estudo de condições de operação reais será fundamental para realização desta etapa. A geração de parâmetros termodinâmicos e a representação da coluna de destilação para separação entre estas espécies também serão contemplados.

Figura 2 – Esquema de uma planta química.



Fonte: Prausnitz et al. [3].

## Resultados e Discussão

Dados preliminares de equilíbrio líquido-vapor para o sistema etanol hidratado foram determinados e comparados com os valores de referência obtidos a partir do software Specs v5.63, usando o modelo UNIFAC. De acordo com a literatura a temperatura do vapor do ebulliômetro é a que melhor representa a temperatura do equilíbrio líquido-vapor. Porém, analisando os desvios das temperaturas, notam-se valores menores para a fase líquida, se comparados aos valores referentes à fase vapor, acarretando um melhor desempenho para a temperatura da fase líquida e sendo esta adotada, portanto, como a representante do equilíbrio líquido-vapor. Este efeito tem sido mais acentuado em condições de temperaturas mais altas e a escolha da temperatura do líquido como a de equilíbrio é fundamental.

Tabela 1. Dados ELV para o etanol hidratado (~84 % m/m).

P (kPa)	Tv (K)	Tl (K)	TSpecs (K)	Desvio (%) - vapor	Desvio (%) - líquido
48,22	333,49	333,77	333,65	0,079	0,035
61,40	339,52	339,39	339,12	0,089	0,078
68,00	341,33	341,59	341,49	0,076	0,030
81,18	346,26	345,71	345,70	0,132	0,001
102,14	351,59	351,43	351,34	0,043	0,024

## Referências Bibliográficas

- [1] CASTRO, B. P. Vapor-Liquid Phase Equilibrium in the vegetable oil industry. Campinas, Brazil, 2013. Doctoral thesis. University of Campinas.
- [2] FREEDMAN, B.; PRYDE, E.H.; MOUNTS, TL. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, V. 61, p. 1638-1643, 1984.
- [3] Prausnitz, J.M., Lichtenthaler, R.N. e Azevêdo, E.G., 1999. Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria, Prentice-Hall, Inc.
- [4] Oliveira, H.N.M. Dissertação de Mestrado-PPGEQ/UFRN, 1999.
- [5] Oliveira, H.N.M. Tese de Doutorado-PPGEQ/UFRN, 2003.

## *Estudo do Equilíbrio Líquido-Vapor do Sistema Formado por Etanol e Ácido Oleico*

*Hortência N. S. Câmara\*; Rafael B. Rios; Osvaldo Chiavone-Filho*

*Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*e-mail: hortencianatania@hotmail.com*

### **Introdução**

O biodiesel é um combustível formado pela mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos obtidos a partir de matérias primas renováveis como os óleos vegetais e as gorduras animais [1]. Estes são constituídos por uma mistura de triglicerídeos formados por uma molécula de glicerol ligada a três moléculas de ácidos graxos. Devido a isso, o interesse em estudar os compostos graxos tem aumentado consideravelmente, pois além de estarem associados ao projeto e a otimização dos processos de separação e purificação dos óleos e gorduras, que requerem o uso de dados físico-químicos precisos [2]. Além disso, este estudo permite estimar a composição desses óleos e gorduras e a busca de solventes alternativos para extração do óleo de sementes oleaginosas. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo levantar dados experimentais de pressão de vapor para o ácido oleico e para o etanol – solvente amplamente utilizado no Brasil dada sua elevada disponibilidade, que serão úteis na obtenção das constantes de Antoine e no estudo do equilíbrio líquido-vapor (ELV) do sistema binário etanol (1) + ácido oleico (2) utilizando modelos termodinâmicos ideal (Raoult), de correlação (UNIQUAC), e UNIFAC para predição. Além disso, foi verificada a coerência do conjunto de dados PTxy reportado na literatura [3] para o sistema binário.

### **Metodologia**

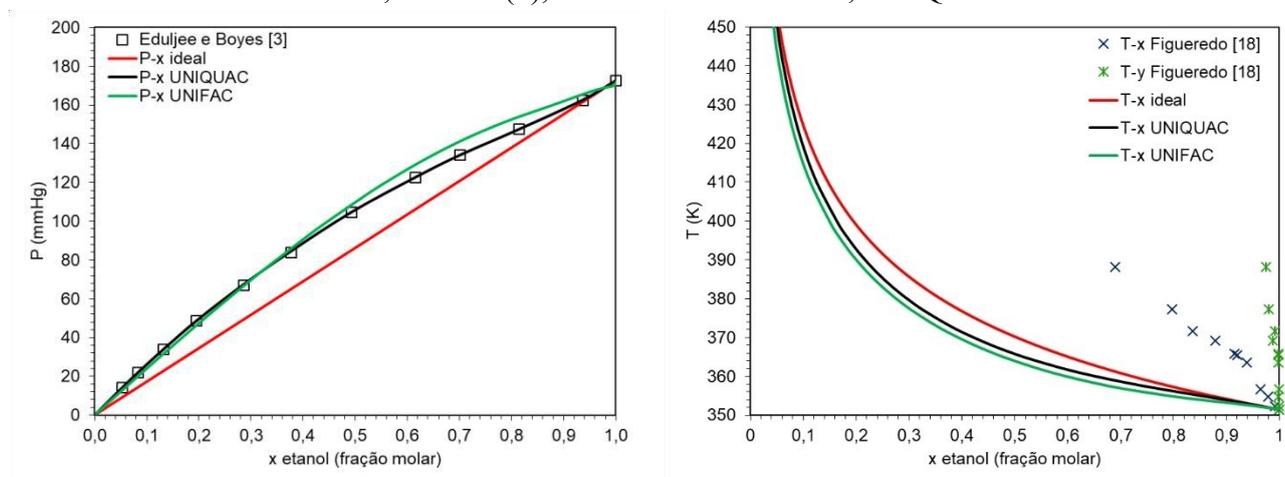
A primeira etapa consistiu na revisão bibliográfica dos dados experimentais de equilíbrio líquido-vapor do sistema etanol (1) + ácido oleico (2), tanto dados PTxy como de coeficiente de atividade na diluição infinita ( $\gamma^\infty$ ). Em seguida, os dados de pressão de vapor dos componentes puros foram correlacionados com o auxílio da equação de Antoine, que possibilitou a obtenção das respectivas constantes para amplas faixas de T de interesse. Devido à ausência de dados experimentais confiáveis, foi necessário realizar uma extrapolação a 45°C a partir dos dados reportados por Eduljee e Boyes [3] para que as constantes de Antoine atendessem toda a faixa de T desejada para o ácido oleico. A terceira etapa consistiu na realização do teste de consistência termodinâmica. Os dados reportados por Eduljee e Boyes [3], em conjunto com os dados de  $\gamma^\infty$  reportados por Belting et al. [4] foram avaliados utilizando o método de máxima verossimilhança para a correlação. Esta correlação também possibilitou a obtenção dos parâmetros de interação  $a_{ij}$  do modelo molecular UNIQUAC que descreve a fase líquida. A fase vapor foi considerada ideal. Por fim, foi realizado a predição dos dados utilizando o modelo UNIFAC e a lei de Raoult, permitindo avaliação do desvio da idealidade do sistema estudado.

### **Resultados e Discussão**

Os dados de pressão de vapor para o ácido oleico foram coletados a partir de 6 trabalhos [3; 5-9] em uma faixa de temperatura de 45 °C a 352,15 °C. Para o etanol os dados foram obtidos de 11 trabalhos sendo estes os principais [10-16] em uma faixa de temperatura de 20 °C a 241 °C. As constantes de Antoine obtidas para o etanol e o ácido oleico são, respectivamente: A= 7,86232, B= 1452,43609, C= 213,28138 e A= 14,65024, B= 11196,37132, C= 598,65516. A correlação de Antoine é em mmHg e graus Celsius, bem como logaritmo na base 10. Com relação aos dados binários isotérmicos [3] podemos dizer que são consistentes, pois apresentaram um desvio médio absoluto em y de 2,8 e-05 e um desvio médio relativo em pressão de 0,4% sendo, portanto, dados adequados para projetos e correlações conforme o critério de qualidade proposto por [17]. As constantes de Antoine e os dados binários [3], em conjunto com os dados de coeficiente de atividade na diluição infinita [4] ao serem correlacionados permitiram a obtenção dos parâmetros de

interação binária do modelo UNIQUAC, cujos valores são  $a_{12}=-99,06 K$  e  $a_{21}=330,1 K$ . A Figura 1 apresenta um comparativo dos dados experimentais para o sistema binário formado por etanol e ácido oleico, com os modelos UNIQUAC e UNIFAC e dos valores calculados pela lei de Raoult. Graficamente é possível observar que esse tipo de sistema apresenta desvio da idealidade, comportamento esperado, devido se tratar de duas substâncias com propriedades físico-químicas e cadeias moleculares muito diferentes. Numericamente podemos inferir que o desvio é positivo em relação a lei de Raoult, pois apresentando valores de  $\gamma > 1$  e, conseqüentemente  $G^E$  positivo. Na Figura 1 a) é possível observar que o modelo UNIQUAC descreveu de maneira bastante satisfatória os dados da literatura [3]. Em contrapartida, em 1 b) é possível observar que os dados reportados por [18] não estão coerentes em virtude de apresentarem supraaquecimento.

Figura 1 – Modelagem do sistema etanol (1) + ácido oleico (2) na temperatura de 318,15 K (a) e a pressão atmosférica de 101,325 kPa (b), usando o modelo ideal, UNIQUAC e UNIFAC.



Foi identificado que existem outros valores experimentais coerentes e que estão sendo avaliados do trabalho desenvolvido por Figueredo [18], e que certamente serão considerados para fins de validação do comportamento líquido-vapor obtido a pressão constante, tanto do modelo UNIQUAC, parametrizado neste trabalho, como do modelo UNIFAC preditivo de contribuição de grupos,

## Referências Bibliográficas

- [1] Cannilla, C., et al. Applied Catalysis A: General. 382 (2), 158-166, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2010.04.031>
- [2] Ceriani, R.; Gani, R. e Liu, Y. A. Fluid Phase Equilibria. 337, 53-59, (2013)
- [3] Eduljee, G. H. e Boyes, A. P. J. Chem. & Eng. Data. 26(1), 55-57. (1981). doi:10.1021/je00023a019
- [4] Belting, P. C. et al. J. Chem. Thermodynamics. 60, 142-149. (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jct.2012.12.009>
- [5] Falleiro, R. M. M. et al. Thermochemica Acta. 10, 6-12. (2012) <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.07.034>
- [6] Barbeiro, L. B. Pressão de vapor e equilíbrio líquido-vapor de compostos graxos insaturados: determinação experimental com DSC e modelagem termodinâmica. Dissertação – UNICAMP, Campinas, SP (2019)
- [7] Lederer Chem. Zentr. II, 1095. (1932) [8] Handbook of Data on Organic Compounds, CRC, Press, Inc., Boca Raton, FL (1985)
- [9] DDB. Dortmund Data Bank Dortmund Data Bank Software & Separation Technology Oldenburg: DDBST GmbH (2011)
- [10] Ambrose, D., Sprake, C.H.S., "Vapor Pressure of Alcohols", J. Chem. Thermo., 2, 631. (1970)
- [11] Kretschmer, C.B., Wiebe, R.. J. Amer. Chem. Soc., 71, 1793 (1949)
- [12] Callagher, A. F., Hibbert, H. J. Amer. Chem. Soc., 59, 2514 (1939)
- [13] Kamihama, N. et al. J. Chem. Eng. Data. 57 (2), 339-344 (2012)
- [14] Li, G.; Yin, X. J. Chem. Eng. Data. 63 (6), 2009-2014. 2018.
- [15] Kojima, K.; Kato, M. Chem. Eng., 33(8), 769-775. (1969). doi:10.1252/kakoronbunshu1953.33.769
- [16] Mejía, A.; Cartes, M. J. Chem. Eng. Data. 64 (5), 1970-1977 (2019)
- [17] Smith, D.B. et al. Journal of Physical Chemistry Ref. Data, 11, 1089. (1982)
- [18] Figueredo, A. L. Determinação e modelagem de dados de equilíbrio líquido-vapor para o sistema ácido oleico e etanol. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN (2013)
- [19] Fredenslund, Aa., Gmehling, J., Rasmussen, P. Vapor-Liquid Equilibrium Using UNIFAC Group Contribution Method, Elsevier, 1977.

## *Ensaio Preliminares de Análise de Fenol Diluído em Água*

*Joyce A. F. Oliveira; Raoni B. Santos; O. Chiavone-Filho*

*Laboratório de Fotoquímica e Equilíbrio de Fases – Departamento de Engenharia Química (UFRN)*

*\*e-mail: joyceabsouza@gmail.com*

### **Introdução**

As atividades da indústria petrolífera, como etapas de extração, processamento e refino de petróleo e gás são responsáveis pela geração de grandes quantidades de resíduos [1]. Estes resíduos possuem em suas composições contaminantes de hidrocarbonetos de petróleo que apresentam a capacidade de contaminar solo, ar e água, causando impactos ambientais significativos e que configuram um risco à saúde humana, assim como para as formas de vida dos ambientes atingidos [2,3]. Em água, os componentes do petróleo e de seus derivados que apresentam solubilidade, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), ácidos naftênicos e os fenóis, componentes que possuem propriedades tóxicas, cancerígenas e mutagênicas [4]. Dentre os contaminantes, destaca-se o fenol que é considerado como um dos poluentes orgânicos aquosos mais comuns, visto que se torna tóxico desde baixas concentrações, podendo causar irritação na pele, dores de cabeça, problemas gastrointestinais, no coração, rins, fígado e no sistema nervoso [5,6]. Sabendo da problemática existente na contaminação das águas pelo petróleo e derivados, faz-se necessário um estudo destes poluentes em água, para melhor entendimento de como eles se encontram dispersos, assim como a utilização de técnicas analíticas capazes de quantificá-los para determinação dos níveis de contaminação, seguindo para técnicas de tratamento. Com este intuito, este trabalho tem por objetivo realizar um levantamento bibliográfico de algumas propriedades físico-químicas do benzeno, fenantreno e fenol, além da realização de ensaios preliminares de quantificação de fenol em água, através da leitura da quantidade de carbono orgânico total (TOC) e da absorvância.

### **Metodologia**

Para realização do trabalho, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica, buscando em banco de dados como o SciencDirect, informações acerca das propriedades físico-químicas (massa molar, solubilidade, toxicidade, classificação de acordo com a IARC) dos componentes benzeno, fenantreno e fenol. Posteriormente, elaboraram-se ensaios laboratoriais preliminares com o fenol (marca: Dinâmica), nos quais o contaminante foi diluído em água destilada, preparando, inicialmente, uma solução mãe de 1000 mg/L, realizando, a partir desta, diluições para obtenção de soluções de concentração de valores 500, 200, 150, 100, 50, 20, 10, 5, 2 mg/L. As amostras obtidas foram analisadas, em duplicata, em um analisador de carbono orgânico total (TOC), modelo Multi N/C 3100 (fabricado pela Analytik Jena), buscando a quantificação do teor de carbono orgânico total e também foram submetidas a análise de absorvância, por meio da leitura em um espectrofotômetro UV-visível, comprimento de onda de 270 nm (modelo DU-8200, Drawell).

### **Resultados e Discussão**

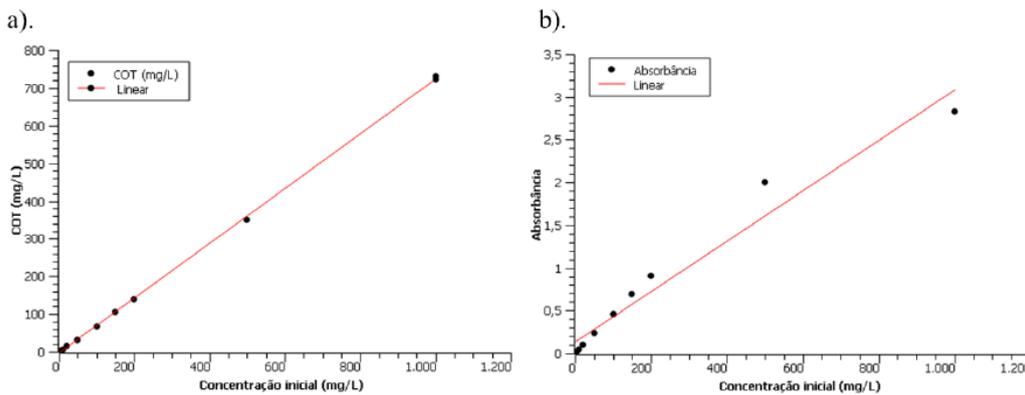
Com base nas pesquisas bibliográficas realizadas na literatura, foram coletados dados referentes a solubilidade dos poluentes em água, a 25°C, os valores limítrofes aceitáveis para a presença dos contaminantes em água, a classificação quanto a carcinogenicidade, de acordo com a *International Agency for Research on Cancer* (IARC), a classificação como poluente prioritário para o monitoramento ambiental, segundo a *Environmental Protection Agency* (EPA), além da relação estabelecida pela ABNT, que classifica os resíduos sólidos, de acordo com seus riscos à saúde e ao meio ambiente. Os dados da pesquisa encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1– Dados sobre solubilidade em água, valores máximos de contaminação e classificação dos contaminantes quanto a carcinogenicidade (IARC), carcinogenicidade e ocorrência (EPA) e periculosidade (ABNT).

	Solubilidade em água (mg/L) a 25°C <sup>[7]</sup>	Maior contaminação permitida (mg/L)	IARC <sup>[10]</sup>	EPA <sup>[11]</sup>	ABNT <sup>[12]</sup>
Benzeno	1790	0,005 <sup>[8]</sup>	1	NP	CP
Fenantreno	1,10	0,140 <sup>[9]</sup>	3	P	NM
Fenol	82800	0,900 <sup>[9]</sup>	3	NP	CP

Fonte: Autoria própria

Figura 1 – Curva de calibração da concentração inicial de fenol em função do COT (a); curva de calibração da concentração inicial de fenol em função da absorbância (b).



Fonte: Autores

Os resultados obtidos com a quantificação do COT, assim como da absorbância das amostras de fenol em água encontram-se na Figura 1. A partir das curvas a) e b) pertencentes à Figura 1, percebe-se que os resultados apresentaram uma boa distribuição linear. Para o COT, a linearização apresentou um  $R^2= 0,9996$ , e curva de absorbância apresentou  $R^2= 0,9609$ , indicando uma boa correlação, e que os resultados foram preditivos, indicando que poderão ser utilizados para a quantificação das concentrações do fenol em futuras amostras que serão trabalhadas.

## Referências Bibliográficas

- [1] Guerra K, Dahm K, Dunder S (2011). U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Managing Water in the West. <https://www.usbr.gov/research/dwpr/reportpdfs/report157.pdf>.
- [2] Sammarco, Paul W.; Kolian, Stephan R.; Warby, Richard A. F.; Bouldin, Jennifer L.; Subra, Wilma A.; Porter, Scott A. (2016). Archives of Toxicology, 90(4), 829–837. doi:10.1007/s00204-015-1526-5.
- [3] Hentati O; Lachhab R.; Ayadi M.; Ksibi M. (2013). doi:10.1007/s10661-012-2766-y.
- [4] Lee, Kenneth; Neff, Jerry (2011). doi:10.1007/978-1-4614-0046-2\_1.
- [5] Guido Busca; Silvia Berardinelli; Carlo Resini; Laura Arrighi (2008). doi:10.1016/j.jhazmat.2008.03.045.
- [6] Wang Y, Song J, Zhao W et al (2011). J Hazard Mater 192:354–360.
- [7] NCBI. National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- [8] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Apresenta os regulamentos Nacionais de Água Potável Primária da Agência de Proteção Ambiental Norte Americana. Disponível em: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/npwdr\\_complete\\_table.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/npwdr_complete_table.pdf).
- [9] CETESB Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-256-2016-E-Valores-Orientadores-Dioxinas-e-Furanos-2016-Intranet.pdf>>.
- [10] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Priority Pollutant List. Disponível em <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/priority-pollutant-list-epa.pdf>.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação, 2004. 71 p. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>.

## *Estudo Comparativo de Bioadsorventes para Remoção de Cobre em Meio Aquoso*

*Joemil O. D. Junior\*; Karine F. S. Oliveira; Renata M. Braga;*

*Laboratório de Tecnologia Ambiental (LABTAM) – Departamento de Engenharia Química (DEQ-UFRN)*

*\*joemiljunior@gmail.com*

### **Introdução**

O tratamento de efluentes contendo metais pesados é um tema de grande relevância para a comunidade científica e a sociedade em geral, uma vez que a contaminação de corpos hídricos por íons metálicos representa um grande risco para os ecossistemas devido ao seu caráter não-biodegradável, sua toxicidade para organismos marinhos e grande potencial carcinogênico. Dessa forma, o desenvolvimento de técnicas mais econômicas, eficientes e com baixo impacto no meio ambiente para reduzir a disposição de contaminantes metálicos em corpos hídricos é uma estratégia crucial para atingir o desenvolvimento sustentável, uma vez que efluentes como da indústria têxtil, mineralógica e até petrolífera possuem quantidades significativas de metais pesados em sua composição [1]. A bioadsorção utiliza resíduos agroindustriais e florestais no tratamento de efluentes, removendo contaminantes com grande eficiência e sendo uma técnica simples e barata. Isso acontece porque os resíduos agroindustriais são materiais porosos, compostos por biopolímeros com grande capacidade de adsorção devido a ampla variedade de grupos funcionais em sua superfície [2]. Além disso, por serem subprodutos, eles possuem baixo valor agregado e sua aplicação em outro segmento da indústria corrobora com os conceitos de economia circular, tornando a bioadsorção um processo de aspecto sustentável e econômico. A escolha da biomassa para aplicação como bioadsorvente é uma das etapas críticas em um processo de bioadsorção, pois ela irá definir não apenas os custos associados com a matéria-prima como os parâmetros operacionais e a eficiência final do tratamento de efluentes. Por isso, aspectos como a origem da biomassa, sua disponibilidade, valor agregado, grau de facilidade para separação após o processo, eficiência de remoção do contaminante e capacidade adsorptiva devem ser observados e contabilizados nesta etapa. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo abordar e comparar o desempenho e as características de alguns potenciais bioadsorventes para serem empregados em um processo de bioadsorção de íons de cobre em solução aquosa.

### **Metodologia**

Neste trabalho foram avaliados três bioadsorventes distintos: CCC\_Na (carvão da casca da castanha do caju lavado com hidróxido de sódio), CPA (carvão da casca da *Pachira aquatica* Aubl.) e CPAQ (esferas bioadsorventes produzidas a partir de CPA e agente quelante). Sendo avaliados aspectos quantitativos como a eficiência percentual de remoção de íons de cobre e a capacidade adsorptiva máxima do material, e aspectos qualitativos, como a facilidade de separação sólido-líquido após o processo e a disponibilidade da biomassa. Os ensaios de adsorção foram realizados em banho finito (batelada) e em duplicata, colocando o bioadsorvente e a solução aquosa contendo íons metálicos em contato por um período de agitação pré-determinado e realizando a separação sólido-líquido em seguida. De forma que o sobrenadante foi mandado para análise no Espectrofotômetro de Absorção Atômica (EAA) para determinar a concentração residual de íons de cobre. A Tabela 1 detalha as condições em que a adsorção foi realizada.

Tabela 1 – Condições de realização dos experimentos de adsorção de íons de cobre em batelada.

Bioadsorvente	Tempo	pH	Massa bioadsorvente (g)	Conc. Inicial (ppm)	Referência
CCC_Na	120 min	5,0	0,1	10 – 100	[3]
CPA	180 min	5,0	0,1 – 1,4	60	[4]
CPAQ	120 min	5,0	0,1 – 1,2	50	Autoria própria

Fonte: Autores

## Resultados e Discussão

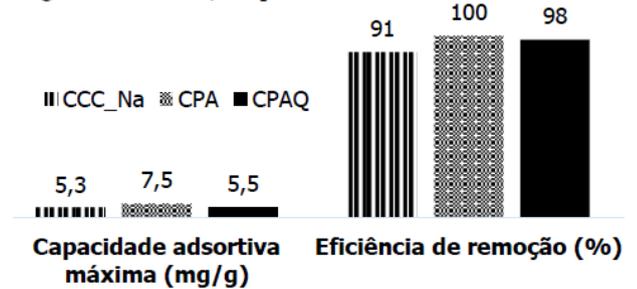
Inicialmente, foram escolhidas duas biomassas precursoras para serem utilizadas como bioadsorventes: a casca da castanha do caju (CCC) e o carvão da Pachira aquatica (CPA). Tendo ambas uma grande disponibilidade na natureza e consideradas como subprodutos de interesse para serem estudados como potenciais bioadsorventes. Então, após o tratamento da biomassa e sua aplicação num processo de adsorção em banho finito de íons de cobre em solução aquosa, nas condições descritas na Tabela 1, foram obtidos os resultados qualitativos e quantitativos a serem avaliados, mostrados na Figura 1 e na Tabela 2.

Tabela 2 – Avaliação qualitativa dos bioadsorventes

Bioadsorvente	Separação sólido-líquido	Disponibilidade da biomassa
CCC_Na	Fácil	Ampla
CPA	Difícil	Ampla
CPAQ	Fácil	Ampla

Fonte: Autores

Figura 1 - Avaliação quantitativa dos bioadsorventes.



Fonte: Autores

Os resultados quantitativos do CCC\_Na e do CPA mostraram que ambos conseguem remover mais de 91% dos íons de cobre presentes em solução nas condições estudadas, sendo o CPA superior tanto em capacidade adsorptiva máxima (q) quanto em eficiência de remoção. No entanto, quando os aspectos qualitativos são colocados em evidência, o CPA acaba sendo mais difícil de ser separado da fase líquida após o processo, uma vez que suas partículas ficam em suspensão e aderem facilmente às paredes dos recipientes. Enquanto o CCC\_Na se depositava no fundo do recipiente, facilitando a separação. Por isso, foi desenvolvido um novo bioadsorvente onde o CPA seria misturado com agente quelante e esse novo material conseguiu unir o bom desempenho quantitativo (com remoção e capacidade adsorptiva superior ao do CCC\_Na) e ser de fácil remoção do meio.

## Conclusões

A utilização de bioadsorventes provenientes de resíduos agroindustriais da castanha do caju e da Pachira aquatica Aubl. se mostra promissora para a remoção de íons de cobre em meio aquoso, com resultados de remoção percentual dos íons acima de 90% e sendo um material fácil de ser separado após o processo. Desta forma, possuindo potencial para ser empregada no tratamento de efluentes ricos nesta espécie metálica, como a água produzida de petróleo.

## Referências Bibliográficas

- [1] ZAMORA-LEDEZMA, C. et al. Environmental Technology and Innovation, [s. l.], v. 22, p. 101504, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101504>.
- [2] ELGARAHY, A. M. et al. Cleaner Engineering and Technology, [s. l.], v. 4, p. 100209, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.CLET.2021.100209>.
- [3] OLIVEIRA, Karine Fonseca Soares de. 2021. 128f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- [4] DEUS JUNIOR, Joemil Oliveira de. 2020. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.